

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2020, 2(35)

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*)

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*)

Y.P. Mukha, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

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

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

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

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

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

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

Founder:

National Research Nuclear University MEPhI

Editorial address:

Kashirskoe shosse 31, Moscow, 115409, Russia

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

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

Press address:

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

Moscow

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2020, 2(35)

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)
Денис Флори, заместитель генерального директора МАГАТЭ (Австрия)
Лю Дамин, проф. Китайского института ядерной энергетики (Китай)
Нэнси Фрагояннис, старший советник Комиссии по ядерному регулированию США (США)
Бухач Андржей, 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. Пимшин, д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ю.П. Муха, д-р техн. наук, проф. (Россия)
В.В. Кривин, д-р техн. наук, проф. (Россия)
В.И. Ратушный, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
А.В. Паламарчук, к-т техн. наук (Россия)
А.А. Сальников, к-т техн. наук (Россия)
В.Е. Шукинунов, д-р техн. наук, проф. (Россия)
В.П. Поваров, к-т физ.-мат. наук (Россия)

Учредитель:

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

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

Москва

CONTENTS

2020, 2(35)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Measuring of Impact Angle of Transport Packaging Kit with Rigid Barrier in Emergency Test on Missile Track

S.I. Gerasimov, V.I. Erofeev, V.A. Kikeev, O.V. Krivosheev, V.I. Kostin, I.A. Odzeriho, R.V. Gerasimova, A.A. Glukhov, V.V. Pisetskiy.....7

Features of Ionizing Radiation Effects on Biological Objects and Methods for its Radiation Monitoring at Nuclear Facilities (Brief Analytical Review)

B.K. Orumo, A.P. Elokhin, A.I. Ksenofontov.....16

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

Monitoring of Nuclear Power Plant Containments During the Acceptance Tests

V.N. Medvedev, Aleksandr S. Kiselev, Aleksei S. Kiselev, V.F. Strizhov, A.N. Ulyanov, M.I. Skorikova, Yu.I. Pimshin.....42

Detection of Welded Joint Defects by Scanning Contact Potentiometry

A.I. Alwaheba, V.I. Surin, T.E. Ivanova, O.V. Ivanov, V.G. Beketov, V.A. Goshkoderov.....55

Technical Theory of Bending of Elastic Rectangular Plate Pivotaly Supported on the Perimeter or Pinched Along Two Adjacent Sides

A.S. Kravchuk, A.I. Kravchuk, S.A. Tomilin, S.F. Godunov.....73

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Investigation of Absorber Concentration Changes During Maneuvering Operation in WWER 1000 Reactor

Anisur R.S.K., M.A. Uvakin.....83

Analysis of Ice Melting Techniques on Aerial Power Lines in the Southern Region

E.S. Moloshnaya, I.V. Melnikov, V.N. Kozobrod.....92

Photon Radiation Fields Characteristics in Lead for Photon Sources With Energies From 10 to 50 MeV

I.K. Alhagaish, V.K. Sakharov.....100

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

Cooperative Design in Marketing of NPP Location Territories as a Factor of Social and Economic Security

*V.A. Rudenko, M.V. Golovko, S.P. Agapova, J.S. Rogacheva,
V.G. Tkachev, A.V. Antsibor, A.N. Setrakov* 109

Institutional and Strategic Aspects State Policy in the Field of the Russian Federation National Security

V.A. Plotnikov, A.V. Prolubnikov, M.V. Rukinov 119

Building Partnerships Between the Nuclear Industry and the Public: Background and Development Prospects

V.A. Rudenko, T.S. Popova, Yu.A. Evdoshkina 131

Author Index of vol. 2, 2020 143

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 2(35), 2020

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Измерение угла соударения транспортного упаковочного комплекта с жесткой преградой при аварийных испытаниях на ракетном треке

*С.И. Герасимов, В.И. Ерофеев, В.А. Кикеев, О.В. Кривошеев, В.И. Костин,
И.А. Одзериho, Р.В. Герасимова, А.А. Глухов, В.В. Писецкий* 7

Особенности воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты и методы его радиационного контроля на ядерных объектах (аналитический обзор)

К. Орумо, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонтов 16

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

К вопросу о контроле защитных оболочек АЭС в период приемо-сдаточных испытаний

*В.Н. Медведев, А.С. Киселев, А.С. Киселев, В.Ф. Стрижов,
А.Н. Ульянов, М.И. Скорикова, Ю.И. Пимиин* 42

Выявление структурных неоднородностей в сварных соединениях методом сканирующей контактной потенциометрии

*А.И. Алвахеба, В.И. Сурин, Т.Е. Иванова, О.В. Иванов, В.Г. Бекетов,
В.А. Гошкодеров* 55

Техническая теория изгиба упругих прямоугольных пластин, шарнирно опертых по периметру или защемленных по двум смежным сторонам

А.С. Кравчук, А.И. Кравчук, С.А. Томилин, С.Ф. Годунов 73

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Исследование изменения концентрации поглотителя при работе реактора ВВЭР–1000 в режиме маневрирования

С.К. Анисур Рахман, М.А. Увакин 83

Анализ методов плавки гололеда на воздушных линиях электропередачи в условиях южного региона

Е.С. Молошная, И.В. Мельников, В.Н. Козоброд 92

Характеристики полей фотонного излучения в свинце для источников фотонов с энергиями от 10 до 50 МэВ

И.Х. Альхагани, В.К. Сахаров 100

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

Соучастное проектирование в маркетинге территорий размещения АЭС как фактор обеспечения социально-экономической безопасности

*В.А. Руденко, М.В. Головки, С.П. Агапова, Ж.С. Рогачева, В.Г. Ткачев,
А.В. Анцибор, А.Н. Сетраков* 109

Институционально-стратегические аспекты государственной политики в сфере обеспечения национальной безопасности Российской Федерации

В.А. Плотников, А.В. Пролубников, М.В. Рукинов 119

Выстраивание партнерских отношений атомной отрасли с общественностью: история вопроса и перспективы развития

В.А. Руденко, Т.С. Попова, Ю.А. Евдошкина 131

Авторский указатель номера 2(35), 2020 142

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.869.888:621.039.54

**ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА СОУДАРЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО
УПАКОВОЧНОГО КОМПЛЕКТА С ЖЁСТКОЙ ПРЕГРАДОЙ ПРИ
АВАРИЙНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА РАКЕТНОМ ТРЕКЕ**

© 2020 С.И. Герасимов^{*,**}, В.И. Ерофеев^{*}, В.А. Кикеев^{*}, О.В. Кривошеев^{**},
В.И. Костин^{*}, И.А. Одзерихо^{*,**}, Р.В. Герасимова^{**}, А.А. Глухов^{**}, В.В. Писецкий^{**}

^{*}Институт проблем машиностроения РАН, Нижний Новгород, Россия

^{**}Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Саров, Россия

Нормы МАГАТЭ по испытаниям на столкновение включают проведение опыта с макетом упаковки ТУК в условиях, имитирующих авиационную аварию. Образец должен быть подвергнут столкновению с жесткой преградой со скоростью не менее 90 м/с, причем в таком положении, чтобы ему было нанесено максимальное повреждение. Мишень также должна соответствовать предписаниям норм – представлять собой плоскую горизонтальную поверхность такого рода, чтобы любое увеличение сопротивляемости смещению или деформации этой поверхности при падении на нее образца не приводили к значительному увеличению повреждаемости этого образца. Поверхность мишени может находиться в любом положении, но при этом она должна быть перпендикулярна траектории движения образца. Для проведения подобных испытаний с упаковками весом до полутонны используются ракетные треки. Поскольку подобные опыты единичные и дорогостоящие, требуется жесткое обоснование соответствия требованиям по углу соударения тем параметрам, что были фактически реализованы во время испытаний. В работе представлены методы измерений этих параметров в эксперименте и определяются их точности.

Ключевые слова: упаковка, радиоактивные материалы, отработанное ядерное топливо, воздушная перевозка, авария, оборудование ракетного трека, угол соударения.

Поступила в редакцию 25.10.2019

После доработки 16.02.2020

Принята к публикации 20.02.2020

В соответствии с требованиями МАГАТЭ [1-5], упаковки, предназначенные для воздушных перевозок делящихся материалов, должны обеспечивать безопасность после усиленных дополнительных испытаний, имитирующих авиационную аварию и включающих следующие две серии:

Первая серия (комплексные испытания):

- падение упаковки с высоты 9м;
- динамическое разрушение при падении на упаковку тела массой 500кг с высоты 9м;
- испытание на прокол/разрыв при падении упаковки с высоты 3м на штырь (или штыря на упаковку) массой 250 кг;
- воздействие на упаковку внешнего теплового поля со среднеобъемной температурой $T = 800^{\circ}\text{C}$ в течение не менее 60 минут.

Вторая серия:

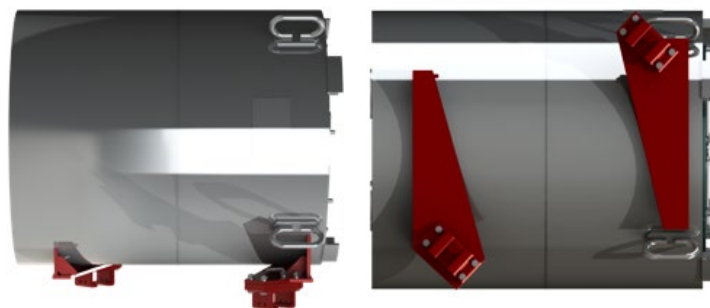
- столкновение упаковки с мишенью со скоростью не менее 90м/с.

Задачей испытания второй серии, проводимого на ракетном треке, как правило, является экспериментальная проверка: эффективности работы демпфирующих элементов конструкции ТУК; отсутствие выхода перевозимого материала из ТУК [6-7].

Объектом испытания является натурный ТУК (с массой в загруженном варианте до 500 кг), представляющий собой конструкцию, состоящую из: корпуса силового;

корпуса внутреннего; чехла; емкости с размещенным внутри нее ураносодержащим материалом. Емкость состоит из цилиндрического стального корпуса и стальной крышки, соединенных между собой резьбой, и предназначена для упаковки перевозимого материала. Внутри емкости заключен имитатор из инертного неактивного материала.

На ТУК дополнительно устанавливаются башмаки (рис. 1), с помощью которых осуществляется связь объекта испытаний с рельсовой направляющей ракетного трека [8-10]. Элементы крепления башмаков к контейнеру и башмаки определяют расположение ТУК на рельсовой направляющей ракетного трека, обеспечивающее его встречу с мишенью в заданном направлении и под заданным углом.



а) вид сбоку

б) вид снизу

Рисунок 1 – Общий вид ТУК с башмаками [General view of the TUK with clogs]

Задаются скорость столкновения ТУК с мишенью – 95 ± 5 м/с и угол встречи макета с мишенью $47 \pm 5^\circ$.

Разгон ТУК до заданной скорости по рельсовой направляющей ракетного трека и его столкновение с мишенью при заданном направлении и угле встречи обеспечивается комплектом специальной оснастки [6-10]. Комплект специальной оснастки включает в себя ракетную тележку (РТ) и элементы (башмаки), связывающие ТУК с рельсовой направляющей ракетного трека. Сила тяги от РТ передается на ТУК через упор. РТ и ТУК (с башмаками) составляют ракетный поезд, общий вид (сверху и сбоку) которого показан на рисунке 2.

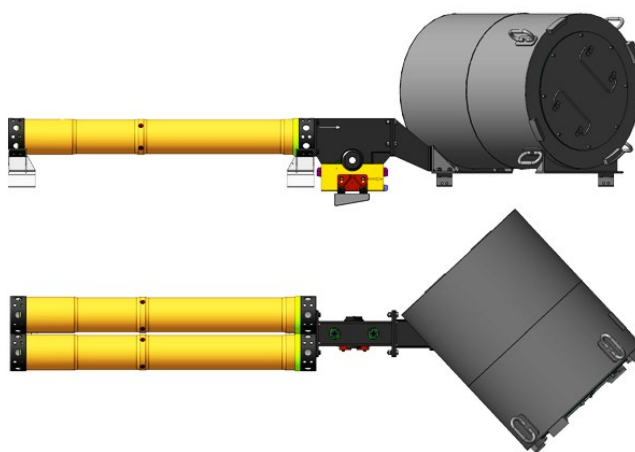


Рисунок 2 – Общий вид ракетного поезда [General view of the rocket train]

Ракетная тележка снабжена тормозным башмаком, который оснащен пороховыми аккумуляторами давления для остановки ракетной тележки на заданном отрезке пути ракетного трека. Разгон ракетного поезда осуществляется твердотопливными ракетными двигателями, установленными на ракетной тележке [11-12].

После запуска ракетных двигателей ракетный поезд начинает движение по рельсовой направляющей ракетного трека. По окончании работы ракетных двигателей и при достижении ракетным поездом заданной скорости движения происходит задействование пороховых аккумуляторов давления тормозной системы ракетной тележки, что приводит РТ к остановке на рельсовой направляющей ракетного трека. При этом ТУК, за счет сообщенного ему импульса, продолжает двигаться по рельсовой направляющей. После схода с рельсовой направляющей ракетного трека движение ТУК происходит в свободном полете до столкновения с мишенью.

Мишень представляет собой железобетонный блок, облицованный со стороны лобовой стенки стальным листом толщиной 100 мм. Габариты лобовой стенки 2,4 м х 3,6 м. Мишень смонтирована с упором задней стенки в протяженный насыпной вал и дополнительно, с боковых сторон и сверху, обвалована грунтом. Полная масса мишени с учетом обваловки грунтом составляет ≈ 600 т. Схема мишени представлена на рисунке 3.

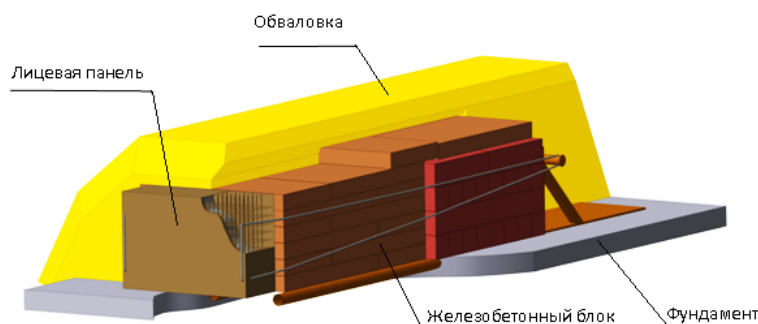


Рисунок 3 – Схема мишени [Target pattern]

Процесс движения ракетного поезда по рельсовой направляющей ракетного трека, полет ТУК и процесс его столкновения с мишенью регистрируются с помощью фото- и видеоаппаратуры.

В процессе испытания измеряются следующие параметры движения ТУК:

- скорость движения по рельсовым направляющим ракетного трека;
- скорость и угол встречи перед соударением с жесткой преградой.

Фотограмметрические измерения угла встречи упаковочного контейнера перед соударением с жесткой преградой

Средство измерения (аэрофотокамера АФА) эксплуатируется в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- атмосферное давление – особых требований не предъявляется;
- относительная влажность воздуха не более 98 %;
- напряжение однофазной сети $220\text{ В} \pm 10\text{ %}$;
- частота сети $50\text{ Гц} \pm 2\text{ %}$.

Определение угла встречи с преградой испытываемых ТУК фотограмметрическим методом заключается в получении фотоснимка в момент подхода контейнера к лобовой стенке преграды, посредством импульсной фотосъемки и последующей аналитической фотограмметрической обработки снимка.

Геометрическая схема фотограмметрических измерений угла встречи контейнера с преградой показана на рисунке 4.

По условиям эксперимента исследуемый контейнер после его схода с рельсовых направляющих трека совершает движение в горизонтальной плоскости. Для

определения углового положения контейнера, соответствующего фактическому значению угла встречи с преградой, плоскость фотосъемки устанавливается параллельно плоскости перемещения исследуемого контейнера. При данной установке оптическая ось съёмочной камеры будет направлена перпендикулярно к траектории движения контейнера.

Камера устанавливается сверху на специальной неподвижной платформе объективом вниз так, чтобы ее оптическая ось была отвесна, что достигается горизонтированием плоскости выравнивающего стекла камеры (плоскости фотоматериала) с помощью накладного уровня с ценой деления 10 секунд.

Высоту съемки относительно плоскости движения контейнера выбирают с учётом того, чтобы фотографируемый контейнер находился в плоскости наилучшей фокусировки аэрофотоаппарата.

Для производства фотограмметрических измерений лобовая стенка преграды и боковая поверхность контейнера соответствующим образом маркируются. На преграде, на равных расстояниях от плоскости ее лобовой стенки, жестко крепятся две специальные реперные марки, которые задают осевую линию отсчёта (ось OZ), параллельную плоскости преграды. Марки устанавливаются на высоте точки соударения контейнера с преградой в одной горизонтальной плоскости. Две реперные марки наносятся на образующую самого контейнера. С помощью этих марок задается осевая линия контейнера (X_k) с целью определения угла встречи с преградой по результатам фотосъемки.

Под углом встречи ТУК с преградой понимается угол φ в горизонтальной плоскости между продольной осью контейнера и перпендикуляром к плоскости лобовой стенки преграды (рис. 4).

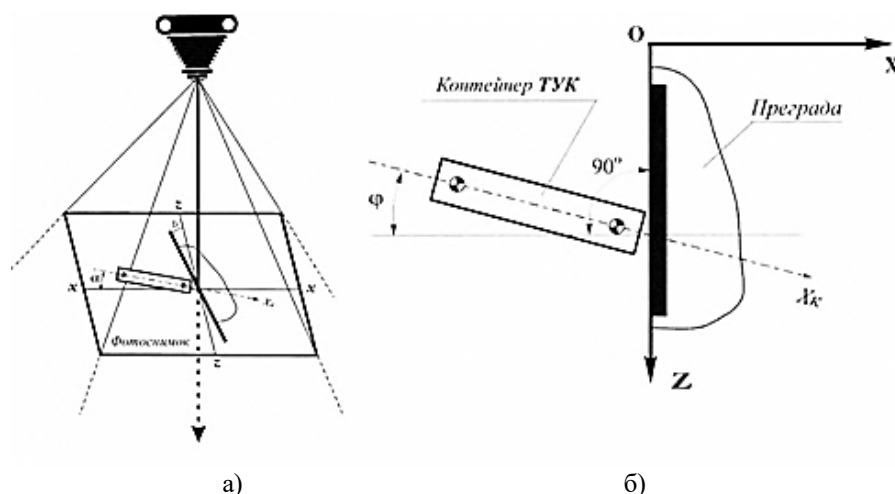


Рисунок 4 – Геометрическая схема метода ФГИ [Geometric photogrammetric angle measurement method]

На рисунке 4б ось OZ параллельна плоскости лобовой стенки преграды; X_k – осевая линия контейнера, задаваемая реперными марками на образующей контейнера; xx и zz – оси плоской системы координат фотоснимка. Они задаются системой перекрестий выгравированных на выравнивающем стекле съёмочной камеры (в плоскости фотоматериала).

Угол подхода контейнера к преграде находится по фотоснимку из соотношения $\varphi = \alpha \pm \beta$, где φ – фактический угол встречи контейнера с преградой; α , β – соответственно, угол контейнера и угол преграды в системе координат фотоснимка (рис. 5).

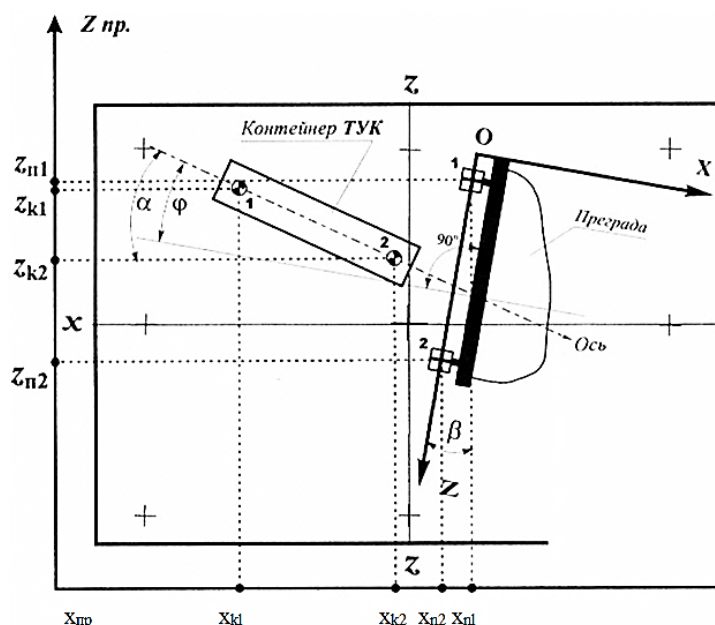


Рисунок 5 – Схема измерений по фотоснимку [Measurement scheme from a photograph]

Фотограмметрическая камера (АФА) устанавливается в заданной точке на платформе, объективом вниз. Выполняется установка оптической оси камеры перпендикулярно к направлению движения контейнера. Для этого производится горизонтирование прикладной рамки камеры (плоскости изображения) посредством накладного 10-20 секундного уровня. Марки устанавливаются параллельно плоскости лобовой стенки на высоте точки соударения контейнера с преградой, в одной горизонтальной плоскости. Производятся геодезические измерения установки марок на преграде с использованием электронного тахеометра. Измеряются: расстояние марок от плоскости лобовой стенки преграды, высота установки марок и база между марками. После приведения ОИ в состояние готовности осуществляется запуск (старт) контейнера ТУК и открытие затвора АФА с задержкой, задаваемой на основе прогнозируемой скорости движения контейнера. При нахождении контейнера в 0,5-1,5 м от лобовой стенки преграды, производится запуск импульсного источника света (ИИС), обеспечивающего требуемую освещенность и необходимую экспозицию фотосъемки. На аэрофотопленке одновременно с изображением контейнера регистрируется изображение реперных марок преграды.

Получаемые аналоговые фотоснимки (негативы) оцифровываются – преобразуются в растровую форму на фотограмметрическом сканере, с последующим вводом цифровых изображений в РС. В случае применения для регистрации цифровых фотокамер получаемые при съемке цифровые изображения сразу вводятся в персональный компьютер для фотограмметрической обработки, минуя процесс сканирования.

Фотограмметрическая обработка цифровых снимков осуществляется с использованием специальной компьютерной программы и решается по следующему алгоритму.

С учетом выполнения условий ориентации оптической оси АФА по отношению к траектории движения контейнера ТУК в горизонтальной плоскости, наблюдается максимальная адекватность полученного изображения линейной перспективе, что дает возможность, не проводя трансформирования снимка и дополнительных пространственных вычислений, получить фактическое значение угла подхода контейнера к преграде, непосредственно из измерений фотоснимка.

Впечатываемые во время экспозиции перекрестия прикладной рамки камеры образуют на снимке плоскую прямоугольную систему координат (xx, zz, см. рис. 5).

При математической обработке по известным расстояниям между калиброванными перекрестиями на фотоизображении, находят поправки в измеряемые координаты x , z точек снимка за деформацию и невыравнивание плёнки в плоскость. Тем самым учитываются систематические погрешности снимка – измеренные координаты приводятся к координатам идентичных точек ортоскопической оптической системы.

Определение углового положения контейнера ТУК в горизонтальной плоскости, по отношению к преграде, осуществляется следующим образом:

– Измеряются координаты x , z изображений двух точек – реперных марок на преграде в системе координат снимка. По разности координат этих точек определяется угловое положение преграды в системе координат фотоснимка (1):

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x_{п1} - x_{п2}}{z_{п1} - z_{п2}} = \frac{\Delta x_{п(1-2)}}{\Delta z_{п(1-2)}}, \quad (1)$$

где $x_{п1}$, $x_{п2}$, $z_{п1}$, $z_{п2}$ – измеряемые на снимке координаты реперных марок преграды.

– Измеряются координаты изображений двух реперных марок на образующей в плоскости продольной оси контейнера ТУК. По разности координат этих точек определяется угол поворота контейнера в осях системы координат фотоснимка (2):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{z_{к1} - z_{к2}}{x_{к1} - x_{к2}} = \frac{\Delta z_{к(1-2)}}{\Delta x_{к(1-2)}}, \quad (2)$$

где $x_{к1}$, $x_{к2}$, $z_{к1}$, $z_{к2}$ – измеряемые на снимке координаты реперных марок на боковой поверхности контейнера, задающих осевую линию контейнера.

– Угловое положение контейнера в горизонтальной плоскости по отношению к лобовой стенке преграды определяется по формуле (3):

$$\varphi = \operatorname{arctg} \alpha \pm \operatorname{arctg} \beta. \quad (3)$$

Оценка погрешности угла подхода контейнера ТУК к преграде данным методом в основном зависит от достоверности в оценке координат x , z по фотоснимку, погрешности измерений которых считаются подчиняющимися нормальному закону распределения. Влияние других источников погрешностей на измерения координат снимка, таких как ориентация фотокамеры относительно плоскости движения контейнера, установка реперных марок на преграде и маркировка образующей контейнера, пренебрежимо мало, что достигается соответствующей методикой работ в процессе подготовки эксперимента. Так, ориентация оптической оси фотокамеры, выполняемая с помощью накладного уровня, осуществляется с погрешностью 10-20 угловых секунд. Геодезический контроль за установкой реперных марок на преграде, равно как и маркировка образующей контейнера, могут быть выполнены с погрешностью ~0,5-1,5 угловых минут. Случайную среднеквадратическую погрешность измерения координат точек снимка можно рассчитать по формуле (4):

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2}, \quad (4)$$

где σ_1 – погрешность, обусловленная измерительными способностями снимка;

σ_2 – погрешность средств, применяемых для измерительной обработки снимка;

σ_3 – погрешность, обусловленная невыравниванием пленки в момент экспозиции и ее деформацией в процессе фотохимической обработки;

σ_4 – погрешность, обусловленная дисторсией объектива съёмочной камеры.

Максимальное значение погрешности σ_1 при измерениях по маркированным точкам в среднем не превышает 0,02 мм. Погрешность σ_2 цифровой компьютерной обработки снимка находится в пределах 5-10 мкм. Влиянием погрешности σ_3 можно пренебречь, т.к. данные систематические ошибки исключаются применением сетки калиброванных перекрестий, впечатываемых на снимок в момент экспозиции плёнки. Значения погрешности σ_4 для объектива АФА составляют 0,003-0,01 мм.

Подставляя эти значения погрешностей, получим суммарную погрешность измерения координат точек снимка $\sigma_x (\sigma_z) = 0.025$ мм.

Для расчета случайной погрешности измерения угла φ применяется формула (5):

$$\sigma\varphi = \left(\frac{1}{\Delta x^2 + \Delta z^2} \cdot \sqrt{\Delta x^2 \cdot \sigma z^2 + \Delta z^2 \cdot \sigma x^2} \cdot \frac{180}{\pi} \right) \cdot \sqrt{2}. \quad (5)$$

Длины характерных испытываемых в условиях отечественных ракетных треков контейнеров ТУК составляют $L \approx 4,0$ м, что на снимке при масштабе съёмки 1:55 и максимальном значении угла подхода контейнера к преграде $\sim 10^\circ$ будет соответствовать размеру $\Delta x_{K(1-2)} \sim 72,0$ мм и размеру $\Delta z_{K(1-2)} \sim 12,5$ мм.

Тогда результирующая случайная погрешность измерения угла φ составит $\sigma\varphi \approx 0,003^\circ$.

Основной составляющей погрешности измерений, влияющей на величину суммарной погрешности угла φ , является тангаж υ контейнера (угол наклона в вертикальной плоскости), максимальное значение которого при подходе к преграде может достигать $\sim 3^\circ$. Влияние тангажа на определение угла φ характеризуется систематической погрешностью, которая имеет постоянный знак, но может различаться по величине от опыта к опыту. С учётом этого влияния измеряемое значение угла φ всегда будет больше фактического значения на величину $< 0,4^\circ$. Данная систематическая погрешность не может быть использована для внесения поправки в результаты измерений угла φ . Для этого требуется измерить фактическое значение угла υ тангажа контейнера.

Поскольку систематическая погрешность имеет границы от 0° до $0,4^\circ$ и не выходит за пределы $0,4^\circ$, а случайная составляющая погрешности пренебрежимо мала, то предельная погрешность МВИ угла φ подхода контейнера к преграде в конечном итоге не превысит $0,4^\circ$.

Таким образом, используемая отечественная методика измерения угла встречи транспортного упаковочного комплекта с преградой полностью соответствует требованиям МАГАТЭ.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-2078.2019.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров, С. В. Мультимодальные перевозки в программе репатриации ОТВС ИР российского производства в Российскую Федерацию / С. В. Комаров, А. Н. Дорофеев, А. А. Иващенко [и др.] // Черемшанские чтения: сборник докладов в 3-х частях. – Димитровград : ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – Часть 1. – С. 97-106.
2. Обеспечение безопасности при транспортировании радиоактивных материалов (Справочный материал к Правилам безопасности при транспортировании радиоактивных материалов, НП-053-04): РБ-039-07: утверждено постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору : введено в действие с 03.12.2007. – Москва : 2005. – 336 с.
3. Нормы МАГАТЭ по безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. Конкретные требования безопасности №SSR-6. IAEA. – 2012.
4. Spent Nuclear Fuel Assay Data for Isotopic Validation State-of-the-art Report Nuclear Science Committee Working Party on Nuclear Criticality Safety (WPNCS) Expert Group on Assay Data of Spent Nuclear Fuel (EGADSNF) OECD 2011. 97 p.

5. Managing Spent Fuel from Nuclear Power Reactors Experience and Lessons from Around the World. Edited by Harold Feiveson, Zia Mian, M.V. Ramana and Frank von Hippel. 2011. International Panel on Fissile Materials. URL: www.fissilematerials.org.
6. Файков, Ю. И., Испытания ракетной и авиационной техники на ракетном треке / Ю. И. Файков, В. И. Дудай, В. М. Никулин, Г. П. Шляпников // Известия Российской Академии Ракетных и Артиллерийских Наук. – 2006. – № 3(48). – С. 11-14.
7. Герасимов, С. И. Постановка испытаний топливных упаковочных комплектов на ракетном треке / С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев, Р. В. Герасимова, К. И. Ляхов, А. В. Мельник, И. А. Одзерихо, Б. А. Яненко // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 3(24). – С. 68-76.
8. Rigali, D.J., Feltz L.V. High-Speed Monorail Rocket Sleds for Aerodynamic Testing at High Reynolds Numbers. «Journal of Spacecraft and Rockets». 1968. Vol. 5. № 11. P. 1341-1346.
9. James L. Lamb, Critical Velocities for Rocket Sled Excitation of Rail Resonance. Johns Hopkins Apl Technikal Digest. Vol. 21. N 3 (2000).
10. Metrikine A.V., Verichev S.N. Instability of Vibrations of a Moving Two Mass Oscillator on a Flexibly Supported Timoshenko Beam. Archive of Applied Mechanics. 2001. Vol. 71. No 9. P. 613-624.
11. Gerasimov S. I., Erofeev V. I., Kamchatnyi V. G., Odzerikho I. A. The Sliding Contact Condition in Stability Analysis of Stage Motion for a Rocket Sled Track Facility. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Vol. 47. N 3. P. 221-226.
12. Герасимов, С. И. Устойчивость движения высокоскоростных объектов по направляющим ракетного трека / С. И. Герасимов, С. В. Бутова, В. И. Ерофеев, В. Г. Камчатный // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – № 1. – С. 3-8.

REFERENCES

- [1] Komarov S.V., Dorofeev A.N., Ivashchenko A.A. [et al.] Mul'timodal'ny'e perevozki v programme repatriacii OTVS IR rossijskogo proizvodstva v Rossijskuyu Federaciyu [Multimodal Transportation in the Program of Repatriation of Russian-made SFS IR to the Russian Federation]. Cheremshanskije chteniya: sbornik dokladov v 3-x chastyax [Cheremshan Readings: a Collection of Reports in 3 Parts]. Dimitrovgrad: DITI NRNU MEPhI, 2012. Part 1. P. 97-106.
- [2] Obespechenie bezopasnosti pri transportirovanii radioaktivny'x materialov (Spravochny'j material k Pravilam bezopasnosti pri transportirovanii radioaktivny'x materialov, NP-053-04): utverzhdeno postanovleniem Federal'noj sluzhby' po e'kologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru: vvedeno v dejstvie s 03.12.2007. [Safety during Transportation of Radioactive Materials (Reference material to Safety Rules for transportation of radioactive materials, NP-053-04): RB-039-07: UTV. resolution of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision: put into effect from 03.12.2007]. Moskva [Moscow]. 2005. 336 p. (in Russian).
- [3] Normy' MAGATE' po bezopasnosti dlya zashchity' lyudej i ohrany' okruzhayushhej sredy'. Pravila bezopasnoj perevozki radioaktivny'x materialov. Konkretny'e trebovaniya bezopasnosti [IAEA Safety Standards for the Protection of People and Environment. Rules for the Safe Transport of Radioactive Materials. Specific Safety Requirements]. No. SSR-6. IAEA. 2012 (in Russian).
- [4] Spent Nuclear Fuel Assay Data for Isotopic Validation State-of-the-art Report Nuclear Science Committee Working Party on Nuclear Criticality Safety (WPNCs) Expert Group on Assay Data of Spent Nuclear Fuel (EGADSNF) OECD 2011. 97 p.
- [5] Managing Spent Fuel from Nuclear Power Reactors Experience and Lessons from Around the World. Edited by Harold Feiveson, Zia Mian, M.V. Ramana and Frank von Hippel. 2011. International Panel on Fissile Materials. URL: www.fissilematerials.org.
- [6] Faikov Yu.I., Duday V.I., Nikulin V.M., Shlyapnikov G.P. Ispy'taniya raketnoj i aviacionnoj tekhniki na raketnom treke [Tests of Missile and Aircraft on the Missile Track]. Izvestiya Rossijskoj Akademii Raketny'x i Artillerijskix Nauk [Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences]. 2006. No. 3(48). P. 11-14 (in Russian).
- [7] Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Lyakhov K.I., Melnik A.V., Odzerikho I.A., Yanenko B.A. Postanovka ispy'tanij toplivny'x upakovocny'x komplektov na raketnom treke [Statement of Tests on the Missile Track of Fuel Packaging Kits]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. No 3 (24). P. 68-76 (in Russian).
- [8] Rigali D.J. and Feltz L.V. High-Speed Monorail Rocket Sleds for Aerodynamic Testing at High Reynolds Numbers. «Journal of Spacecraft and Rockets». 1968. Vol. 5. No. 11. P. 1341-1346.
- [9] James L. Lamb, Critical Velocities for Rocket Sled Excitation of Rail Resonance. Johns Hopkins Apl Technikal Digest. Vol. 21. No. 3 (2000).

- [10] Metrikine A.V., Verichev S.N. Instability of Vibrations of Moving Two Mass Oscillator on a Flexibly Supported Timoshenko Beam. *Archive of Applied Mechanics*. 2001. Vol. 71. No 9. P. 613-624.
- [11] Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Kamchatnyi V.G., Odzerikho I.A. The Sliding Contact Condition in Stability Analysis of Stage Motion for a Rocket Sled Track Facility. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2018. Vol. 47. No. 3. P. 221-226.
- [12] Gerasimov S.I., Butova S.V., Erofeev V.I., Kamchatka V.G. Ustojchivost' dvizheniya vy'sokoskorostny'x ob'ektov po napravlyayushhim raketnogo treka [Stability of Movement of High-Speed Objects along the Guides of the Missile track]. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin* [Problems of Mechanical Engineering and Reliability of Machines]. 2015. No.1. P. 3-8 (in Russian).

Measuring of Impact Angle of Transport Packaging Kit with Rigid Barrier in Emergency Test on Missile Track

S.I. Gerasimov^{*,1}, V.I. Erofeev^{*2}, V.A. Kikeev^{*3}, O.V. Krivosheev^{**4}, V.I. Kostin^{*5},
I.A. Odzeriho^{*,**6}, R.V. Gerasimova^{**7}, A.A. Glukhov^{**8}, V.V. Pisetskiy^{**9}**

**Mechanical Engineering Research Institute of Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod,
Belinskogo St., 85, Russia 603024*

***Sarov Physics and Technical Institute of National Research Nuclear University «MEPHI»,
Nizhny Novgorod region, Sarov, Duchov St., 6, Russia 607186*

¹ORCID iD: 0000-0002-6850-0816

WOS Researcher ID: L-2727-2016

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

²ORCID iD: 0000-0002-6637-5564

e-mail: erf04@mts-nn.ru

³ORCID iD: 0000-0002-2040-2045

e-mail: vkikeev@mail.ru

⁴ORCID iD: 0000-0003-4597-4215

e-mail: staff@vniief.ru

⁵ORCID iD: 0000-0002-2711-3975

e-mail: costin.vasil@yandex.ru

⁶ORCID iD: 0000-0002-2672-7318

e-mail: odzeriho.irina@yandex.ru

⁷ORCID iD: 0000-0002-2711-3975

e-mail: grv@sarfti.ru

⁸ORCID iD: 0000-0003-4470-6518

e-mail: glukh0w.a@yandex.ru

⁹ORCID iD: 0000-0003-2878-6191

e-mail: pvv@sarfti.ru

Abstract – IAEA standards for collision testing include conducting an experiment with a mock-up of a TUK package in conditions simulating an aviation accident. The sample should be subjected to a collision with a rigid barrier at a speed of not less than 90 m/s, and in such a position as to cause maximum damage. The target must also comply with the requirements of the norms-to be a flat horizontal surface of such a kind that any increase in the resistance to displacement or deformation of this surface when the sample falls on it does not lead to a significant increase in the damage of this sample. The surface of the target can be in any position, but it must be perpendicular to the trajectory of the sample. Rocket tracks are used to carry out such tests with packages weighing up to half a ton. AS such experiments are isolated and expensive, a strict justification of compliance with the requirements for the impact angle of the parameters that are actually implemented during the tests is required. The paper presents methods of measuring these parameters in the experiment and determines their accuracy.

Keywords: packaging, radioactive materials, spent nuclear fuel, air transportation, accident, missile track equipment, impact angle.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 614 876:502:613:621.039

**ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО
ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ЕГО
РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТАХ
(АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)**

© 2020 К. Орумо, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонтов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В работе приводится краткий аналитический обзор радиационных эффектов, связанных с воздействием ионизирующего излучения на биологические объекты. Рассматриваются достаточно сложные процессы воздействия ионизирующего излучения на молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), возникающие в организме на клеточном уровне при его поглощении. Показано, что в широком диапазоне мощностей доз, создаваемых ионизирующим излучением при воздействии последнего на биологические объекты и, в частности, на человека, наиболее опасными являются генетические последствия, играющие значительную роль для населения стран, активно использующих ионизирующее излучение в промышленности, медицине, особых видах производств, а также при производстве электроэнергии на атомных электростанциях. Особое внимание в работе уделяется воздействию ионизирующего излучения на детей, требуя повышенного внимания при диагностике заболеваний при постядерных авариях, а также во время диагностики или лечения радиацией. В качестве мер прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на человека в статье приводится краткое представление автоматизированной системы радиационного контроля окружающей среды с её целями, задачами и методами радиационного контроля, позволяющими минимизировать последствия радиационных аварий и оценить дозовые нагрузки на персонал АЭС и население.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, радиационное повреждение, дезоксирибонуклеиновая кислота ДНК, радиочувствительность, автоматизированная система радиационного контроля окружающей среды (АСКРО), доза и мощность дозы ионизирующего излучения.

Поступила в редакцию 24.03.2020

После доработки 02.06.2020

Принята к публикации 08.06.2020

Введение

При прохождении ионизирующего излучения (ИИ) через какую-либо биологическую среду или ткань какого-либо биологического объекта прежде всего необходимо учитывать вид ИИ (α , β , γ , n_0 , p и пр.), поскольку его поглощенная доза существенно зависит от качества излучения, т.е. свойств ионизирующих частиц, зависящих от их ионизирующей способности, которые, в свою очередь зависят от массы частицы ее заряда и энергии, равно как от заряда и плотности вещества, в котором распространяется ИИ. Величина поглощенной дозы – энергия ионизирующего излучения, поглощенная в объеме вещества, отнесенная к массе объема этого вещества, единица измерения которой является грей (1 Гр=1 Дж/кг).

Экспозиционная доза X пропорциональна энергии фотонного излучения, затраченной на ионизацию молекул воздуха и равна отношению средней величины суммарного заряда всех ионов одного знака, созданных в воздухе, когда все электроны и позитроны, освобожденные фотонами в элементарном объеме dm , полностью

потеряли свою энергию, к массе этого объема dm . Единица измерения экспозиционной дозы – Кл/кг (внесистемной – рентген (Р)). Характеристикой косвенно ионизирующего излучения является керма – отношение суммы первоначальных кинетических энергий всех заряженных частиц, образованных под действием излучения в элементарном объеме вещества, к массе в этом объеме. В качестве вещества рассматривается воздух, единица измерения – грей.

Для оценки биологического действия при хроническом облучении человека в малых дозах служит величина эквивалентной дозы. Доза эквивалентная $H_{T,R}$ – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент (коэффициент качества) для данного вида излучения, вычисляется по формуле (1), [1, 2, 3], единицей измерения которой служит зиверт⁵ (Зв).

$$H_{T,R} = W_R \times D_{T,R}, \quad (1)$$

где $D_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани T ;

W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R , значения которого для различных видов ИИ приведены в таблице 1. При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения.

Таблица 1 – Взвешивающие коэффициенты W_R для отдельных видов излучения [1] [Weighting factors W_R for individual types of radiation]

Вид ионизирующего излучения	Взвешивающий коэффициент W_R
Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Нейтроны с энергией:	
менее 10 кэВ	5
от 10 до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20
Примечание. Все значения относятся к излучению, падающему на тело, а в случае внутреннего облучения – испускаемому при ядерном превращении.	

При воздействии ИИ на какой-либо биологический объект находят *эффективную эквивалентную дозу* (H_E), величина которой используется как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности [2]. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты (2):

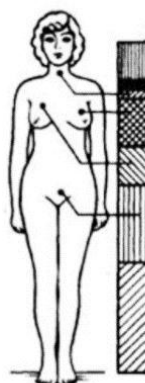
$$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T, \quad (2)$$

где H_T – эквивалентная доза в T -м органе или ткани;

W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T (см. табл. 1, рис. 1), представляющий собой отношение стохастического риска смерти в результате облучения T -го органа или ткани к риску смерти от равномерного облучения тела при одинаковых эквивалентных дозах (рис. 1), величина $W_T = 0,30$, отведенная на все

⁵ Рольф Зиверт (нем. Rolf Maximilian Sievert; 06.05.1896 года — 03.10.1966 года) – известный шведский ученый, внесший большой вклад в различные области радиационной безопасности, в исследования естественного γ -излучения.

другие органы, распределяется поровну между пятью оставшимися органами и тканями, не указанными на рисунке 1, которые получили самую высокую эквивалентную дозу. Таким образом, W_T определяет весовой вклад данного органа или ткани в риск неблагоприятных последствий для организма, при равномерном облучении: $\sum_T W_T = 1$.



Орган или ткань	R_T , $10^{-2} \text{ 1/(чел-Зв)}$	$w_T = R_T / \sum R_T$
Красный костный мозг	0,20	0,12
Костная ткань	0,05	0,03
Щитовидная железа	0,05	0,03
Молочная железа	0,25	0,15
Легкие	0,20	0,12
Гонады	0,40	0,25
Все другие органы, из них на каждый орган	0,50 0,10	0,30 0,06
Организм в целом	1,65	1,00

Рисунок 1 – Взвешивающие факторы W_T и риск смерти R_T от злокачественных опухолей и наследственных дефектов (у первых двух поколений облученных лиц) в результате облучения на 1 человека при эквивалентной дозе 1 Зв для задач радиационной защиты [2] [Weighing factors W_T and R_T death risk from malignant tumors and hereditary defects (in the first two generations of exposed individuals) as a result of exposure to 1 person at an equivalent dose of 1 Sv for radiation protection tasks]

Оценкой последствий облучения группы лиц для целей оптимизации радиационной защиты вводится величина – коллективная эффективная доза, единица измерений которой является человеко-зиверт (чел-Зв).

Нормируемые величины (основные дозовые пределы) непосредственно измерить невозможно. Для оценки нормируемых величин при радиационном контроле предназначены операционные величины, которые являются непосредственно определяемыми в измерениях величинами. Эти величины максимально приближены к соответствующим нормируемым величинам в стандартных условиях облучения и предназначены для консервативной оценки нормируемых величин.

При индивидуальном дозиметрическом контроле за значение эффективной дозы внешнего облучения принимается индивидуальный эквивалент дозы $H_p(d)$, равный эквиваленту дозы в мягкой биологической ткани на глубине $d(\text{мм})$ под рассматриваемой точкой на теле взрослого человека.

При контроле радиационной обстановки в качестве операционной величины внешнего облучения принят амбиентный эквивалент дозы (амбиентная доза) $H^*(d)$.

Параметр d определяет соотношение операционной и нормируемой величин:

- при $d = 10 \text{ мм}$ величины $H^*(10)$ и $H_p(10)$ соответствуют эффективной дозе внешнего облучения;
- при $d = 3 \text{ мм}$ величины $H^*(3)$ и $H_p(3)$ соответствуют эквивалентной дозе внешнего облучения хрусталика глаза;
- при $d = 0,07 \text{ мм}$ величины $H^*(0,07)$ и $H_p(0,07)$ соответствуют эквивалентной дозе внешнего облучения кожи.

Таким образом, операционные величины должны позволять оценивать два типа доз облучения: для сильно проникающего излучения – эффективную дозу, для слабо проникающего излучения – локальную дозу для кожи или дозу для хрусталика глаза.

Для оценки эффективной дозы при внутреннем облучении вводится величина ожидаемой эффективной дозы (committed dose). Она используется как мера риска возникновения отдаленных последствий внутреннего облучения всего тела человека и

отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности (стохастические эффекты) и представляет сумму произведений ожидаемой эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты. Единица ожидаемой эффективной дозы – зиверт (Зв). Оценкой детерминированного эффекта в результате внешнего облучения органа является ОБЭ-взвешенная доза, которая определяется как произведение дозы в органе на коэффициент ОБЭ излучения. Единицей измерения служит грэй-эквивалент (Гр-Экв). ОБЭ-взвешенная доза является новой дозиметрической величиной, предназначенной для характеристики аварийного облучения и ее введения в практику, является результатом анализа уроков реагирования на радиационные аварии.

В современную систему дозиметрических величин введено понятие эквидозиметрических величин, которые служат для оценки воздействия ионизирующего излучения конкретно на человека. По своему назначению они разделены на три группы:

- величины для оценки рисков возникновения и развития эффектов от излучения (поглощенная доза в органе или ткани, эквивалентная доза в органе или ткани и ОБЭ-взвешенная доза);
- величины для установления требований к состоянию радиационной безопасности о вероятном возникновении эффектов (эффективная доза);
- величины для соответствия требованиям к радиационной безопасности (эквивалент дозы, амбиентный и индивидуальный эквиваленты дозы и ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения).

Наряду с экспериментальными данными, относящимися к особенностям воздействия ИИ на различные органы человека, значительный интерес представляют собой данные, характеризующие особенности воздействия излучения на клеточный материал биомассы. Знание этих особенностей и механизмов их происхождения дает возможность понять, почему одни представители животного мира более чувствительны к воздействию ИИ, другие – менее (табл. 2), с одной стороны, а с другой – сформировать защитный механизм, позволяющий выдерживать значительные дозовые нагрузки без летального исхода.

Таблица 2 – Летальные дозы облучения для различных видов животных [4] (по литературным данным) и человека [5] [Lethal radiation doses for various animal species (according to published data) and humans]

Вид животного или человек	Минимальная смертельная доза в Зв	Доза 50 % выживаемости в Зв	Минимальная абсолютная смертельная доза в Зв
Улитки	-	2000	-
Амебы (простейшие)	1000 - 3000	1000	-
Насекомые	10 - 100	-	-
Дрозофилы	-	8	-
Птицы, рыбы	8 - 20	-	-
Кролики	8	8,5 - 11	14
Хомяки	-	7 - 8,8	-
Крысы	2,5 - 3,0	4,5 - 6	6,5 - 8
Обезьяны	-	5 - 6	-
Мыши	2	3,5 - 4	5,5 - 8
Собаки	2,75	3,25 - 4	6
Морские свинки	-	2 - 4	4
Козы	-	3,5	-
Свиньи	-	4 - 5	-
Человек	6	3 - 5	6 - 7

При этом следует отметить, что в литературе, освещающей проблемы радиационной безопасности, этим вопросам уделяется значительно меньше внимания возможно по той причине, что они скорее относятся к области биологии, нежели к техническим проблемам.

Тем не менее, дальнейшее наше внимание будет уделено более детальному анализу биологических эффектов при воздействии ИИ на организм человека. Это обусловлено тем, что результаты воздействия ИИ на человека и окружающую среду в рамках решения военных конфликтов путем применения ядерной бомбардировки, впервые в истории человечества, сначала в Хиросиме, а вскоре после этого и в Нагасаки [6], предоставили доказательства того, что интенсивное воздействие ИИ приводит к возникновению онкологических заболеваний. Это проявлялось у выживших после атомной бомбардировки женщин, у которых наблюдалось значительное увеличение заболеваний крови, рака молочных желез и других заболеваний.

Дальнейшие результаты [6] также показали, что воздействие ионизирующего излучения в детском возрасте может привести к увеличению избыточного риска развития рака у детей по сравнению с взрослыми, что указывает на их более высокую чувствительность к воздействию радиации и образованию опухолей. Это показали и результаты исследований, проведенные в Чернобыле группой авторов указанной работы, в которой рассматривался вопрос онкологических заболеваний щитовидной железы у детей и взрослых, которые подвергались воздействию высоких доз облучения щитовидной железы (более 1 Гр). Рассмотрим более детально процессы, сопровождающие прохождение ионизирующего излучения в биологической среде.

Биологические эффекты воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду и организм человека

Доза ионизирующего излучения, поглощенная в биологической среде, инициирует сложный процесс различных событий. Во-первых, это физическая активность с передачей энергии от ионизирующих частиц к атомам и молекулам окружающих тканей, процесс, который занимает около 10^{-13} с. Далее следуют физико-химические методы, такие как передача внутримолекулярной энергии, возбуждение и ионизация атомов с длительностью около 10^{-10} с. Затем химические процессы и в этот момент первичное повреждение биологических структур начинается на продолжительности около 10^{-6} с. Далее следуют биологические процессы. На этом этапе поврежденные органические структуры могут быть восстановлены или необратимо повреждены. Наблюдаемое повреждение может привести к гибели клеток, которая может происходить в течение периодов от нескольких секунд до нескольких лет. Все эти процессы приводят к окончательному радиобиологическому воздействию радиации на организм человека [7].

Биологическое действие ионизирующих излучений

Вскоре после открытия биологического действия ионизирующих излучений было установлено, что любой живой объект при определенной дозе облучения погибает. Поглощенные дозы фотонного излучения D , приводящие к гибели разных объектов в облученной популяции, различаются в очень широких пределах. Для человека доза фотонного излучения, вызывающая 50 %-ю вероятность гибели, равна 4,5 Гр (450 Р, см. табл. 2).

Каждому биологическому виду свойственна своя радиочувствительность. Степень радиочувствительности сильно варьируется в пределах одного вида, а для определенного индивидуума зависит также от возраста и пола, даже в одном организме различные органы сильно различаются по радиочувствительности, как это следует из рисунка 1.

На рисунке 2 приведены клетки человека и животного. Составляющие компоненты клетки человека и животных различаются незначительно. Большинство

клеток млекопитающих имеют типичные размеры 10-30 мкм. Клетка в основном состоит из клеточной или цитоплазматической мембраны, представляющей собой тонкую пленку, покрывающую всю клетку, через которую осуществляется обмен веществ; ядра, в котором находится ДНК – генетический материал клетки, объединенный с большим количеством белка в структуры, называемыми хромосомами; цитоплазмы – среды, содержащей воду, различные соли, органические соединения, а также ряд органелл, представляющих собой рабочие части клетки [8]. В каждой клетке многие тысячи молекул ферментов управляют взаимодействием химических соединений. Все процессы в клетке строго функционально структурированы. В ядре клетки, как уже отмечалось, сосредоточены гигантские биополимерные молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), которые, по крайней мере, в период деления, представляют собой две спиралевидные нити. В строго определенной последовательности две нити связаны чередующимися молекулами четырех типов оснований. Хромосомы (от греч. Chroma – цвет, окраска; soma – тело) – структурные элементы ядра клетки, содержащие ДНК, в которой заключена наследственная информация организма. В хромосомах в линейном порядке расположены гены (от греч. genos – род, происхождение) – единицы наследственного материала, отвечающие за формирование какого-либо элементарного признака. Совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данного организма, называется геномом.



Рисунок 2 – Основные компоненты клетки животного (а) и человека (б)
[The main cell components of the animal (a) and human (б)]

Клетки – это единицы живого, мельчайшие структуры, выполняющие функции, которые и определяют состояние, именуемое жизнью [8]. К таким функциям относятся: поглощение веществ и энергии, использование энергии для построения сложных структур из более простых веществ, рост и размножение. В среднем в организме человека насчитывается $5 \cdot 10^{13}$ клеток, из которых до 20 % клеток организма интенсивно делятся. Высокая скорость деления клеток присуща костному мозгу, кишечнику, коже, роговице глаза, половым железам. Однако большая часть органов состоит из редко делящихся клеток (печень, легкие, сердце, сосуды, кости, эндокринные железы). Клетки нервной системы практически не делятся. Такие органы называют стационарными системами [8].

Воздействие ионизирующего излучения на клетку может происходить непосредственно, например, путем взаимодействия γ - или β -излучения с атомами или молекулами хромосом, или опосредованно при радиоллизе воды или других химических веществ, содержащейся в цитоплазме клетки. В первом случае, при невысокой плотности ИИ, ДНК может восстановиться, если разрыв связи произошел только на одной нити, если же эффект разрыва связи произошел на двух нитях ДНК, то она не подлежит восстановлению (рис. 3), но в дальнейшем может принимать участие в создании неполноценных молекул, создавая, таким образом, очаг поражения, который

может привести в дальнейшем к негативным последствиям. На рисунках 3, 4 приведены результаты воздействия ионизирующего излучения на ДНК. После прохождения излучения связи могут быть восстановлены, но неправильно (рис. 4).

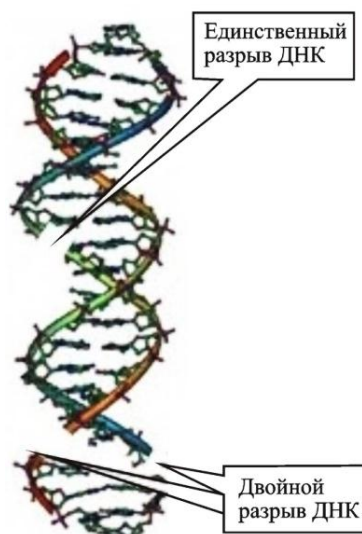


Рисунок 3 – Виды разрывов ДНК при воздействии ионизирующего излучения [8] [Types of DNA breaks when exposed to ionizing radiation]

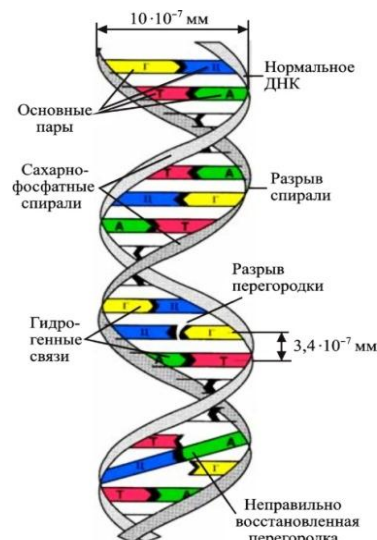


Рисунок 4 – Результат воздействия ионизирующего излучения на ДНК [8] [The result of ionizing radiation on DNA]

В процессе деления происходит расхождение нитей ДНК и синтез на каждой нити, как на матрице еще по одной нити с сохранением последовательности оснований. В отличие от ядра, содержащего уникальные молекулы ДНК, в цитоплазме содержатся многочисленные дублирующие структуры, отвечающие за энергетику клетки, синтез белка, транспорт питательных веществ и т.д.

В активно делящихся клетках период между двумя клеточными делениями занимает от 12 до 48 ч. При этом на сам процесс деления приходится не более часа. Пока клетка не делится, ее системы не воспринимают факт нарушений, который возник от действия ионизирующих излучений (или от некоторых химических соединений). Однако в процессе деления в месте поврежденной ДНК образуется разрыв хромосомы и образуются фрагменты, обрывки хромосом. Новообразованная клетка, лишенная части ДНК, утрачивает способность к синтезу жизненно важных веществ и может быть обречена на гибель. Поэтому интенсивно делящиеся клетки в большей степени подвержены действию ионизирующих излучений. Вместе с тем в организме действует механизм репараций, который может «залечивать» некоторые повреждения. Это относится, прежде всего, к одноразрывным дефектам в нитях хромосом. Например, если провести облучение большой дозой в два этапа с интервалом между ними около четырех часов, то число выживших клеток млекопитающих возрастает в 2-3 раза по сравнению с непрерывным облучением той же дозой. Двуразрывные нарушения молекул ДНК характерны для частиц, создающих на пробеге высокую плотность ионизации, или при очень больших мощностях доз. Такие разрывы почти не «залечиваются». Примеры одно- и двуразрывных связей ДНК приведены на рисунке 3. На рисунке 5 приведены примеры непосредственного и опосредованного воздействия ИИ на ДНК клетки.

Механизм биологического действия ионизирующего излучения на биологическую ткань можно определить несколькими актами. В первом (физическом акте) энергия ионизирующего излучения при прохождении через биологическую ткань передается атомам и молекулам. Это приводит к образованию ионов и возбужденных молекул. Следующий акт определяется химическим этапом поражения клетки.

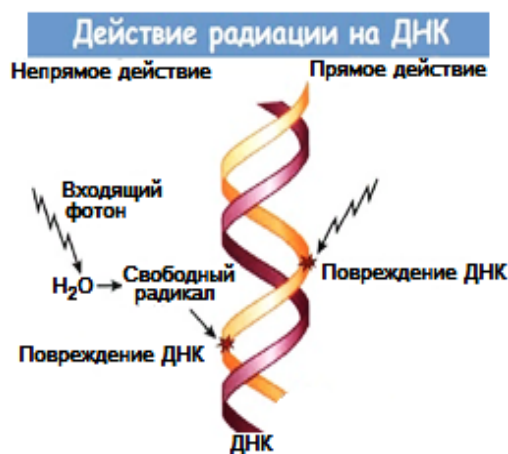
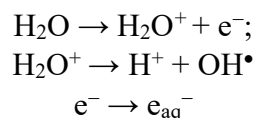


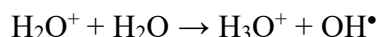
Рисунок 5 – Результат непосредственного и опосредованного воздействия ионизирующего излучения на ДНК [The result of direct and indirect effects of ionizing radiation on DNA]

В основе первичных радиационно-химических изменений молекул могут лежать два механизма: 1) прямое действие, когда данная молекула испытывает изменения за счет ионизации или возбуждения непосредственно при взаимодействии с излучением; 2) косвенное действие, когда молекула непосредственно не поглощает энергию ионизирующего излучения, а получает ее путем передачи от другой молекулы.

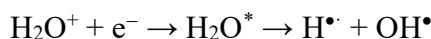
Поскольку 60-70 % массы биологической ткани составляет вода, рассмотрим различие между прямым и косвенным действием излучения на примере облучения воды [8]. Начальные процессы радиолитического разложения воды, приводящие к образованию радикалов $\text{H}^\bullet$ и $\text{OH}^\bullet$, представлены на схеме:



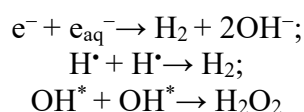
Ионизированная молекула воды реагирует с другой нейтральной молекулой воды, в результате чего образуется высокореактивный радикал гидроксила $\text{OH}^\bullet$:



Выванный электрон также очень быстро передает энергию окружающим молекулам воды, в результате чего возникает сильно возбужденная молекула воды H_2O^* , которая диссоциирует с образованием двух радикалов $\text{H}^\bullet$ и $\text{OH}^\bullet$:

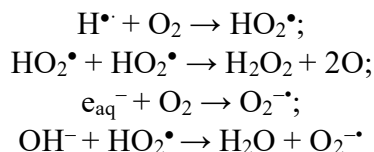


Свободные радикалы содержат неспаренные электроны и отличаются чрезвычайно высокой реакционной способностью. Время их жизни в воде не более 10^{-5} с. За это время они либо рекомбинируют друг с другом, либо реагируют с субстратом:



В присутствии растворенного в воде кислорода образуются и другие продукты радиолитического разложения: свободный радикал гидроперекиси $\text{HO}_2^\bullet$, перекись водорода H_2O_2 ,

атомарный кислород и радикал кислорода $O_2^{\cdot-}$, который называется супероксидным радикалом:



Супероксидный и гидропероксидный радикалы могут наносить очень серьезные повреждения биологически важным молекулам.

В клетке организма ситуация значительно более сложная, чем при облучении воды, особенно если поглощающим веществом являются крупные и многокомпонентные биологические молекулы. В этом случае образуются органические радикалы $D^{\cdot}$, отличающиеся также крайне высокой реакционной способностью. Располагая большим количеством энергии, они легко могут привести к разрыву химических связей. Именно этот процесс и происходит чаще всего в промежутке между образованием ионных пар и формированием конечных химических продуктов.

Кроме того, биологическое действие усиливается за счет кислородного эффекта. Образующийся в результате взаимодействия свободного радикала с кислородом высокореакционный продукт приводит к образованию новых молекул в облучаемой системе. Получающиеся в процессе радиолиза воды свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, подавляется активность ферментных систем, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму, – токсины. Это приводит к нарушению жизнедеятельности отдельных систем или организма в целом.

Индукцированные свободными радикалами химические реакции вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением. В этом состоит специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты. Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение. Например, смертельная доза фотонного излучения для млекопитающих равна 10 Гр, что соответствует поглощенной энергии 10 Дж/кг. Если эту энергию подвести в виде тепла, то она нагрела бы организм человека лишь на 0,002 °C.

Таким образом, как видно из результатов исследований воздействия ИИ на клетку, за ионизацией часто следует образование свободных радикалов, которые весьма эффективно взаимодействуют с биологическими молекулами, включая очень восприимчивый генетический материал. Этими уязвимыми участками в ядре являются хромосомы, представляющие собой двуспиральные структуры, состоящие из ДНК и белка, количество которых варьируется у разных организмов, вызывая наибольшее повреждение в делящихся клетках. Из последнего следует, что негативный результат от косвенного воздействия ИИ оказывается более распространенным, чем от его непосредственного воздействия, главным образом для излучения с низкой удельной ионизацией [9].

Формы поражения организма при воздействии ионизирующего излучения

Из приведенного выше обзора следует, что эффект воздействия ИИ на человека обусловлен ионизационными процессами, протекающими в его организме, мерой

* Радикал – атом или группа атомов, обладающих свободной валентностью.

измерения которых является поглощенная доза, определяемая единицей Грей (Гр)** (Дж/кг). Для оценки эффективности воздействия того или иного вида ИИ вводят, как указывалось ранее, величину эквивалентной дозы, вычисляемой по формуле (1), единицей которой служит Зиверт. При оценке отдаленных последствий воздействия ИИ на человека находят *эффективную эквивалентную дозу* (H_E), определяемую формулой (2), величина которой используется как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности, представленной в таблице на рисунке 2. Во всем мире радиационное воздействие на человека в среднем составляет от двух до трех мЗв. Эта сумма может варьироваться в широких пределах, главным образом потому, что основным источником облучения, который является естественным фоновым излучением, является диапазон от 1 до 100 МГр в год в зависимости от географического положения человека. На рисунке 6 представлена классификация различных биологических эффектов, обусловленных воздействием ионизирующего излучения.

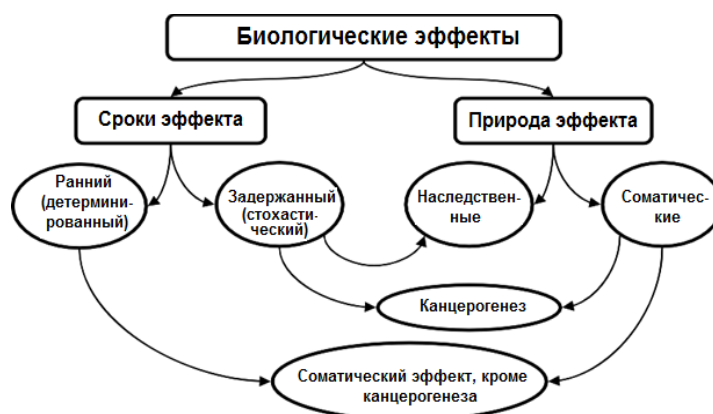


Рисунок 6 – Классификация биологических эффектов, обусловленных воздействием ионизирующего излучения [9] [Classification of biological effects due to exposure to ionizing radiation]

Результаты классифицируются как ранние или детерминированные, которые имеют порог, задержанный или стохастический, без ограничений. Результаты далее делятся на соматические и наследственные. Соматические включают ранние и отсроченные эффекты (рак).

Внешнее и внутреннее воздействие

Внешнее излучение – это излучение, обусловленное работой рентгеновских аппаратов в медицинских учреждениях при диагностике пациентов, на судостроительных заводах, заводах тяжелого машиностроения, где эти аппараты используют для проверки на наличие каверн (газовых полостей) в сварочных швах; излучение случайно выброшенных контейнеров с радиоактивными материалами; излучение радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере в результате радиационной аварии и т.д. При воздействии внешнего облучения, помимо рентгеновского и γ -излучения, обуславливающего общую дозу, которую может получить субъект, оказавшийся в поле ИИ, он может получить еще и дозу, обусловленную воздействием α - и β -частиц, вызывающих кожный ожог, а при вдыхании загрязненного воздуха – ожог верхних дыхательных путей, так называемый β -лорингит – характерное заболевание горла, имевшее место у ликвидаторов в Чернобыле в первые месяцы после аварии на ЧАЭС.

Опасность внутреннего радиационного облучения возникает из-за микрочастиц радиоактивных материалов, которые попадает в организм через дыхание или пищу, или, когда они проходят через кожу. Эти частицы, попадая в организм, производят

** Единица названа в честь британского учёного Льюиса Грэя в 1975 году.

радиационное облучение в течение всего времени до тех пор, пока они естественным или искусственным образом не будут удалены из организма. В этом случае наибольший вред на организм оказывают α -частицы, поскольку обладают высокой ионизационной способностью, имея малый пробег в биологической среде, создавая, таким образом, области, в которых увеличивается вероятность гибели клеток за счет рассмотренных выше механизмов воздействия ИИ на биологическую ткань.

Хроническая доза (долгосрочная доза низкого уровня)

Хроническое облучение – это относительно небольшая доза радиации, полученная в течение длительного времени при воздействии радиации. За тысячелетия развития человечества организм человека приспособился выдерживать хроническую дозу, величина которой существенно различается в зависимости от региона обитания человека. Эта доза складывается за счет космического излучения, величина которого увеличивается с ростом высоты* (на равнине ~ 0,01-0,015 мкЗв/ч, в горах больше: 0,020-0,025 мкЗв/ч) и специфике области обитания человека, определяемой, например, выходом на поверхность земли руд, содержащих радиоактивные изотопы. Местное население такие места называет «нехорошим местом» и предпочитает там не селиться. Особенность подобной адаптации населения к повышенному радиационному фону в горах, по-видимому, связана с возможностью восстановления повреждений в биологическом материале, подверженном воздействию ИИ, о чем сообщалось ранее. Однако при длительном времени воздействия радиации на работников горнодобывающей промышленности, радиологов или научных работников, работающих с радиацией или радиоактивными материалами, такая возможность у организма заметно уменьшается, что может привести к сокращению продолжительности жизни в зависимости от количества полученной дозы радиации.

Биологические воздействия высоких уровней радиационного воздействия ~ 4 Гр достаточно хорошо известны**, однако эффекты низких уровней радиации сложно обнаружить, поскольку детерминированные эффекты не возникают на этих уровнях. Исследования на людях, получивших высокие дозовые нагрузки, определенным образом показали на связь между дозой облучения и некоторыми отсроченными эффектами. К этим эффектам можно отнести рак различных органов и некоторые генетические эффекты. В этих оценках наблюдается определенная взаимосвязь между заболеваемостью при высоких дозах облучения и вероятностью заболевания при низких дозах. Поскольку вероятность заболевания возрастает с ростом дозовых нагрузок, то предполагается, что подобная зависимость будет иметь место и при малых дозах, т.е. эффект возможных лучевых заболеваний при низких дозах будет носить не пороговый, а линейный характер.

Соматическое воздействие радиации развивается у людей с повышенной чувствительностью к ИИ и состоит в изменениях в клетках организма, которые не передаются будущим поколениям. Эти эффекты могут быть быстрыми или отсроченными, в зависимости от величины мощности дозы и промежутка времени, в течение которого субъект набирает эту дозу. Так, например, в Индии жители Кералы становятся в 5-10 раз более восприимчивыми к радиации по сравнению с жителями других областей, поскольку почва в Керале содержит минерал монацит, в котором находят радиоактивный элемент торий, присутствие которого значительно увеличивает

*Мощность космического излучения неоднородна. Ближе к поверхности земли она уменьшается за счет экранирующего атмосферного слоя. И, наоборот, в горах она сильнее, поскольку защитный экран атмосферы слабее. Например, в самолете, который летит в небе на высоте 10 000 метров, уровень радиации превышает приземную радиацию почти в 10 раз.

**В течение острой лучевой болезни различают четыре периода. В первом периоде, или периоде «начальных реакций», признаки лучевого поражения появляются обычно через несколько часов после облучения. Пораженный начинает испытывать своеобразное состояние, напоминающее опьянение или оглушение. Появляются головные боли, головокружение, эйфория, гиперемия лица, нескоординированные движения, тошнота и рвота, боли в животе. Температура тела – субфебрильная (повышение температуры тела на протяжении длительного времени в пределах 37,1 – 38,0 °C). В тяжелых случаях рвота принимает неукротимый характер, появляется понос с кровью. При облучении большими дозами пораженный впадает в бессознательное состояние, развиваются общие судороги, и наступает летальный исход – смерть.

фоновую радиацию. При таких условиях воздействия ИИ в результате накопления радионуклидов в органах тела, отсроченные соматические эффекты, выражающиеся в виде раковых заболеваний или врожденных отклонений, довольно очевидны.

Радиационный ущерб

Радиационный ущерб начинается на клеточном уровне. Это может повлиять на различные критические объекты в клетке, наиболее важной из которых является ДНК. Результаты исследований, приведенные выше, указывают на то, что повреждение ДНК является причиной гибели, мутации и канцерогенеза клеток [9].

Поскольку радиационное воздействие на людей оказывается различным, невозможно предсказать, какая доза может привести к летальному исходу. Эксперты считают, что 50 процентов людей умрут в течение тридцати дней после лечения всего тела от 3500 до 5000 мГр в течение нескольких минут или часов (см. табл. 2). Несмотря на это, результаты в отношении здоровья будут различаться в зависимости от того, насколько человек здоров до заражения и какую медицинскую помощь он получает. Если воздействие ИИ ограничено только частями тела, например, руками, тогда такие эффекты, скорее всего, будут более локализованными, что приведет к ожогам кожи.

Радиационный ущерб репродуктивным клеткам

Этот эффект может происходить в результате летальных и не летальных мутаций.

Летальные мутации, как известно, приводят к гибели клетки, тогда как не летальные могут вызывать рак или нерегулярный рост клеток. Острые дозы радиации, воздействуя на репродуктивные органы, приводят к возникновению гамет*, содержащих вредные генные мутации, которые передаются не рожденному потомству. Радиоактивное загрязнение окружающей среды, таким образом, является причиной разрушения или распада молекулярных структур внутри гамет, вследствие чего нарушается генетический механизм хромосом. Рассматривая детали этого процесса, заметим, что воздействие ионизирующего излучения вызывает аномалии в растущих клетках, заканчивая, тем самым, их способность делиться и расти. Иногда эти клетки продолжают расти до тех пор, пока не станут гигантскими и, в конечном итоге, погибнут. Это происходит потому, что они становятся неэффективными из-за своего нерегулярного размера, а неодинаковые генетические эффекты могут привести к гибели эмбрионов, младенцев или могут вызвать уродства у детей. Как видно из выживших в Хиросиме и Нагасаки, даже спустя более шести десятилетий генетическое воздействие радиации наблюдается у их детей и внуков.

Внутриутробное облучение и его влияние на не рожденного ребенка

Как объясняется в бюллетене МАГАТЭ [10]: воздействие радиации на плод, находящийся в утробе матери, называется воздействием на эмбрион. Это воздействие может возникать на всех стадиях эмбрионального развития, от зиготы до плода, и может включать летальные эффекты, пороки развития, умственную отсталость и провоцирование рака. Первые три могут быть возможным результатом детерминированных эффектов во время эмбрионального развития, особенно в период формирования органов. Соответственно, доказательства воздействия на рост и развитие мозга появились после того, как у некоторых детей, подвергшихся воздействию внутриутробного развития в Хиросиме и Нагасаки, наблюдалась тяжелая умственная отсталость. Кроме того, согласно результатам обследований, проведенных в ряде деревень Раджастан, расположенных вблизи атомной электростанции в Кота, было зарегистрировано рождение значительного числа детей, с физическими дефектами. Причем в деревнях, расположенных на значительном удалении от указанной АЭС количество рожденных детей с физическими дефектами было в разы меньше.

* Гаметы, или половые клетки – репродуктивные клетки, имеющие гаплоидный (одинарный) набор хромосом и участвующие, в частности, в половом размножении. При слиянии двух гамет в половом процессе результате оплодотворения (слияния яйцеклетки и сперматозоида) образуется зигота – диплоидная клетка, содержащая полный (двойной набор хромосом).

Исследования подтвердили, что это связано с выбросом радиоактивных веществ с электростанции [11].

Генетическое воздействие в поколениях, как правило, может быть более серьезным. Это наблюдается у потомков жертв атомной бомбардировки, выживших в Хиросиме и Нагасаки, которые до сих пор страдают от генетических дефектов из-за радиации. Комиссия по причинно-следственной связи атомной бомбардировки сообщила о психическом сбое, медленном физическом росте и более высоком уровне лейкемии у детей, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения в матке во время взрыва ядерной бомбы. Эмбрион или плод подвергаются воздействию радиоактивного излучения материала, передаваемого матерью через пищу и питье (внутреннее облучение) или непосредственно через внешнее облучение. Поскольку у плода есть защита в матке, его доза облучения имеет тенденцию быть ниже, чем доза для матери в большинстве случаев облучения. Тем не менее, эмбрион и плод особенно чувствительны к радиации, и последствия воздействия на здоровье могут быть серьезными, даже при дозах облучения, меньших, чем те, которые непосредственно влияют на мать. Такие эффекты могут включать задержку роста, пороки развития, нарушение функции мозга и рак [9]. На рисунке 7 приведены основные пути дозового облучения эмбриона.

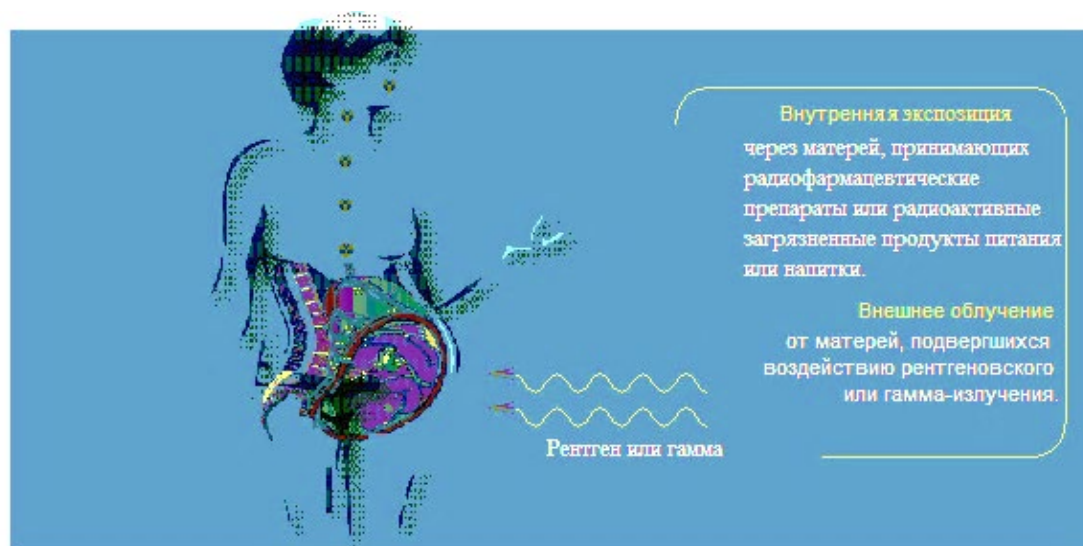


Рисунок 7 – Пути радиационного облучения эмбрионов [9] [Ways of radiation exposure of embryos]

Развитие млекопитающих в утробе матери происходит примерно в три этапа. Как известно, радиация может убить эмбрион в матке на первом этапе, который длится от зачатия до момента, когда он оседает на стенке матки и охватывает первые две недели беременности у женщин. Трудно изучить, что происходит на этом этапе; однако информация в основном из экспериментов на животных подтверждает фатальное влияние на ранний эмбрион доз облучения выше определенных порогов.

На следующем этапе, который длится у человека со второй по восьмую неделю, опасность в том, что радиация приведет к деформации растущих органов, а это может привести к смерти, например, во время рождения. Наиболее значительное повреждение, по-видимому, происходит в центральной нервной системе после восьмой недели, когда начинается третья и последняя стадия беременности. Значительный прогресс достигнут в понимании воздействия радиационного облучения на мозг неродившихся детей. Например, 30 детей, выживших в результате атомных бомбардировок из примерно 1 600, подвергшихся до рождения дозе в 1 Гр, имели крайнюю интеллектуальную инвалидность. Различные этапы и возможные эффекты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Различные этапы и возможные негативные эффекты воздействия ИИ зародыша беременных женщин [Different stages and possible negative effects of the ionizing radiation of pregnant women embryo]

Стадия беременности (дни)	Возможные последствия
1 – 9	Смерть зародыша, скорее всего, с небольшой вероятностью порока развития
10 – 12	Снижение летального эффекта с небольшой вероятностью порока развития
13 – 56	Производство врожденных пороков развития и задержки роста
57 – 112	Экстремальная умственная отсталость (время наиболее серьезного воздействия на ЦНС)
113 – 175	Менее частое влияние на ЦНС
После 175	Очень низкая частота эффектов ЦНС (ни один из зарегистрированных случаев тяжелой задержки)

Кроме того, воздействие может непосредственно повредить эмбрион или плод, уже развивающийся в утробе матери. Поэтому важно различать радиационное облучение, как взрослых, детей, эмбрионов, так и плодов. Учитывая актуальность этих проблем UNSCEAR* в этих группах провел всесторонние исследования воздействия ИИ как на здоровье матерей, так и на наследственные эффекты эмбрионов [9]. Воздействие на здоровье человека зависит от многих физических факторов, и из-за их анатомических и физиологических различий воздействие радиационного облучения на детей и взрослых различно. Кроме того, поскольку у детей более мелкие тела, и они менее защищены экранирующими тканями, доза для их внутренних органов будет выше, чем для взрослых при одинаковом внешнем воздействии. Кроме того, дети меньше взрослых, поэтому они могут получить более высокую дозовую нагрузку от радионуклидов, осевших на подстилающую поверхность [9]. Что же касается внутреннего облучения, то из-за меньшего роста и объема детей, когда их органы расположены ближе друг к другу, концентрация радионуклидов в одном органе воздействует и на другие органы в большей степени, чем это имело бы место для взрослых.

При дыхательном пути поступления йода-131 в организм человека величина дозы ИИ, создаваемой этим радионуклидом на щитовидную железу у детей, примерно в девять раз выше, чем у взрослых [9]. Исследования аварии на Чернобыльской АЭС подтвердили связь между раком щитовидной железы и йодом-131, который концентрируется в основном на этом органе. Эпидемиологические исследования также показали, что у молодых людей в возрасте до 20 лет вероятность развития лейкемии после такого же облучения примерно в два раза выше, чем у взрослых. Кроме того, дети в возрасте до десяти лет особенно восприимчивы к воздействию ИИ. Некоторые другие исследования показывают, что дети в несколько раз чаще умирают от лейкемии, чем взрослые. Другие исследования показали, что у девочек в возрасте до 20 лет вероятность развития рака молочной железы примерно в два раза выше, чем у взрослых женщин (рис. 8). В докладе UNSCEAR был рассмотрен научный материал, указывающий на то, что онкологические заболевания у детей имеют более широкий спектр, чем у взрослых, и зависят от типа опухоли, а также от возраста и пола ребенка [9]. Радиочувствительность человека, играющая значительную роль в онкологических заболеваниях, существенно отличается у разных людей и является тем спусковым механизмом, который приводит к возникновению тех или иных опухолей, вызванных облучением. Исследования различий в радиочувствительности у взрослых и детей показали, что дети более чувствительны к развитию рака щитовидной железы, мозга, кожи и молочной железы, а также лейкемии. Из приведенного выше анализа (рис. 8) становится ясно, что генетическое воздействие и онкологические заболевания являются основными проблемами для здоровья при воздействии ИИ.

* [United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation]. Научный комитет ООН по последствиям атомной радиации.

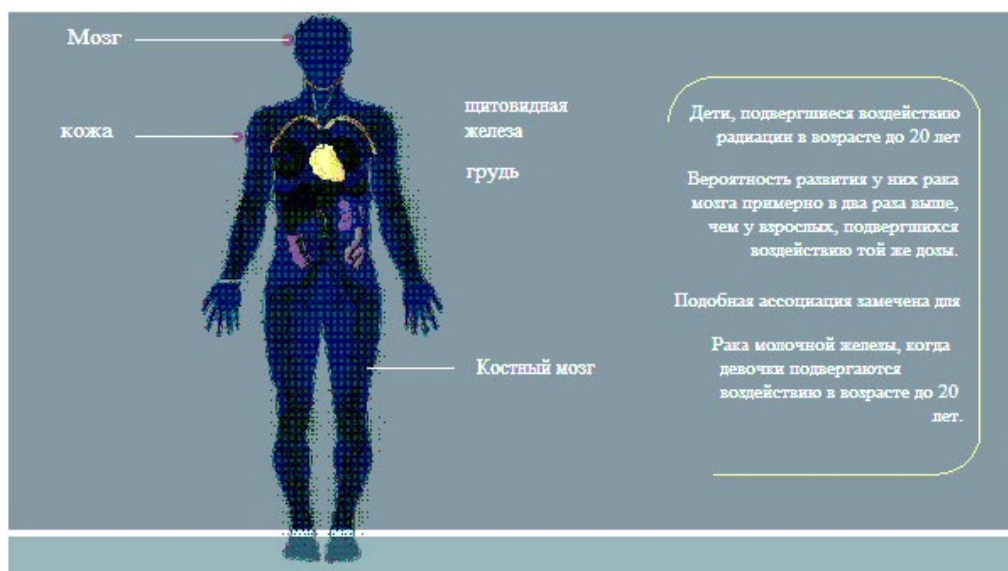


Рисунок 8 – Особенности радиочувствительных органов у детей [9]
[Features of radiosensitive organs in children]

Они могут быть более вероятным, чем генетические изменения в сформировавшемся организме. Генетические эффекты могут включать мертворождение, врожденные аномалии, снижение массы тела при рождении, младенческую и детскую смертность. Это результаты мутации в клетках людей, подвергшихся воздействию ИИ, которые передаются их потомству. Эти эффекты могут проявиться в прямой семье, если поврежденные гены являются доминирующими, или могут появиться во многих поколениях позже, если гены рецессивны.

Уменьшение степени воздействия ионизирующего излучения на детей

При разработке стандартов, позволяющих уменьшить риски развития онкологических заболеваний, связанных с воздействием ИИ низких уровней доз [12], научные консенсусные группы и другие регулирующие органы рекомендовали использовать линейную беспороговую модель.

В рекомендациях подчеркивается необходимость применения принципа ALARA относительно снижения уровней ИИ, оказывающего воздействие на детей, представляющих собой подгруппу населения, обладающего повышенной радиочувствительностью. Значение этого подхода возросло с ростом использования диагностических процедур, включающих облучение в низких дозах, особенно при компьютерной томографии (КТ), при которой создается доза в 30-90 mSv на 2-3 сканирования. Эту дозу можно сравнить с низкими дозами радиации (5-150 mSv), которым подверглись подгруппы населения Хиросимы из 25 000, выживших после атомной бомбардировки. Поэтому применяя линейную беспороговую модель, относительно возникновения онкологических заболеваний при воздействии ИИ на человека, Бреннер Д.Ж. [13] констатирует, что увеличение риска онкологических заболеваний, связанных с величинами указанных доз, также позволяет предположить, что дозовая нагрузка на органы детей, образующаяся при КТ-исследованиях, может также увеличивать риск онкологических заболеваний. На опасность стимулирования онкологических заболеваний у детей, подвергающихся воздействию ИИ при использовании диагностического оборудования отмечают также авторы работы [14].

Негативные последствия работы атомных электростанций

К негативным последствиям работы атомных электростанций, в первую очередь, следует отнести неисключающуюся возможность возникновения ряда событий на АЭС, которые могут привести к радиационным авариям, развитие которых в той или иной степени оказывает влияние на здоровья персонала АЭС и населения, проживающее вблизи станции. При всем множестве радиационных аварий, случившихся в мире за

время, в течение которого развивалась атомная промышленность и производство атомного оружия, основным фактором, по причине которого произошли радиационные аварии, является человеческий фактор. Основные черты этого фактора: халатность, невнимательность, самонадеянность, физическая или психологическая усталость и т.д. Эти черты или недостатки, по сути, характерны для каждого человека, но проявляться они могут лишь в крайних случаях по причине физической, психологической усталости или самонадеянности. Вот в результате событий, развивающихся в этом крайнем случае, и может возникнуть радиационная авария.

Вторым негативным фактором, по его значимости, определяющим негативные последствия работы АЭС, являются экологические проблемы, возникающие в результате радиационной аварии, сопровождающейся выбросом радиоактивных веществ в атмосферу, определяющие радиоактивное загрязнение окружающей среды, ликвидация которого требует вмешательства значительного количества людей, техники, финансовых средств, необходимых как для оплаты работ по ликвидации последствий радиационной аварии, так и для оплаты жилья населению при его эвакуации из загрязненного района и т.д. В работе [15] авторами показано, что ликвидация последствий Чернобыльской аварии для СССР обошлась в \$700 млрд, а затраты на ликвидацию последствий на АЭС Фукусима-1 в Японии в настоящее время составляют \$180 млрд.

Вместе с тем, радиоактивное загрязнение окружающей среды и негативное воздействие работы АЭС Кота на население, проживающее в ряде деревень Раджастан (Индия), расположенных вблизи этой атомной электростанции, о котором отмечалось авторами ранее [11] нельзя отнести к указанным факторам. По мнению авторов настоящей статьи, на АЭС Кота необходимо произвести модернизацию систем очистки выбросов, что позволит уменьшить их величину в условиях штатной работы, но потребует дополнительного финансирования, в чем, по-видимому, не заинтересовано руководство АЭС. Однако эти проблемы относятся к области социальных и внутриполитических проблем Индии, а не к особенностям воздействия ИИ на биообъекты, хотя в основе и этих проблем также лежит человеческий фактор.

Методы и средства радиационного и экологического контроля на ядерных объектах

Радиационная защита направлена на обеспечение надлежащего уровня защиты людей и окружающей среды без чрезмерного ограничения полезных действий в результате воздействия радиации. Это является частью деятельности Международной организации труда (ILO/MOT) по защите работников от болезней и травм, возникающих в связи с их работой, в соответствии с уставом Организации. Программы ИЛО скоординированы, что дает правительствам, организациям работодателей и работников необходимую помощь в разработке и реализации программ по улучшению условий труда и окружающей среды. Они сотрудничают с другими международными организациями, такими как МАГАТЭ и Всемирная организация здравоохранения (WHO/ВОЗ), а также с международными профессиональными организациями, такими как Международная ассоциация по радиационной защите (IRPA), Международная комиссия по радиологической защите (ICRP) и Международная комиссия по защите от неионизирующей радиации. (ICNIRP).

Повышение радиационной безопасности атомных электростанций и других предприятий атомной отрасли является одной из наиболее актуальных проблем атомной энергетики, которая включает в себя проблему контроля внешней среды, воздушных и водных бассейнов, подстилающей поверхности, определения дозовых нагрузок на население, проживающее вблизи АЭС, и другие задачи. Решение экологических проблем в регионе АЭС осуществляется путем мониторинга радиационной обстановки в районе, для чего используются системы радиационного контроля окружающей среды. Детальный анализ [16] показывает, что такие защитные

системы включают в себя автоматизированные блоки измерения данных и оборудование, которое обеспечивает их работу, получает и обрабатывает данные об контролируемых параметрах излучения в зоне контролируемого доступа к АЭС, на промышленной площадке, в санитарно-защитной зоне, и в зоне наблюдения во всех режимах эксплуатации АЭС, включая проектные и запроектные аварии, а также состояние АЭС при выводе из эксплуатации энергоблоков.

В соответствии с моделью Российской Федерации [17] радиационный контроль на АЭС осуществляется службами радиационного контроля АЭС, сертифицированными в соответствии с требованиями Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Организация радиационного контроля АЭС (объем, частота, контрольные точки, исполнители и учет результатов) осуществляется по соответствующим правилам, утвержденным региональной дирекцией Федерального Медико-Биологического Агентства (ФМБА) России. Также региональные управления ФМБА России осуществляют независимый, избирательный радиационный контроль объектов окружающей среды и продуктов питания местного производства. Основываясь на принципах радиационной безопасности, принятых мировым сообществом, концерн «Росэнергоатом» последовательно проводит политику по внедрению и дальнейшему развитию методологии оптимизации радиационной защиты на АЭС. Метод заключается в поддержании индивидуальных доз облучения и количества облученных лиц на минимально возможных уровнях с учетом экономических и социальных факторов, а информация о дозах облучения заносится в учетные карточки персонала для индивидуальных доз облучения и в электронные базы данных автоматизированной системы индивидуального дозиметрического контроля (АСИДК), созданного в концерне Росэнергоатом [17]. Результаты представлены в радиационно-чистых паспортах соответствующих организаций и годовых отчетах о радиационной обстановке на площадках АЭС. Данная модель радиационного контроля предназначена для подтверждения отсутствия радиационного воздействия АЭС на население и окружающую среду путем контроля и анализа изменений радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения на АЭС. Кроме того, для обеспечения непрерывного контроля за интенсивностью дозирования в месте расположения АЭС вокруг каждой АЭС действует автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) [18].

Исследования корейской модели показывают, что их радиационный мониторинг окружающей среды состоит из двух частей: общенациональной программы мониторинга и программы мониторинга ядерных установок. Национальное отслеживание осуществляется на региональных станциях мониторинга (RMS), а региональные посты мониторинга (RMP) распределены по всей стране, а также в Центральной измерительной лаборатории (CML), управляемой Корейским институтом ядерной безопасности (KINS). Мониторинг ядерных установок проводится на четырех атомных электростанциях и на двух площадках исследовательских реакторов. Все данные, собранные в RMS и RMP, а также на площадках ядерных реакторов, доступны для KINS через интегрированную сеть радиационного мониторинга окружающей среды (IERMN). Помогает в решении проблем радиационного воздействия в стране.

Кроме того, в Соединенных Штатах, до выдачи разрешения на строительство или лицензии на эксплуатацию атомной электростанции, федеральные агентства (например, USNRC) обязаны оценивать потенциальное воздействие этой установки на окружающую среду, чтобы гарантировать, что выдача разрешения или лицензия будет соответствовать национальным природоохранным целям, установленным в Законе о национальной экологической политике (NEPA) 1969 года и в Федеральном законе о контроле за загрязнением воды. Чтобы получить информацию для этой оценки, заявители должны представить отчет о потенциальном воздействии станции и связанных с ней объектов на окружающую среду. А после того, как станция начнет

функционировать, необходимо представить ежегодный экологический отчет, чтобы обеспечить постоянное соответствие требованиям, изложенным в лицензии на установку, и актам, указанным ранее [19]. Иванчук [20], постулировал: что решение практических задач обеспечения приемлемого качества окружающей среды (для здоровья и жизнедеятельности населения) над антропогенными объектами, может быть достигнуто путем создания и внедрения современных автоматизированных систем контроля радиационной обстановки окружающей среды (АСКРО).

Внедрение новых технологий радиационно-экологического контроля окружающей среды

Как сообщается в работах [16, 17]: разработка и внедрение АСКРО позволяют значительно улучшить ситуацию с точки зрения неблагоприятного воздействия предприятия на окружающую среду в окрестностях, действующих АЭС, химических и металлургических предприятий. Эта автоматизированная система имеет набор датчиков, компьютерных программ и исполнительных механизмов, которые должны контролировать ситуацию в окружающей среде на территории предприятия в режиме реального времени, производить необходимые расчеты и представлять результаты на центральный щит управления оператора и общественности в виде простых и понятных терминах. Подобные системы в виде автоматизированных систем радиационного контроля (ARMS) были успешно внедрены и эксплуатируются на всех атомных электростанциях в России. Основные цели использования компьютеризированных систем, предназначенных для контроля за состоянием окружающей среды, состоят в следующем [16, 17, 21-24]:

- Обеспечивать раннее обнаружение повышенного или аварийного выбросов газоаэрозольных радиоактивных примесей и на основе полученных данных проводить оценки их концентраций и распространение;
- Прогнозировать возможное загрязнение окружающей среды воздушного бассейна, подстилающей поверхности и подкисление поверхностных вод района;
- Осуществлять измерение концентрации ядовитых и токсичных веществ в полевых условиях;
- Оценивать токсикологические и химические нагрузки на персонал объекта и находящееся поблизости население;
- Предоставлять рекомендации руководству предприятия, Министерству по чрезвычайным ситуациям и другим ответственным лицам для обоснования процесса принятия решений по защите окружающей среды и местного населения, и минимизации экологических последствий.

Система должна работать в режиме реального времени, что может быть достигнуто за счет автоматизации сбора радиационных, токсикологических, химических и метеорологических данных, от которых зависят расчеты прогнозирования, и использования математической модели распространения газоаэрозольных примесей в атмосфере. Причем математическая модель должна учитывать реальное географическое положение АЭС и особенности геофизического положения региона [25].

Условия размещения ARMS

Рассматриваемые в работах [16, 17, 21-24] системы АСКРО, основу которых составляют γ -детекторы, датчики метеопараметров или детекторы химического загрязнения окружающей среды и др., следует размещать на промышленной площадке и в санитарно-защитной зоне* (СЗЗ). Для оценки химического загрязнения окружающей среды достаточно разместить датчики по периметру промышленной площадки. Однако для систем АСКРО, проектируемых для АЭС, при размещении

* Санитарно-защитная зона-это территория вокруг предприятия, отделяющая промышленное предприятие от жилых кварталов или сельскохозяйственных угодий, используемых населением при осуществлении хозяйственной деятельности.

детекторов вокруг АЭС должны учитываться такие метеорологические характеристики региона, как состояние устойчивости атмосферы, определяемое по методике градиентных наблюдений [16, 22-24], требующей данных по скорости ветра, температуре и влажности в различные сезоны и различное время дня и на различных уровнях по высоте. Знание этих метеорологических характеристик позволит определить наихудшее состояние устойчивости атмосферы, для которого находят оптимальное значение количества детекторов, размещаемых вокруг АЭС. Это позволяет оптимизировать финансовые и материальные затраты при установке подобных систем. Для повышения надежности передачи информации система датчиков дублируется не только их количеством, но и по каналу передачи информации: радиосвязь, связь через кабель, оптоволоконная связь и др. В работах указывается, что при определении расстояния, определяющего границу СЗЗ от возможного источника загрязнения, используется множество факторов. Эти факторы включают в себя мощность предприятия, условия его работы, характер и количество выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, состояние устойчивости атмосферы, образование шума, вибрации и другие вредные физических факторы, а также меры, принимаемые для снижения негативного воздействия предприятия на окружающую среду и здоровье человека. В соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов и объектов использования атомной энергии, СЗЗ устанавливается на расстоянии 50-1000 метров (м) от потенциального источника загрязнения. Это следует российскому законодательству, согласно которому всем предприятиям в России присваивается соответствующий класс от I до V, причем каждый класс имеет свой размер СЗЗ [26].

Математическая модель переноса радиоактивной примеси в атмосфере

В работах [23, 24] авторы, основываясь на схожести географических особенностей регионов, предназначенных для строительства АЭС, в соответствии с рекомендациями работы [25], для оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды (воздушного бассейна и подстилающей поверхности) в условиях радиационной аварии, сопровождающейся выбросом в атмосферу газоаэрозольной радиоактивной примеси, использовали модель переноса примеси, основанной на уравнении турбулентной диффузии, рассматривая перенос ее концентрации $q(x, y, z)$ Ки/м³ со следующими атмосферными метеорологическими параметрами, которые определяли, используя метод градиентных наблюдений над скоростью ветра и температурой [22, 27]:

- $u(z)$ – продольной скоростью воздушного потока м/с (поперечную скорость принимали равной нулю);
- $k(z)$ – коэффициентом турбулентной диффузии м²/с;
- $b(z)$ – энергия турбулентных пульсаций, определяемая в рамках модели приземного слоя атмосферы.

Кроме того, в статье сообщалось, что расчет атмосферного переноса примеси газ – аэрозоль, который обычно описывается трехмерным уравнением турбулентной диффузии, можно существенно упростить, предполагая, что субстанция вдоль оси Y, может быть описана по закону Гаусса. Таким образом, это позволяет нам определить объемную активность примеси, используя следующее выражение (3):

$$q(x, y, z) = \frac{S(x, z)}{\sqrt{2\pi} \sigma_y(x)} \quad (3)$$

где $\sigma_y(x)$ – стандартное отклонение; функция $S(x, z)$ определяется как (4):

$$S(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(x, y, z) dy = 2 \int_0^{+\infty} q(x, y, z) dy. \quad (4)$$

Таким образом, для объемной концентрации примеси газа или аэрозоля, получают уравнение (5):

$$u \frac{\partial S}{\partial x} - w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(z) \frac{\partial S}{\partial z} \right] - \sigma S + \varphi, \quad (5)$$

где $\varphi(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) dy = M \delta(x) \delta(z - h_{\text{эф}})$; $f = M \delta(x) \delta(y) \delta(z - h_{\text{эф}})$ источник загрязняющего газа или аэрозольной примеси; M – мощность выброса в (Ки/с); $h_{\text{эф}}$ – эффективная высота выброса, представляющая собой сумму геометрической высоты венттрубы H_T и приращения Δh , обусловленного конвективным подъемом газоаэрозольной радиоактивной струи, выброшенной из венттрубы; σ – постоянная релаксации загрязняющего газа или аэрозольной примеси ($\sigma = \sigma_0 + \lambda$), которая складывается из суммы: константы вымывания примесей из атмосферы σ_0 с⁻¹ и постоянной ее радиоактивного распада λ . Рассматривая долгоживущую радиоактивную примесь, полагают, что период полураспада слишком велик, а потому $\lambda = 0$, так что $\sigma = \sigma_0$; w – гравитационная скорость осаждения примесей, м/с.

В рассматриваемой модели переноса величина $\sigma_y^2(x)$ представлена в виде (6):

$$\sigma_y^2(x) = \bar{b} x^2 / \bar{u}^2 \left(1 + \frac{ax\bar{b}}{\bar{k}\bar{u}} \right), \quad (6)$$

где $\bar{b}, \bar{k}, \bar{u}$ значения $b(z), k(z), u(z)$, $a = 0,015$, усредненные по приземному слою высотой $H_{\text{пр}} \sim 75$ м с весом $S(x, z)$.

$$\bar{b} = \frac{\int_0^{H_{\text{пр}}} b(z) (\int_0^\infty S(x, z) dx) dz}{\int_0^{H_{\text{пр}}} (\int_0^\infty S(x, z) dx) dz}; \quad \bar{k} = \frac{\int_0^{H_{\text{пр}}} k(z) (\int_0^\infty S(x, z) dx) dz}{\int_0^{H_{\text{пр}}} (\int_0^\infty S(x, z) dx) dz}; \quad \bar{u} = \frac{\int_0^{H_{\text{пр}}} u(z) (\int_0^\infty S(x, z) dx) dz}{\int_0^{H_{\text{пр}}} (\int_0^\infty S(x, z) dx) dz}. \quad (7)$$

Граничные условия определяются выражениями (8)-(11):

$$S(x, z) |_{x=0} = 0; \quad (8)$$

$$S(x, z) |_{x \rightarrow \infty} = 0; \quad (9)$$

$$S(x, z) |_{z \rightarrow \infty} = 0; \quad (10)$$

$$k(z) \frac{\partial S}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = (\beta - w) S_{z=z_0}, \quad (11)$$

где β – скорость сухого осаждения примесей газа и аэрозоля на подстилающей поверхности, а z_0 – параметр шероховатости подстилающей поверхности. Аналитическое решение задачи (5), (6), (8)-(11) дается формулой (12), а объемную концентрацию примеси газа и аэрозоля можно рассчитать по формуле (3), в которой $S(x, z)$ и представляет собой решение указанной задачи;

$$S(x, z) = \frac{M}{2} \exp \left(- \left[\frac{\sigma_0 x}{\bar{u}} + \frac{w^2 x}{4 \bar{k} \bar{u}} + \frac{w(z - h_{\text{эф}})}{2 \bar{k}} \right] \right) \left\{ \frac{\exp \left(- \frac{[z + h_{\text{эф}}]^2 \bar{u}}{4 \bar{k} x} \right) + \exp \left(- \frac{[z - h_{\text{эф}}]^2 \bar{u}}{4 \bar{k} x} \right)}{\sqrt{\pi \bar{k} \bar{u} x}} - \right. \\ \left. - \frac{2\beta - w}{\bar{k} \bar{u}} \exp \left[\frac{(2\beta - w)(z + h_{\text{эф}})}{2 \bar{k}} + \left(\frac{2\beta - w}{2 \bar{k}} \right)^2 \frac{\bar{k} x}{\bar{u}} \right] \times \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{2\beta - w}{2 \bar{k}} \right) \sqrt{\frac{\bar{k} x}{\bar{u}}} + \frac{(z + h_{\text{эф}})}{\frac{2 \sqrt{\bar{k} x}}{\bar{u}}} \right] \right\}. \quad (12)$$

На рисунке 9 а, б приведены результаты расчетов изолиний пространственного распределения радиоактивной примеси в приземном слое атмосферы (на высоте $z = 1,5$ м) для неустойчивого (а) и устойчивого (б) состояний атмосферы. Эти расчеты наглядно показывают, какую важную роль может играть состояние устойчивости атмосферы при оценке площади радиоактивного загрязнения, подстилающей поверхности и нанесения ущерба населенным пунктам, сельскохозяйственным угодьям и экологии окружающей среды в целом, если эти населенные пункты попадут в зону радиоактивного загрязнения.

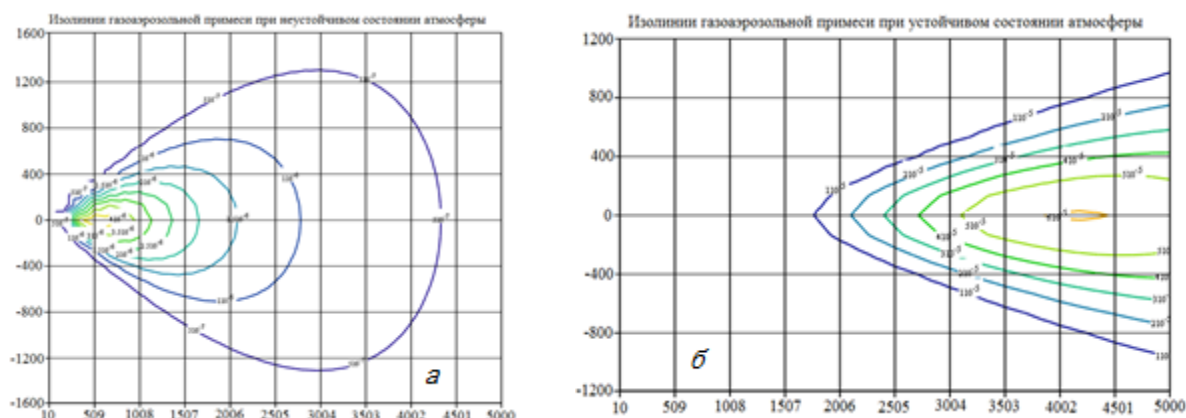


Рисунок 9 а – Уровни поверхностного загрязнения подстилающей поверхности а) для неустойчивого состояния атмосферы при параметре устойчивости $L = -5$, $z = 1,5$ м, $\bar{b} = 1,129$; б) для устойчивого состояния атмосферы при параметре устойчивости $L = 17$, $z = 1,5$ м, $\bar{b} = 0,041$ [24] [Levels of surface contamination of the underlying surface а) for an unstable state of the atmosphere with a stability parameter $L = -5$, $z = 1.5$ m.; б) for a stable state of the atmosphere with a stability parameter $L = 17$, $z = 1.5$ m]

Расчет мощности дозы с использованием интегрального метода

Расчеты характеристик дозы интегральным методом [16, 22-24] основаны на представлении объемного источника радиоактивного загрязнения окружающей среды совокупностью элементарных источников, координаты которых задаются функциональной зависимостью вида (1), в каждом из которых распределение загрязнителя предполагается равномерным. Расстояние r между точкой наблюдения и соответствующим элементарным источником определяется по формуле (13), а значение мощности дозы рассчитывается как интеграл от набора точечных источников по формуле (14).

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (13)$$

где x, y, z – текущие координаты; x_0, y_0, z_0 – координаты точки наблюдения.

$$D'(x_0, y_0, z_0) = 1,31 \cdot 10^3 \frac{E \cdot \eta \cdot \mu_a}{4\pi} \cdot \int_V B(E, r) \cdot q(x, y, z) \cdot \frac{e^{-\mu r}}{r^2} dv \text{ мЗв/ч}, \quad (14)$$

где E – энергия фотонов; η – квантовый выход; $B(E, r)$ – фактор накопления; μ_a , μ – коэффициенты линейного поглощения и ослабления γ -излучения соответственно;

V – область интегрирования.

Заключение

Биологические эффекты, которые рассматриваются в настоящей статье, могут быть вызваны различными причинами: в результате химического воздействия на человека, тяжелыми металлами, интенсивным воздействием электромагнитных волн, в результате воздействия ионизирующего излучения и т.д. Воздействие ионизирующего

излучения может повреждать клетки таким образом, что последнее может привести к онкологическим заболеваниям. Этот негативный эффект может быть обусловлен прямыми или косвенными механизмами, а также и в результате воздействия острых или замедленных эффектов. Острые эффекты возникают при воздействии радиации высокого уровня, тогда как отсроченные эффекты могут появиться через определенное время. К ним относятся онкологические, генетические эффекты, воздействие на эмбрион, а также, такие как катаракта и гипотиреоз (состояние, обусловленное длительным, стойким недостатком гормонов щитовидной железы). Основываясь на результатах анализа в работе, можно констатировать, что ни один уровень облучения не может быть охарактеризован как абсолютно безопасный, и ни один уровень не является одинаково опасным.

Радиационное загрязнение окружающей среды, анализируемое в статье, является одним из наиболее вредных загрязнений по сравнению с другими, поскольку негативные эффекты воздействия других загрязнителей обычно развиваются, как правило, не сразу, а после длительного воздействия, тогда как радиационное загрязнение может привести к непоправимым потерям даже после кратковременного воздействия. Результаты атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки предоставили четкие доказательства того, что ионизирующее излучение является канцерогеном для человека. Данные исследований по Хиросиме показали, что влияние на рост мозга у детей, подвергшихся воздействию внутриутробного развития в Хиросиме, а также дефектные роды, наблюдаемые в некоторых деревнях в Раджастане из-за радиационного воздействия, являются результатом воздействия ИИ. Разумеется, этого бы не произошло, если бы не было радиационных выбросов в окружающую среду. Следовательно, необходимы адекватные защитные меры, исключая подобные события. В исследовании также было обращено внимание на необходимость снижения доз излучения, возникающих при компьютерной томографии в особенности детей.

Цель радиационной защиты, как показано в работе, состоит в том, чтобы обеспечить стандарт защиты для людей при уменьшении негативного воздействия ИИ, возникающего при использовании радиационных технологий, т.е. речь идет об эффективном применении принципа АЛАРА при их использовании. Учитывая негативное воздействие ионизирующего излучения и невозможность его полного исключения из хозяйственной деятельности, необходимо внедрять эффективные защитные меры в качестве которых, например, на АЭС могут использоваться автоматизированные системы АСРК АЭС, работа которых позволяет не только предупредить развитие радиационной аварии на АЭС, но и минимизировать их последствия, путем использования систем экологического мониторинга и автоматизированных систему радиационного контроля окружающей среды АСКРО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523 – 09. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/902170553>.
2. *Машкович, В. П.*, Защита от ионизирующих излучений. Справочник / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
3. *Гусев, Н. Г.*, Защита от ионизирующих излучений. Т. 1. Физические основы защиты от излучений / Н. Г. Гусев, Л. Р. Кимель, В. П. Машкович, Б. Г. Пологих, А. П. Суворов. – Москва : Атомиздат, 1969. – 472 с.
4. Смертельные дозы облучения для различных видов животных. – URL : <http://gematolog-ro.ru/wp-content/uploads/2016/03/табл-22.png>.
5. Допустимые и смертельные дозы радиации для человека. – URL : https://mypresentation.ru/documents_6/76cb9d8df0586ede7989587ecb06bbbee/img18.jpg.
6. Kristy r. Kutanzi, Annie Lumen, Igor Koturbash, and Isabelle R. Miousse. Pediatric Exposures to Ionizing Radiation: carcinogenic Considerations. Int J Environ Respublic Health. 2016 Nov; 13 (11): 1057.

7. Кемп, П. Введение в биологию / П. Кемп, К. Армс. – Москва : Мир. – 1988. – 672 с.
8. 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.
9. Effects of Ionizing Radiation on DNA (Влияние ионизирующего излучения на ДНК). – URL : <https://teachnuclear.ca/all-things-nuclear/radiation/biological-effects-of-radiation/effects-of-ionizing-radiation-on-dna/>.
10. Влияние радиации на плод беременной женщины. – URL : https://meduniver.com/Medical/onkologia/radiacia_i_plod.html.
11. Гадекар Сангамитра, Гадекар Сурендра. Медицинское исследование в районе индийской атомной станции (Кота, Раджасхана, Индия). – IEER: Энергетика и Безопасность. – 2003. – № 23. – С. 97.
12. Готфрид, К.-Л. Д Радиация в медицине: необходимость проведения реформы системы регулирования (1996 год) / Кейт-Луиза Д. Готфрид, Гэри Пенн. – Доклад о консенсусном исследовании. – Институт медицины. – Комитет по рассмотрению и оценке программы медицинского применения комиссии по ядерному регулированию. – 29 марта 1996 г. – 308 с.
13. Brenner D.J. and Hall E.J. Computed Tomography-an Increasing Source of Radiation Exposure. N Engl J Med. 2007; 357 (22): 2277-2284.
14. Sadetzki s. And mandelzweig l. Childhood exposure to external ionizing radiation and solid cancer risk. Br j cancer. 2019; 100(7): 1021-1025.
15. Jonathan Samet, Joann Seo, 2016, «the financial costs of the chernobyl nuclear power plant disaster: a review of the literature». – URL : http://www.greencross.ch/uploads/media/2016_chernobyl_costs_report.pdf.
16. Бубликова, И. А. Анализ динамики радиационных факторов региона расположения Ростовской АЭС / И. А. Бубликова, О. Ф. Цуверкалова // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 3 (32). – С. 24-32.
17. Стародубцев, И. А. К вопросу об использовании автоматизированных систем контроля экологической обстановки на территориях, прилегающих к предприятиям черной, цветной металлургической и атомной промышленности / И. А. Стародубцев, А. П. Елохин // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 4(17). – С. 15-34.
18. Елохин, А. П. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды / А. П. Елохин. – Москва : НИЯУ МИФИ. – 2012. – 316 с.
19. Гаврилов, С. Л. Технические проблемы аварийного реагирования / С. Л. Гаврилов. – 22 октября 2013 г.
20. Jason T Harris. Radiological releases and environmental monitoring at commercial nuclear power plants Nuclear Power-Operation, Safety and Environment. 2011.09.06.
21. Ivashchuk O. A., Ivashchuk O. D., Konstantinov I. S., Mamatov A. V. Creation of automated control system of environmental safety of an industrial complex. ARPN journal of engineering and applied sciences. vol. 9 no.11. 2014. p. 2254-225.
22. Elokhin A. P., Starodubtcev I. A. On the ecological Situation at Theterritories Adjacent to Chemical Andmetallurgical Facilities. Environmantal Quality Management. USA. 2017. V. 26, № 2. P. 23-43.
23. Елохин, А. П. Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды : монография / А. П. Елохин. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 520 с.
24. Алалем Е.А. Метеорологические характеристики района строительства АЭС в Иордании / Е. А. Алалем, А. П. Елохин, А. И. Ксенофонтов, П. И. Федоров. // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 3(24). – С. 19-34.
25. Елохин А. П., Метеорологические характеристики района АЭС «БУШЕР» в Иране / А. П. Елохин, Е. А. Алалем, А. И. Ксенофонтов. – Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4(25). – С. 23-47.
26. Елохин, А. П. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население / А. П. Елохин, М. В. Жилина (НТЦ ЯРБ), Д. Ф. Рау, Е. А. Иванов (ВНИИАЭС) // Министерство природных ресурсов и экологии российской федерации федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. РБ – 053 – 09. – Утверждено приказом федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 июня 2010 г. – № 465. – 79 с.
27. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Главный государственный санитарный врач российской федерации. Постановление. «О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (с изменениями на 25 апреля 2014 года). – URL : <https://base.garant.ru/12158477/>.

28. Лайхтман, Д. Л. Физика пограничного слоя атмосферы / Д. Л. Лайхтман. – Ленинград : Гидрометиздат, 1970. – 341 с.

REFERENCES

- [1] Normy radiacionnoy bezopasnosti. NRB–99/2009. Sanitarnie pravila i normativy. SANPIN 2.6.1.2523 – 09. [Radiation Safety Standards. NRB – 99/2009. Sanitary Rules and Regulations. SANPIN 2.6.1.2523 – 09]. URL : <http://docs.cntd.ru/document/902170553> (in Russian).
- [2] Mashkovich V.P., Kudriavceva A.V. Zashita ot ioniziruyuschikh izlucheni. Spravochnik [Protection against Ionizing Radiation. Directory]. Moskva: Energoatomizdat [Moscow: Energoatomizdat]. 1995. 496 p. (in Russian).
- [3] Gusev N.G., Kimel K.R., Mashkovich V.P., Poklogikh B.G., Suvorov A.P. Zashita ot ioniziruyuschikh izlucheni. V. 1. Phizicheskie osnovi zashiti ot izlucheni [Protection from Ionizing Radiation. Vol. 1. Physical Bases of Protection from Radiation]. Moskva: Atomizdat [Moscow: Atomizdat], 1969. 472 p. (in Russian).
- [4] Smertel'nyye dozy oblucheniya dlya razlichnykh vidov zhivotnykh [Lethal Doses for Various Animal Species]. URL : <http://gematolog-ro.ru/wp-content/uploads/2016/03/табл-22.png> (in Russian).
- [5] Dopustimyye i smertel'nyye dozy radiatsii dlya cheloveka [Permissible and Fatal Doses of Radiation to Humans]. URL : https://mypresentation.ru/documents_6/76cb9d8df0586ede7989587ecb06bbe/img18.jpg (in Russian).
- [6] Kristy r. Kutanzi, Annie Lumen, Igor Koturbash, and Isabelle R. Miousse. Pediatric Exposures to Ionizing Radiation: Carcinogenic Considerations. Int J Environ Res Public Health. 2016 Nov; 13 (11): 1057.
- [7] Kemp P., Arms K. Vvedenie v biologiyu [Introduction to Biology]. Moskva: Mir [Moscow: Mir]. 1988. 672 p. (in Russian).
- [8] Elokhin A.P., Ksenofontov A.I., Pyrkov I.V. Osnovi ekologii i radiacionno-ekologicheskogo kontrolya okruzhayushei sredi [Fundamentals of Ecology and Radiation-Ecological Environmental Control]. Moskva: NRNU MEPhI [Moscow: NRNU MEPhI]. 2016. 680 p. (in Russian).
- [9] Effects of Ionizing Radiation on DNA (Влияние ионизирующего излучения на ДНК). – URL : <https://teachnuclear.ca/all-things-nuclear/radiation/biological-effects-of-radiation/effects-of-ionizing-radiation-on-dna/>.
- [10] Vliyanie radiatsii na plod beremennoy zhenshchiny [The Effect of Radiation on the Fetus of Pregnant Woman]. URL : https://meduniver.com/Medical/onkologia/radiacia_i_plod.html (in Russian).
- [11] Gadekar Sangamitra, Gadekar Surendra. Medicinskoye issledovaniye v rayone indiyiskoy atomnoy stancii Kota (Radzhastkhan, Indiya) [Medical Research in the Area of the Indian Nuclear Power Plant (Kota, Rajasthan, India)]. IEER: Energetika i bezopasnost [Energy and Security]. IEER: No. 23, 2003. <https://ieer.org/ensec/no23/no23russ/sapeace.html> (in Russian).
- [12] Kate Louise D. Gottfried, Gary Pen. Radiatsiya v meditsine: neobkhodimost' provedeniya reformy sistemy regulirovaniya (1996 god) [Radiation in Medicine: the Need for Regulatory Reform (1996)]. Doklad o konsensusnom issledovanii [Consensus Study Report]. Institut meditsiny [Institute of Medicine]. Komitet po rassmotreniyu i otsenke programmy meditsinskogo primeneniya komissii po yadernomu regulirovaniyu [Committee for the Review and Evaluation of the Medical Application Program of the Nuclear Regulatory Commission]. 29 marta 1996 g. [March 29, 1996]. 308 p. (in Russian).
- [13] Brenner D.J. and Hall E.J. Computed Tomography-an Increasing Source of Radiation Exposure. N Engl J Med. 2007; 357 (22): 2277-2284.
- [14] Sadetzki s. And mandelzweig l. Childhood Exposure to External Ionizing Radiation and Solid Cancer Risk. Br j cancer. 2019; 100(7): 1021-1025.
- [15] Jonathan Samet, Joann Seo, 2016, «The Financial Costs of the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster: a Review of the Literature». – URL : http://www.greencross.ch/uploads/media/2016_chernobyl_costs_report.pdf.
- [16] Bublikova I. A., Tsuverkalova O. F. Analiz Dinamiki Radiacionnykh Faktorov Regiona Raspolozheniya Rostovskoy AES [[The Radiation Factors Dynamics Analysis of the Rostov NPP Location Area]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2019. № 3(32). P.24-32 (in Russian).
- [17] Starodubtsev I.A. Elokhin A.P. K voprosu ob ispolzovanii avtomatizirovannikh system kontrolya ekologicheskoi obstanovki na territoriyakh, prilgayuschikh k predpriyatiyam chernoi, cvetnoi metallurgicheskoi i atomnoi promishlennosti [Issue of Using Automated Environmental Monitoring Systems in Territories Adjacent to Enterprises of the Ferrous, Non-Ferrous Metallurgical and

- Nuclear Industries]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global Nuclear Safety]. 2015. № 4(17). P. 15-34 (in Russian).
- [18] Elokhin, A.P. *Avtomatizirovannyye sistemy kontrolya radiatsionnoy obstanovki okruzhayushchey sredy* [Automated Systems for Monitoring the Radiation Environment of the Environment]. Moskva: NRNU MEPhI [Moscow: NRNU MEPhI]. 2012. 316 p. (in Russian).
- [19] Gavrilov S.L. *Tekhnicheskie problemi avariynogo reagirovaniya*. 22 oktiabria 2013 g. [Technical Issues of Emergency Response. October 22, 2013] (in Russian).
- [20] Jason T Harris. *Radiological Releases and Environmental Monitoring at Commercial Nuclear Power Plants Nuclear Power-Operation, Safety and Environment*. 2011.09.06.
- [21] Ivashchuk O. A., Ivashchuk O. D., Konstantinov I. S., Mamatov A. V. *Creation of Automated Control System of Environmental Safety of industrial complex*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 9 No.11. 2014. p. 2254-2255.
- [22] Elokhin A. P., Starodubtcev I. A. *The Ecological Situation at the territories Adjacent to Chemical and Metallurgical Facilities*. *Environmental Quality Management*. USA. 2017. V. 26, № 2. P. 23-43.
- [23] Elokhin A.P. *Metodi i sredstva system radiacionnogo kontrolya okruzhayushchey sredy*. Monografiya [Methods and Means of Environmental Radiation Monitoring Systems. Monograph]. Moskva: NRNU MEPhI [Moscow: NRNU MEPhI]. 2014. 520 p. (in Russian).
- [24] Alalem E.A., Elokhin A.P., Ksenofontov A.I., Fedorov P.I. *Meteorologicheskiye kharakteristiki rayona stroitel'stva AES v Iordanii* [Meteorological Characteristics of the Planned Nuclear Power Plant in Jordan]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global Nuclear Safety]. 2017. № 3(24). P. 19-34 (in Russian).
- [25] Elokhin A.P., Essa Alalem, Ksenofontov A. I. *Meteorologicheskiye kharakteristiki rayona AES Busher v IRANE* [Meteorological Characteristics of the Bushehr NPP Area in Iran]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global Nuclear Safety]. 2017. № 4(25). P. 23-47 (in Russian).
- [26] Elokhin A.P., Zhilina M.V. (STC NRS), Rau D.F., Ivanov E.A. (VNIIAES). *Polozhenie o povyshenii tochnosti prognosticheskikh ocenok radiacionnykh nagruzok na personal i naselenie* [Regulation to Improve the Accuracy of Prognostic Estimates of the Radiation Characteristics of Radioactive Pollution of the Environment and Dose Loads on Personnel and Public]. *Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii rossiiskoi federatsii, federalnaya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru*. RB – 053 – 09. *Uтверждено приказом федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 июня 2010 г.* [Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation Federal Service for Environmental, Technological and Atomic Supervision. RB - 053 - 09. Approved by order of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision of June 8, 2010]. No. 465. 79 p. (in Russian).
- [27] *SANPIN 2.2.1/2.1.1.1200-03 Sanitarno-zaschitnie zoni i sanitarnaya klassifikatsiya predpriyatiy, sooruzheniy i inikh obektov*. Glavnyi gosudarstvennyi sanitarnyi vrach rossiyskoy federatsii. *Postanovlenie O vvedenii v deystvie novoi redaktsii sanitarno-epidemiologicheskikh pravil i normativov SANPIN. 2.2.1/2.1.1.1200-03 Sanitarno-zaschitnie zoni i sanitarnaya klassifikatsiya predpriyatiy, sooruzheniy i inikh obektov (s izmneniyami na 25 aprelya 2014 goda)*. [Sanpin 2.2.1 / 2.1.1.1200-03 Sanitary-Protection Zones and Sanitary Classification of Enterprises, Structures, and Other Facilities. Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation. Resolution "Entry into Force of the New Version of the Sanitary-Epidemiological Rules and Standards of SANPIN 2.2.1 / 2.1.1.1200-03 Sanitary Protection Zones and Sanitary Classification of Enterprises, Structures and Other Facilities (as amended on April 25, 2014)"]. URL : <https://base.garant.ru/12158477/> (in Russian).
- [28] Layikhtman D.L. *Fizika pogranichnogo sloya atmosfery* [Physics of Boundary Layer of the Atmosphere]. Leningrad: Gidrometeoizdat [Leningrad: Gidrometizdat]. 1970. 341 p. (in Russian).

Features of Ionizing Radiation Effects on Biological Objects and Methods for its Radiation Monitoring at Nuclear Facilities (Analytical Review)

B.K. Orumo¹, A.P. Elokhin², A.I. Ksenofontov³

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

¹ORCID iD: 0000-0001-6251-1736

ResearcherID: S-9359-2019

e-mail: orumokenoll@yahoo.com

²*ORCID iD: 0000-0002-7682-8504*

WoS Researcher ID: G-9573-2017

e-mail: elokhin@yandex.ru

³*ORCID iD: 0000-0002-6864-9805*

WoS Researcher ID: H-1833-2017

e-mail: AIKsenofontov@mephi.ru

Abstract – The article provides a brief analytical review of radiation effects associated with the impact of ionizing radiation on biological objects. The processes of the action of ionizing radiation on molecules of deoxyribonucleic acid (DNA), which occur in the body at the cellular level during its absorption, are considered. It is shown that in a wide range of dose rates generated by ionizing radiation when the latter acts on biological objects and, in particular, on humans, the most dangerous are the genetic consequences, which play an essential role for the population of countries that actively use ionizing radiation in industry. Other uses include medicine, particular types of production, as well as in the production of electricity at nuclear power plants. Particular attention is paid to the effects of ionizing radiation on children, requiring increased attention in the diagnosis of diseases in post-nuclear accidents, as well as during the diagnosis or treatment of radiation. As methods of radiation monitoring of ionizing radiation, the article provides a brief presentation of an automated system of radiation monitoring of the environment with its goals, objectives, and methods to minimize the consequences of radiation accidents at existing nuclear power plants.

Keywords: ionizing radiation, radiation damage, deoxyribonucleic acid DNA, radiosensitivity, automated of environmental radiation monitoring system (ARMS), dose, and ionizing radiation dose rate.

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 624.04.45.001.3

**К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ ЗАЩИТНЫХ ОБОЛОЧЕК АЭС
В ПЕРИОД ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

© 2020 В.Н. Медведев *, А.С. Киселев **, А.С. Киселев **, В.Ф. Стрижов *,
А.Н. Ульянов *, М.И. Скоринова *, Ю.И. Пимшин ***

**Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия*

***Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия*

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

В работе приводятся результаты исследования изменения НДС и геометрических параметров защитной оболочки вблизи узла сопряжения цилиндрической части с куполом и в зоне расположения подкрановых путей полярного крана на этапе приемно-сдаточных испытаний.

Ключевые слова: защитная оболочка, перемещения, деформации, напряжения, усилия.

Поступила в редакцию 13.12.2019

После доработки 16.12.2019

Принята к публикации 19.12.2019

Введение

Применение геодезического контроля перемещений защитных оболочек АЭС на этапе преднапряжения и приемно-сдаточных испытаний в дополнение к штатной системе контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) позволило получить более полную картину деформированного состояния, в том числе в зонах защитной оболочки, где датчики контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) отсутствуют. На примере энергоблока № 3 Ростовской АЭС детально рассмотрены особенности изменения НДС и геометрических параметров защитной оболочки вблизи узла сопряжения цилиндрической части с куполом и в зоне расположения подкрановых путей полярного крана.

Влияние суточных колебаний температур окружающей среды на показания датчиков силы

На изменение напряженно-деформированного состояния защитной оболочки АЭС на этапе строительства после ее преднапряжения кроме деформаций ползучести железобетона и релаксации напряжений в проволоках арматурных канатов оказывают влияние суточные и сезонные колебания температур окружающей среды.

В данном разделе дана оценка изменения усилий на тяжных анкерах арматурных канатов цилиндра и купола защитной оболочки 3-го энергоблока Ростовской АЭС до начала приемосдаточных испытаний (до 08.08.2014 г.) от влияния суточных колебаний температур окружающей среды, включая солнечное излучение. Контроль усилий на концах арматурных канатов СПЗО выполнялся при помощи датчиков силы ПСИ-01.

В защитных оболочках АЭС КИА располагается, как правило, в четырех вертикальных створах, в створах № 1, 2 и 4 датчики расположены со смещением на 20° от осей, а в створе № 3 смещение от оси составляет 40° (рис. 1).

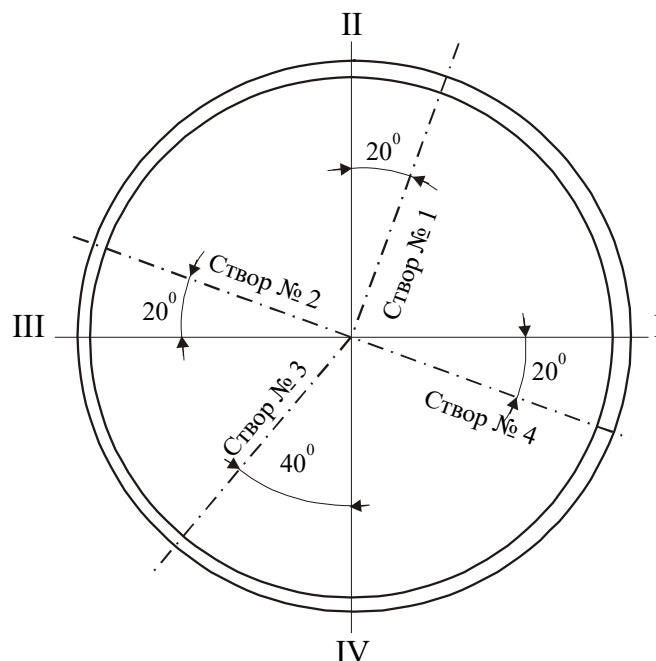


Рисунок 1 – Местоположение створов относительно осей, в которых расположены датчики контрольно-измерительной аппаратуры [Location of the sections relative to the axes where the control sensors of instrumentation are located]

Результаты измерений, полученные в различные моменты времени 31.07.2014 г., показывают, что колебания усилий в течение суток могут составлять около 10 тс.

Максимальные колебания усилий наблюдались в армоканатах купола защитной оболочки вблизи оси II (юго-западная сторона). Например, усилия в армоканате купола К13А в 15 часов 55 минут составляли 837,4 тс, а в 23 часа 52 минуты – 830,1 тс, т.е. за 8 часов усилия снизились на 7,3 тс (см. табл. 1).

Минимальные колебания усилий наблюдались в армоканатах купола защитной оболочки вблизи оси IV (северо-восточная сторона). Например, усилия в армоканате купола К32А в 15 часов 55 минут составляли 833,7 тс, а в 23 часа 52 минуты – 831,9 тс, т.е. за 8 часов усилия снизились на 1,8 тс (см. таблицу 1).

При этом температура воздуха за этот период времени снизилась с 31,9 °С до 25,4 °С на 6,5 °С (см. таблицу 2). Вероятно, наиболее существенный вклад в изменение усилий в армоканатах вносит солнечное излучение, что подтверждается разностью приращения усилий в армоканатах с юго-западной и северо-восточной сторон сооружения.

Таким образом, оценка изменения усилий на тяжных анкерах арматурных канатов защитной оболочки 3-го энергоблока Ростовской АЭС от влияния суточных колебаний температур окружающей среды и солнечного излучения показала, что колебания усилий в течение суток могут составлять около 10 тс. Эти изменения усилий носят циклический характер и могут отрицательно влиять на эксплуатационные свойства СПЗО в части возможности подтяжки и замены армоканатов при длительной эксплуатации из-за увеличения контактных напряжений между цангами и поверхностями в отверстиях анкерного блока.

Анализ результатов работ по ремонту арматурных канатов, имевших обрывы и дефекты в период преднапряжения защитной оболочки, показал, что при разгрузке арматурных канатов были случаи их обрыва.

Причиной обрыва проволок армоканата при его разгрузке является то обстоятельство, что при этом к армоканату требуется приложить большее усилие, чем при преднапряжении. Чтобы вырвать канат с цанговым зажимом из гнезда анкерного блока требуется дополнительное усилие порядка 5 тс. Если при первоначальном

преднапряжении усилие в армоканате составляло порядка 20 тс, то при демонтаже – порядка 25 тс (600 бар), т.е. больше на 25 %.

Следовательно, в случае необходимости подтяжки или замены армоканатов при длительной эксплуатации СПЗО из-за увеличения контактных напряжений между цангами и поверхностями в отверстиях анкерного блока потребуется приложить усилие, значительно большее, чем при преднапряжении. Поэтому вопрос о возможности подтяжки армоканатов при длительной эксплуатации должен быть рассмотрен с учетом действия циклической нагрузки.

Таблица 1 – Результаты измерений усилий (тс) в армоканатах, полученные с помощью датчиков силы ПСИ-01 в различное время суток 31.07.2014 г. [The results of tendon forces measurements with the force sensors PSI-01 at various time instants of the day 07/31/2014]

№ армо-каната	10:49	14:52	15:55	16:57	17:59	19:01	21:06	23:52
К-12Б	804,9	809,2	809,5	809,3	808,9	807,6	804,2	802,3
К-13А	833,1	837,2	837,4	837,2	836,8	835,7	832	830,1
К-14А	852	856,3	856,6	856,5	856	855	851,1	849,3
К-15А	845,8	849,4	849,6	849,3	848,6	847,2	843,6	842,4
К-16Б	814,1	817,7	817,7	817,5	816,8	815	812	810,4
К-30А	856,8	856	856	856,1	856	856	855,1	854,1
К-32А	834,1	833,6	833,7	833,7	833,7	833,7	832,7	831,9
К-34А	824,2	824,5	824,6	824,8	824,6	824,7	823,7	822,8
К-3А	820,5	822,6	823,7	824,1	824,1	824,2	820,7	818,8
К-3Б	820,5	822,4	823,7	824,6	824,8	825,1	821,5	819
К-7А	816,3	818,1	819,3	819,6	819,8	819,9	816,7	814,8

Таблица 2 – Температура воздуха в г. Волгодонске 31.07.2014 г. [Air temperature in Volgodonsk 07/31/2014]

Время	Температура, °С	Облачность, %	Давление, мм рт. ст.	Ветер, м/сек
0:00	+24.8	Ясная погода	756	Юго-восточный, 2 м/сек
3:00	+23.2	Ясная погода	756	Юго-восточный, 1 м/сек
6:00	+22.2	Ясная погода	756	Восточный, 2 м/сек
9:00	+25.6	Малооблачно (20%)	757	Восточный, 2 м/сек
12:00	+28.7	Малооблачно (20%)	756	Северо-восточный, 3 м/сек
15:00	+31.9	Малооблачно (20%)	755	Северо-восточный, 2 м/сек
18:00	+30.3	Небольшая облачность (30%)	754	Северо-восточный, 2 м/сек
21:00	+25.4	Небольшая облачность (30%)	754	Северо-восточный, 2 м/сек

Особенности изменения НДС и геометрических параметров защитной оболочки вблизи узла сопряжения цилиндрической части с куполом

Оценка НДС защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС выполнялась с учетом показаний датчиков контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), установленных в теле сооружения в период возведения, показаний датчиков силы ПСИ-01, установленных на анкерах армоканатов системы преднапряжения защитной оболочки, результатов измерений перемещений стенки защитной оболочки при помощи датчиков типа ПЛПС, результатов измерений геометрических параметров защитной оболочки геодезическими методами [1].

Результаты контроля НДС и геометрических параметров защитной оболочки вблизи узла сопряжения цилиндрической части с куполом показали, что конструкция при подъеме давления работает нелинейно.

На рисунке 3 приведены графики приращения напряжений в меридиональной стержневой арматуре в период прямо-сдаточных испытаний защитной оболочки энергоблока №3 Ростовской АЭС. Рассматривается купольная часть защитной оболочки на радиусе $R = 19$ м. Можно видеть, что у внутренней поверхности стены оболочки на каждом шаге подъема внутреннего давления происходит увеличение растягивающих напряжений, а у наружной поверхности на первом шаге при давлении 0,07 МПа наблюдается рост сжимающих напряжений, затем происходит незначительное колебание напряжений. Следовательно, работа защитной оболочки в зоне узла сопряжения носит моментный характер: растяжение у внутренней поверхности и сжатие у наружной. [2] При этом изменения геометрических параметров в зоне узла сопряжения цилиндра с куполом защитной оболочки не наблюдается.

В период прямо-сдаточных испытаний 3О энергоблока №3 РоАЭС проводились измерения геометрических параметров геодезическими методами. Схема расположения исследуемых точек на купольной и цилиндрической частях оболочки представлена на рисунке 2.

На рисунке 4 приведены графики приращения перемещений купола защитной оболочки в период прямо-сдаточных испытаний в створе I-II. Точка № 1 расположена в районе непосредственного примыкания к опорному кольцу. Далее точки располагаются с определенным шагом от опорного кольца до вершины купола [3-5]. На вершине купола расположена точка № 0. На рисунке 4 также можно видеть, что работа защитной оболочки в зоне узла сопряжения носит моментный характер. Наибольшее перераспределение напряжений происходит при повышении давления с 0,19 до 0,29 МПа.

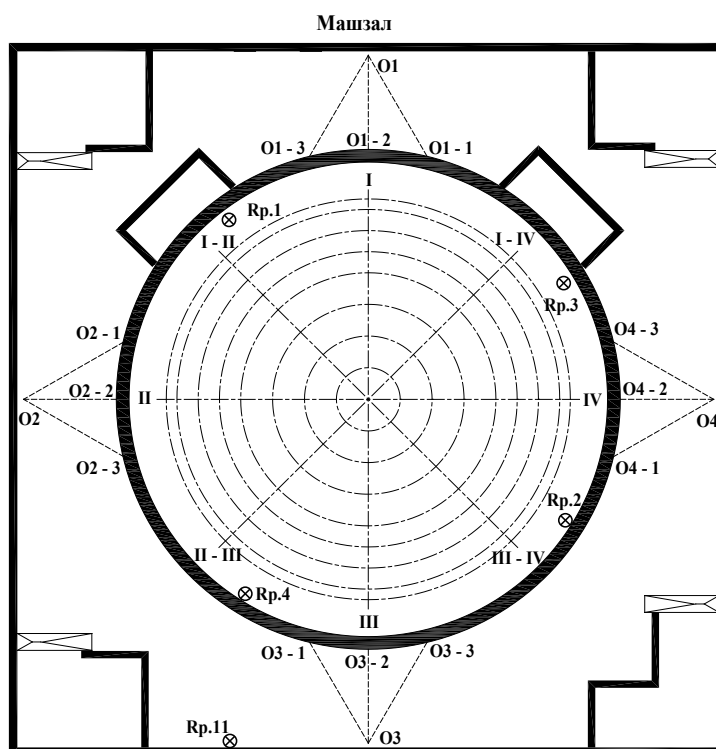


Рисунок 2 – Схема расположения исследуемых точек на купольной и цилиндрической частях оболочки (точки располагаются в местах пересечений окружных и меридиональных направлений) [The location scheme of the observable points on the dome and cylindrical parts of the containment (points are located at the intersections of circular and meridional directions)]

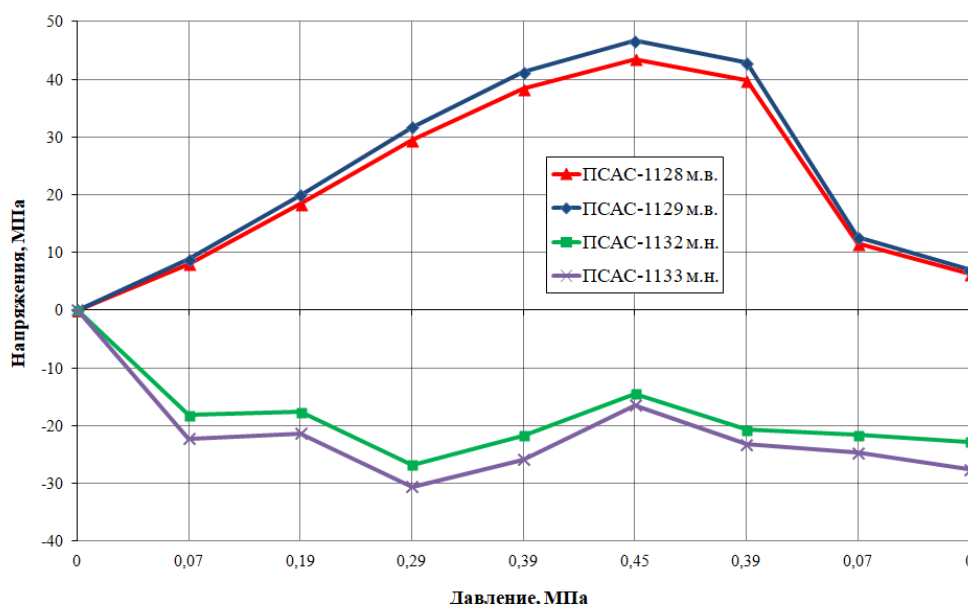


Рисунок 3 – Приращение напряжений в меридиональной стержневой арматуре в период приемо-сдаточных испытаний защитной оболочки, энергоблок №3 РoАЭС, створ №1, купол, R = 19 м (1128-1133 – номера датчиков в ЗО, м.в – меридиональный внутренний, м.н. – меридиональный наружный) [The stress increments in the meridional steel reinforcing rods during the acceptance test of the containment, power unit No. 3 of the Rostov NPP, section No. 1, dome, R = 19 m (1128-1133 – sensor numbers in the containment, m.v. – meridional internal, m.n. – meridional outer)]

Такой характер поведения защитной оболочки в период приемо-сдаточных испытаний соответствующим образом повлиял на показания датчиков силы ПСИ-01. Приведенные в таблице №3 приращения усилий в отдельных армоканатах купола защитной оболочки при испытаниях на герметичность и прочность показали, что все датчики работали исправно. При подъеме давления до 0,07 МПа зафиксировано увеличение усилий от 2,5 до 4 тс. В дальнейшем происходило незначительное увеличение или снижение усилий в зависимости от изменения геометрии ЗО.

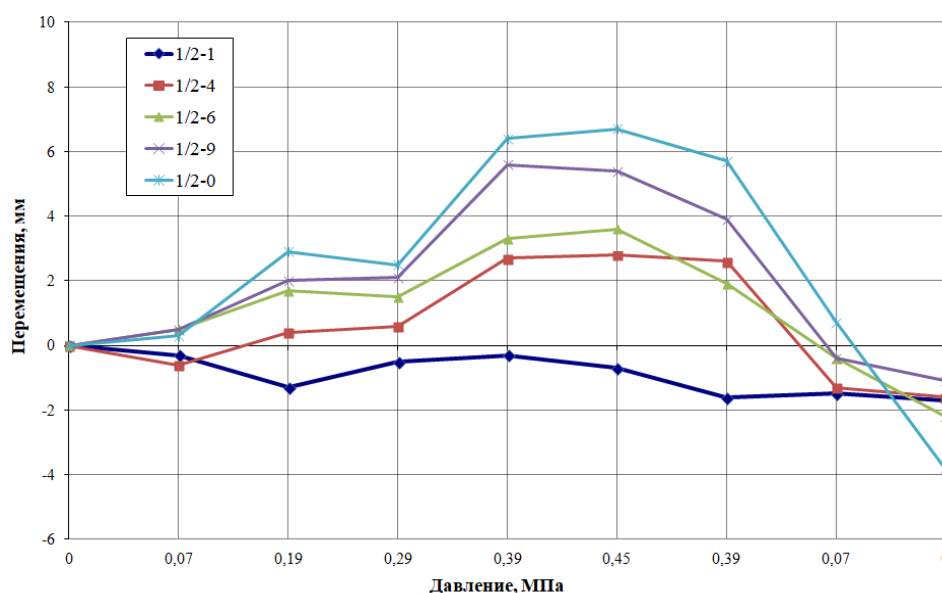


Рисунок 4 – Приращения перемещений купола защитной оболочки в период приемо-сдаточных испытаний, энергоблок №3 Ростовской АЭС, створ I-II (1/2-0 – вершина купола, 1/2-9 – радиус 3 м, 1/2-6 – радиус 10 м, 1/2-4 – радиус 12,5 м, 1/2-1 – вблизи опорного кольца) [Displacement increments of the containment dome during the acceptance tests, power unit No. 3 of the Rostov NPP, section I-II (1/2-0 – the top of the dome, 1/2-9 – radius 3 m, 1/2-6 – radius 10 m, 1/2-4 – radius 12.5 m, 1/2-1 – near the support ring)]

Таким образом, показания датчиков ПСИ-01 в период испытаний зависят от изменения геометрических параметров сооружения.

Таблица 3 – Приращения усилий в отдельных армоканатах купола защитной оболочки при испытаниях на герметичность и прочность [Force increments in individual tendons of the containment dome during tests for tightness and strength]

№ Армоканата	Дата 08.08.14, давление 0,0 МПа	Дата 10.08.14, давление 0,07 МПа	Дата 10.08.14, давление 0,19 МПа	Дата 10.08.14, давление 0,29 МПа	Дата 11.08.14, давление 0,39 МПа	Дата 12.08.14, давление 0,45 МПа	Дата 13.08.14, давление 0,39 МПа	Дата 13.08.14, давление 0,07 МПа	Дата 14.08.14, давление 0,0 МПа
	Приращения усилий, тс								
К-11А	0	2,7	-0,7	2,3	0,7	1,4	3	0,9	-2
К-12Б	0	2,6	-0,6	1,8	0,3	1,2	2,4	0,8	-3
К-13А	0	2,8	-1,3	2	0,2	1,6	3,1	0,1	-3
К-14А	0	2,5	-0,7	1,7	0,2	1,5	2,6	0,5	-2,2
К-14Б	0	3,4	0,2	3	1	1,5	3,4	1,3	-1,4
К-15А	0	3,6	-0,4	3,1	0,8	1,8	3,5	0,6	-2,1
К-16Б	0	4	-0,8	3,4	1	2,2	4,3	0,7	-2

Особенности изменения НДС и геометрических параметров защитной оболочки в зоне расположения подкрановых путей полярного крана

Подкрановая консоль полярного крана обладает определенной жесткостью, вследствие чего при преднапряжении и испытаниях защитной оболочки в этой зоне перемещения могут быть меньше, чем в однородной зоне. Например, перемещения от преднапряжения в створе №1 на отметке 36,9 м составили -10,7 мм, а на отметке 47 м порядка -6,8 мм. В период испытаний при давлении 0,45 МПа на отметке 36,9 м перемещения были максимальными и составили 7,95 мм, после сброса испытательного давления геометрические параметры ЗО вернулись в исходное состояние.

В зоне расположения полярного крана на отметке 47 м в период испытаний при давлении 0,45 МПа перемещения не были максимальными и составляли 4,4 мм, при снижении давления до 0,39 МПа перемещения увеличились до 4,98 мм, а после сброса испытательного давления геометрические параметры защитной оболочки уменьшились еще на 2,33 мм (см. рис. 5). Суммарные перемещения после сброса давления составили 7,3 мм, что сопоставимо с изменениями на отметке 36,9 м.

Следовательно, за счет жесткости подкрановой консоли полярного крана на этапе преднапряжения перемещения защитной оболочки были ниже ожидаемого значения на 2,9 мм, а при подъеме внутреннего давления в период приемо-сдаточных испытаний жесткость была снижена, в результате после сброса давления оболочка дополнительно переместилась на 2,33 мм и, как следствие, произошло снижение усилий в армоканатах в зоне расположения подкрановой консоли.

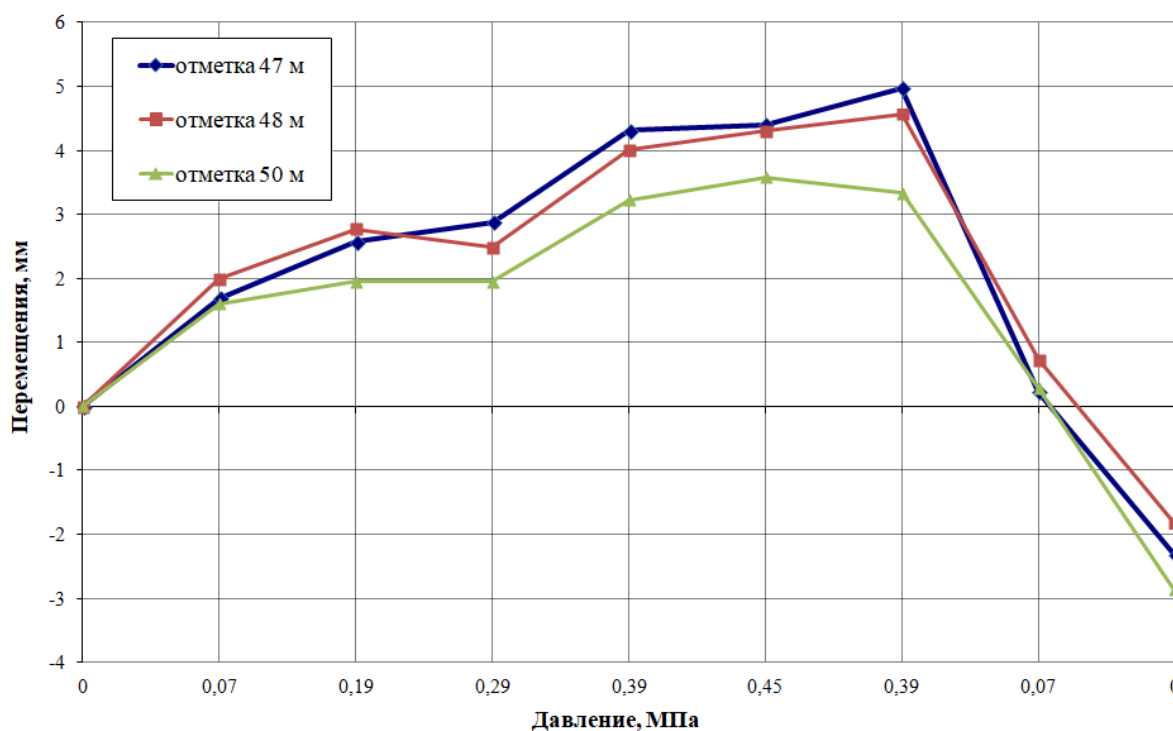


Рисунок 5 – Приращения перемещений стенки 30 в период приемо-сдаточных испытаний, энергоблок №3 Ростовской АЭС, отметка 47.0, 48.0 и 50 м, створ №1 [Displacement increments of the wall of the containment during the acceptance tests, power unit No. 3 of the Rostov NPP, mark 47.0, 48.0 and 50 m, section No. 1]

Таким образом, подкрановая консоль полярного крана обладает определенной жесткостью, что препятствует перемещению защитной оболочки при преднапряжении. Изменение геометрических параметров при испытаниях защитной оболочки приводит к снижению жесткости. Поэтому целесообразно проводить рихтовку подкрановых путей полярного крана только после проведения испытаний защитной оболочки.

Результаты расчета НДС защитной оболочки энергоблока

Выполнены расчеты НДС защитной оболочки 3-го блока Ростовской АЭС в период преднапряжения и приемо-сдаточных испытаний в процессе приложения испытательного давления с учетом действующих на этот период времени усилий в армоканатах СПЗО и температур окружающей среды. Расчеты проводились в нелинейной постановке (с учетом процессов ползучести в бетоне) для достижения лучшего соответствия расчетных и экспериментальных данных.

Проведенный анализ показал, что полученные расчетные значения перемещений и параметров НДС 3О энергоблока № 3 Ростовской АЭС при её преднапряжении и в процессе приемо-сдаточных испытаний качественно и количественно соответствуют измеренным [6, 7].

На рисунке 6 приведено распределение радиальных перемещений защитной оболочки при воздействии преднапряжения и испытательного давления $P = 0,45$ МПа. За исключением локальных областей на куполе бетон защитной оболочки работает в состоянии двухосного сжатия (см. рис. 7 и 8), что обеспечивает ее работоспособность даже при максимальной испытательной нагрузке.

Однако в расчетах учесть влияние жесткости подкрановой консоли полярного крана достаточно сложно, поэтому влияние данного фактора на рисунке 6 не прослеживается [8-12].

Таблица 4 – Сравнение расчетных и экспериментальных значений перемещений стенки защитной оболочки при воздействии преднапряжения и максимального испытательного внутреннего давления на отметке 36,9 м [Comparison of the calculated and experimental values of the displacements of the wall of the containment under the influence of prestress and maximum test internal pressure at 36.9 m]

№ Створа	Приращения радиальных перемещений стенки оболочки от обжатия, мм	Приращения радиальных перемещений стенки оболочки при давлении 0,45 МПа, мм
	Измеренные / расчетные	
1	-10,7 / -9,8	7,95 / 7,6
2	-9,53 / -9,62	7,39 / 6,9
3	-12,96 / -12,4	7,24 / 7,1
4	-12,15 / -12,6	7,22 / 6,8

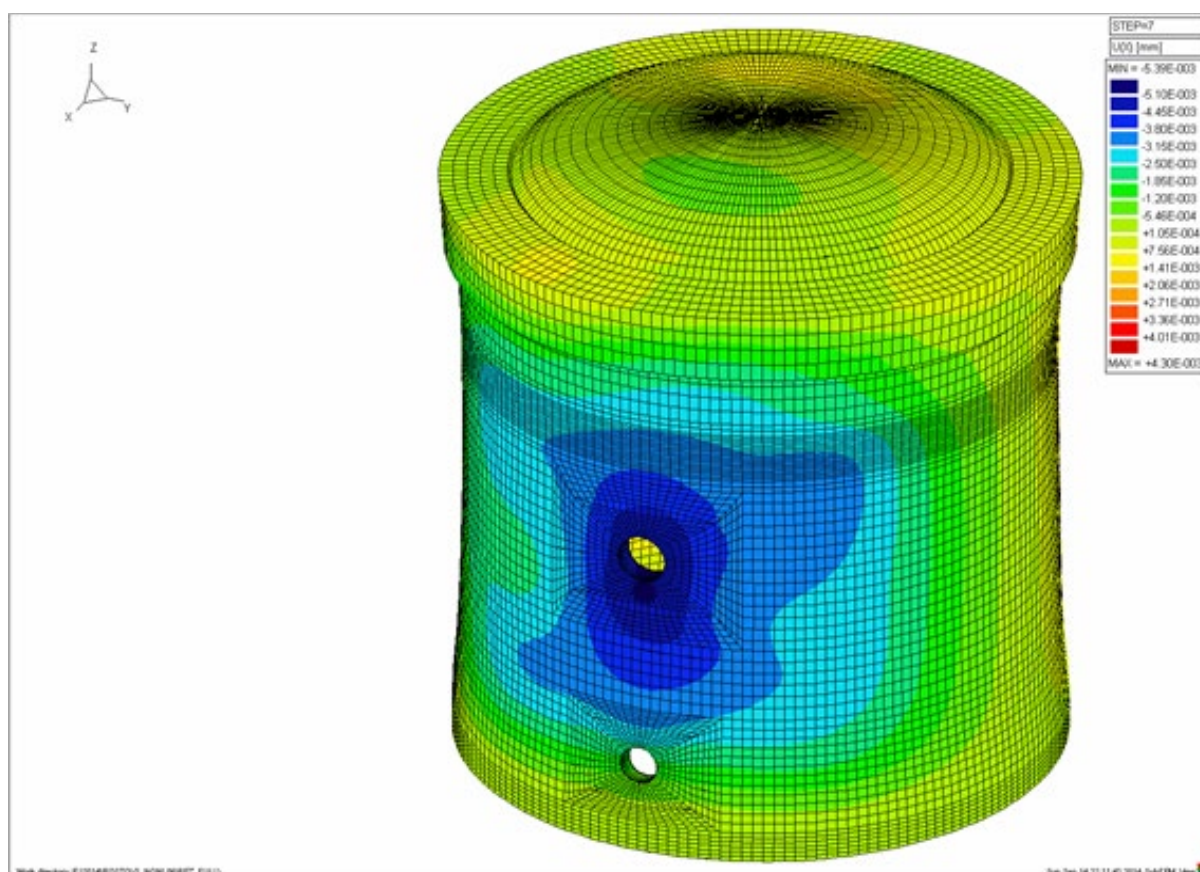


Рисунок 6 – Распределение радиальных перемещений [мм] защитной оболочки при воздействии преднапряжения и испытательного давления $P=0,45$ МПа [Distribution of radial displacements [mm] of the containment under loads induced by the prestressing and test pressure $P = 0.45$ MPa]

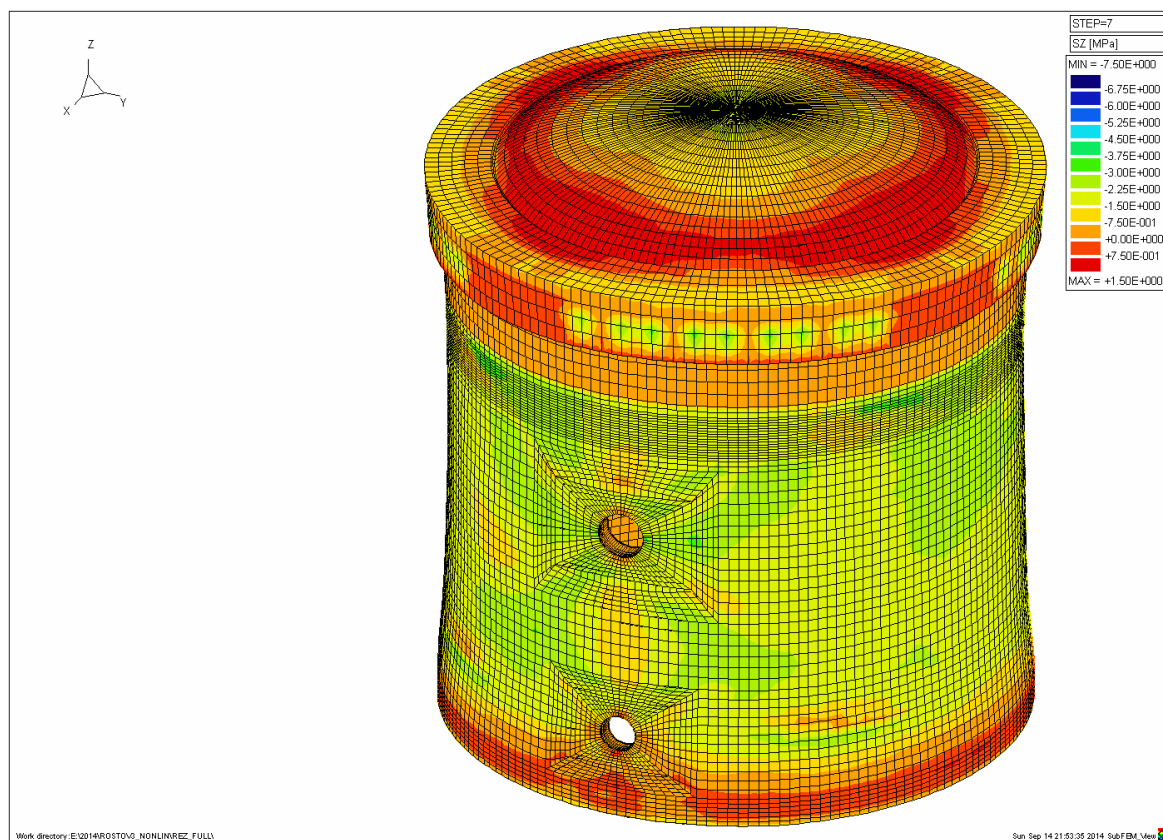


Рисунок 7 – Распределение меридиональных напряжений [МПа] на внешней поверхности защитной оболочки при воздействии испытательного давления $P = 0,45$ МПа [Distribution of meridional stresses [MPa] on the outer surface of the containment exposed to test pressure $P = 0.45$ MPa]

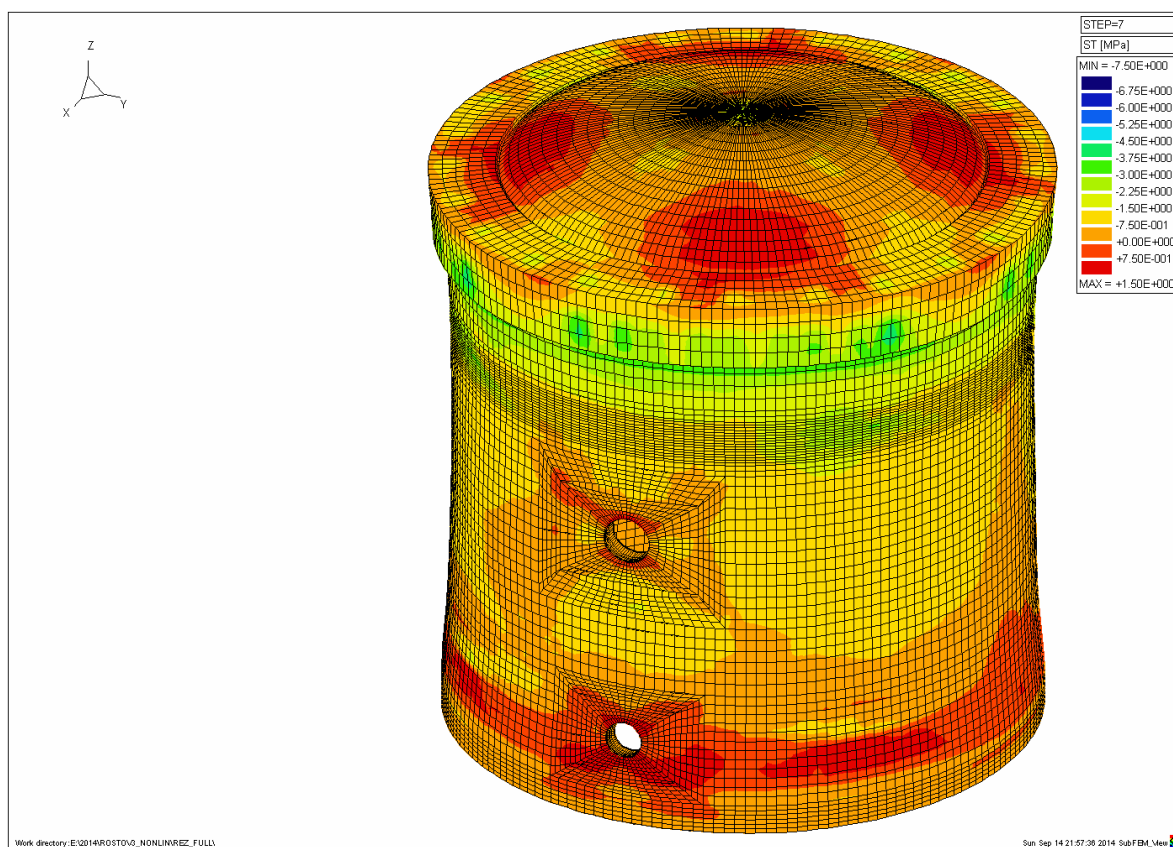


Рисунок 8 – Распределение окружных напряжений [МПа] на внешней поверхности защитной оболочки при воздействии испытательного давления $P = 0,45$ МПа [The distribution of circular stresses on the outer surface of the containment exposed to test pressure $P = 0.45$ MPa]

Выводы

1. Оценка изменения усилий на тяжных анкерах арматурных канатов защитной оболочки 3-го энергоблока Ростовской АЭС от влияния суточных колебаний температур окружающей среды и солнечного излучения показала, что колебания усилий в течение суток могут составлять около 10 тс, наиболее существенный вклад в изменение усилий в армоканатах вносит солнечное излучение

2. В случае необходимости подтяжки или замены армоканатов при длительной эксплуатации СПЗО из-за увеличения контактных напряжений между цапгами и поверхностями в отверстиях анкерного блока потребуется приложить усилие, значительно большее, чем при преднапряжении. Поэтому вопрос о возможности подтяжки армоканатов при длительной эксплуатации должен быть рассмотрен с учетом действия циклической нагрузки.

3. Измерение геометрических параметров защитной оболочки энергоблока №3 Ростовской АЭС геодезическими методами и их анализ в процессе преднапряжения и в период приемо-сдаточных испытаний позволил получить дополнительную информацию о деформировании сооружения и установить характер перераспределения напряжений, главным образом, вблизи опорного кольца.

4. Результаты контроля НДС и геометрических параметров защитной оболочки вблизи узла сопряжения цилиндрической части с куполом показали, что конструкция при подъеме давления работает нелинейно, наибольшее перераспределение напряжений происходит при повышении давления с 0,19 до 0,29 МПа, при этом изменения геометрических параметров в этой зоне защитной оболочки не наблюдаются.

5. Показания датчиков ПСИ-01 в период испытаний напрямую зависят от изменения геометрических параметров сооружения, незначительное увеличение или снижение усилий в армоканатах происходило в зависимости от изменения геометрии защитной оболочки.

6. Подкрановая консоль полярного крана обладает определенной жесткостью, что препятствует перемещению защитной оболочки при преднапряжении. Изменение геометрических параметров при испытаниях защитной оболочки может привести к снижению жесткости, поэтому рихтовку подкрановых путей полярного крана целесообразно проводить только после проведения испытаний защитной оболочки.

7. Проведенный расчетный анализ показал, что полученные расчетные значения перемещений в средней части цилиндра защитной оболочки при ее преднапряжении и в процессе приемо-сдаточных испытаний качественно и количественно соответствуют измеренным.

8. В соответствии с требованием п. 156 НП 010-16, а также учитывая, что в период эксплуатации отдельные датчики КИА теряют работоспособность, в период испытания на герметичность эксплуатируемых защитных оболочек необходимо выполнять геодезический контроль перемещений сооружения, сравнивая результаты измерений с результатами расчета на каждом этапе подъема внутреннего давления. Геодезический контроль перемещений внутренней поверхности защитной оболочки рекомендуется выполнять до начала испытаний и после их проведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев, В. Н.* Натурные наблюдения на этапе строительства защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС / В. Н. Медведев [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 3 (12). С. 89-99.
2. *Скорикова, М. И.* Влияние реологических характеристик бетона на напряженно-деформированное состояние защитной оболочки АЭС / М. И. Скорикова [и др.] // Атомная энергия. – 2019. – Т. 126, № 6. – С. 317-320.

3. Пимшин, Ю. И. Влияние крана кругового действия на техническое состояние строящейся защитной герметичной оболочки АЭС / Ю. И. Пимшин [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2016 – № 2 (19). – С. 33-42.
4. Забазнов, Ю. С. Геодезическое обеспечение мониторинга технического состояния защитных герметичных оболочек атомных электрических станций (АЭС) в период их строительства, преднапряжения и испытания / Ю. С. Забазнов [и др.] // Геодезия, картография, кадастр – современность и перспективы: материалы международной конференции, Москва, 27-28 мая 2014 г. / МИИГАиК – Москва : МИИГАиК, 2014. – С. 19-23.
5. Пимшин, Ю. И. Диагностика технического состояния защитных оболочек АЭС / Ю. И. Пимшин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2016. – № 4. – С. 55.
6. Сальников, А. А. Особенности НДС защитных оболочек АЭС на этапе возведения, преднапряжения, приемо-сдаточных испытаний и эксплуатации / А. А. Сальников [и др.] // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: материалы междунар. науч.-техн. конф. Москва, 23-24 мая 2018 года. – Москва. – 2018. – С. 24-30.
7. Пимшин, Ю. И. Оценка напряженно-деформированного состояния защитных герметичных оболочек на примере блоков Ростовской АЭС / Ю.И. Пимшин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2017. – № 3. – С. 36-42.
8. Стрижов, В. Ф. Применение экспертной системы оценки НДС защитных оболочек АЭС на этапе сооружения и эксплуатации / В. Ф. Стрижов [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 1(30). – С. 25-38.
9. Скорикова, М. И. Оценка НДС защитной оболочки энергоблока № 4 Ростовской АЭС в период приемо-сдаточных испытаний / М. И. Скорикова // Сборник трудов XIX научной школы молодых ученых ИБРАЭ РАН. – 2018. – С. 155-158.
10. Медведев, В. Н. Результаты испытаний защитной оболочки энергоблока №3 Ростовской АЭС / В. Н. Медведев [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 2(15). – С. 71-83.
11. Гайрабеков, И. Г. Результаты выполненных работ в рамках мониторинга защитных герметичных оболочек строящихся блоков Ростовской АЭС / И. Г. Гайрабеков [и др.] // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – 2014. – № 7-1. – С. 29-30.
12. Медведев, В. Н. К вопросу о деградации защитных оболочек АЭС / В. Н. Медведев [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 4(5). – С. 66-73.

REFERENCES

- [1] Medvedev V.N., Kiselev Alexander S., Kiselev Alexey S., Ulyanov A.N., Strizhov V.F., Potapov E.A. Naturny'e nablyudeniya na e'tape stroitel'stva zashhitnoj obolochki e'nergobloka № 3 Rostovskoj AE'S [Field Observations at the Construction Stage of the Containment of the Power Unit No. 3 of the Rostov NPP]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2014. № 3 (12). P. 89-99 (in Russian).
- [2] Medvedev V.N., Skorikova M.I. Vliyaniye reologicheskikh kharakteristik betona na napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye zashchitnoy obolochki AES [Influence of the Rheological Characteristics of Concrete on the Stress-Strain State of Containments of Nuclear Power Plants]. Atomnaya energiya [Atomic Energy]. 2019. № 6(126). P. 317-320 (in Russian).
- [3] Pimshin Yu.I., Klyushin E.B., Gubeladze O.A., Medvedev V.N., Burdakov S.M., Zayarov Yu.V. Vliyaniye krana krugovogo dejstviya na texnicheskoye sostoyaniye stroyashheysya zashhitnoj germetichnoj obolochki AE'S [The Effect of a Circular Action Valve on the Technical Condition of the Protective Containment of the NPP under Construction]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2016. № 2(19). P. 33-42 (in Russian).
- [4] Zabaznov Yu.S., Pimshin Yu.I., Klyushin E.B. Geodezicheskoye obespecheniye monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya zashchitnykh germetichnykh obolochek atomnykh elektricheskikh stantsiy (AES) v period ikh stroitel'stva, prednapryazheniya i ispytaniya [Geodetic Support of Monitoring of Technical Condition of Protective Tight Covers of the Nuclear Power Plants (NPP) during their Construction, Pretension and Test]. The collection of articles following the results of scientific and technical conferences. Issue 7 (in two parts). Part 1. Moscow: MIIGAiK / annex to the «Geodesy and Aero Photofilming» magazine №6, 2014. P. 19-23 (in Russian).
- [5] Pimshin Yu.I., Klushin E., Medvedev V., Gubeladze O., Naugol'nov V., Zayarov Yu., Zabaznov Yu. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya zashchitnykh obolochek AES [Checking Technical Condition of Protective Leak-Tight Containment of Nuclear Power Plants]. Izvestia vuzov «Geodeziya i aerofotos"yemka» [Geodesy and Aerophotography]. 2016. №4. P. 55-59 (in Russian).

- [6] Salnikov A.A., Medvedev V.N., Kiselev Alexander S., Kiselev Alexey S., Ulyanov A.N., Strizhov V.F., Skorikova M.I. Osobennosti napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zashchitnykh obolochek AES na etape vozvedeniya, prednapryazheniya, priyemo-sdatochnykh ispytaniy i ekspluatatsii [Specifics of the Stress-Strain State of Containments of Nuclear Power Plants at the Stage of Construction, Prestress, Hand-Over Tests and Operation] Bezopasnost', effektivnost' i ekonomika atomnoy energetiki [Safety, Efficiency and Economics of Nuclear Energy: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Moscow]. 2018. P. 24-30 (in Russian).
- [7] Pimshin Yu., Medvedev V., Naumenko G., Naugolnov V., Zabaznov Yu. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zashchitnykh germetichnykh obolochek na primere blokov Rostovskoy AES [Assessing the Stress and Strain State of Containments by the Example of Rostov Nuclear Power Plant] Izvestia vuzov «Geodeziya i aerofotos"yemka» [Geodesy and Aerophotography]. 2017. №3. P. 36-42 (in Russian).
- [8] Strizhov V.F., Medvedev V.N., Kiselev Aleksandr S., Kiselev Aleksei S., Ul'yanov A.N., Skorikova M.I. Primeneniye ekspertnoy sistemy otsenki NDS zashchitnykh obolochek AES na etape sooruzheniya i ekspluatatsii [Application of the Expert System for Assessing of the Stress-Strain State of Containments of Nuclear Power Plants at the Stage of Construction and Operation]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. № 1(30). P. 25-38 (in Russian).
- [9] Skorikova, M.I. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zashchitnoy obolochki energobloka № 4 Rostovskoy AES v period priyemo-sdatochnykh ispytaniy [Evaluation of the Stress-Strain State of the Containment of Power Unit No. 4 of the Rostov NPP during the Acceptance Tests] Proceedings of the XIX Scientific School of Young Scientists of the IBRAE RAN. 2018. P. 155-158 (in Russian).
- [10] Medvedev V.N., Kiselev Aleksandr S., Kiselev Aleksei S., Ulyanov A.N., Strizhov V.F., Salnikov A.A. Rezul'taty ispytaniy zashchitnoy obolochki energobloka №3 Rostovskoy AES [Test Results of the Rostov NPP Power Unit №3 Protective Cover]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2015. № 2(15). P. 71-83 (in Russian).
- [11] Gayrabekov, I.G. Pimshin YU.I., Gubeladze O.F., Medvedev V.N. Rezul'taty vypolnennykh rabot v ramkakh monitoringa zashchitnykh germetichnykh obolochek stroyashchikhsya blokov Rostovskoy AES [The Results of the Work Carried out in the Framework of Monitoring the Containments of the Building Blocks of the Rostov NPP] Izvestia vuzov «Geodeziya i aerofotos"yemka» [Geodesy and Aerophotography]. 2014. № 7-1. P. 29-30. (in Russian).
- [12] Medvedev V.N., Kiselev Alexander S., Kiselev Alexey S., Ulyanov A.N., Strizhov V.F. K voprosu o degradatsii zashchitnykh obolochek AES [On the Degradation of the Containments of Nuclear Power Plants]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2012. – № 4(5). P. 66-73 (in Russian).

Monitoring of Nuclear Power Plant Containments During the Acceptance Tests

V.N. Medvedev^{*1}, Aleksandr S. Kiselev^{2}, Aleksei S. Kiselev^{***3}, V.F. Strizhov^{*4},
A.N. Ulyanov^{*5}, M.I. Skorikova^{*6}, Yu.I. Pimshin^{***7}**

^{}Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAN), Bolshaya Tulskeya St., 52, Moscow, Russia 115191*

*^{**}National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., 1, Moscow, 123182, Russia*

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

¹ORCID iD: 0000-0003-2182-9769

Wos Researcher ID: U-8092-2018

e-mail: cont@ibrae.ac.ru

²ORCID iD: 0000-0002-1405-4080

Wos Researcher ID: U-8140-2018

e-mail: alkis_rrcki@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0002-2450-4495

Wos Researcher ID: U-8820-2018

e-mail: kis-rncki@rambler.ru

⁴ORCID iD: 0000-0003-2244-6612

Wos Researcher ID: V-5004-2018

e-mail: vfs@ibrae.ac.ru

⁵*ORCID iD: 0000-0003-4850-4825*
Wos Researcher ID: U-8123-2018
e-mail: anumsk661@rambler.ru
⁶*ORCID iD: 0000-0002-9090-346X*
Wos Researcher ID: U-8075-2018
e-mail: skorikova@ibrae.ac.ru
⁷*ORCID iD: 0000-0001-6610-8725*
WoS Researcher ID: J-6791-2017
e-mail: YIPimshin@mephi.ru

Abstract – The article presents the results of the study of changes in the stress-strain state and the geometric parameters of the containment shell near the junction of the cylindrical part with the dome and in the area of the crane rail of the polar crane during the acceptance tests.

Key words: containment, displacements, deformations, stresses, forces.

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

УДК 621.039.53: 620.179.118 (075)

**ВЫЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ
КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ**

© 2020 А.И. Алвахеба*, В.И. Сурин*, Т.Е. Иванова**, О.В. Иванов**,
В.Г. Бекетов***, В.А. Гошкодеров*

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

**ООО «Техноскан», Волгодонск, Россия

***Волгодонский инженерно-технический институт Филиал НИЯУ МИФИ, Волгодонск, Россия

Метод сканирующей контактной потенциометрии (СКП) использовали для обнаружения структурных неоднородностей в сварных соединениях и определения их координат. Для этого был подготовлен специальный образец, сваренный ручной дуговой сваркой из двух половин аустенитной стали 12Х18Н10Т размером 200×110×13,5 мм с рабочей шириной шва 12 мм. После сварки шов был просвечен на рентгеновской установке и получен снимок радиографического контроля. По результатам измерений построены поверхностные потенциограммы и проведена идентификация изображений структурных неоднородностей на потенциограммах с их изображениями на снимке радиографического контроля.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, метод СКП, сварные соединения в стали, радиографический контроль, дискретное преобразование сигналов.

Поступила в редакцию 28.11.2019

После доработки 30.03.2020

Принята к публикации 07.04.2020

Введение

Все электрические методы диагностики и неразрушающего контроля можно условно разделить на контактные методы и бесконтактные. В настоящей статье представлены результаты применения контактного электрофизического метода – метода СКП для контроля структурных неоднородностей в сварном соединении [1, 2]. При этом применен новый физический подход, заключающийся в том, что поверхность раздела преобразователь-образец рассматривается как чувствительный элемент преобразователя. Данное представление позволяет, например, рассматривать возникновение диагностического сигнала на выходе преобразователя как результат влияния низкочастотных волн механических напряжений, излучаемых неоднородностями, находящимися в сварном соединении. В качестве первичных преобразователей используются измерительные контакты, изготавливаемые из различных металлов или сплавов. Различаются понятия электрического и механического контактов. Электрический контакт обеспечивает прохождение электрического тока через поверхность контакта. Если два металла соприкасаются, образуются две взаимодействующие поверхности, представляющие собой эффективные барьеры для электронов проводимости. Между атомами этих поверхностей возникают силы, приводящие к коррелированным изменениям их электронных оболочек, и зависящие от величины зазора между поверхностями. В зоне образующегося контакта возможно протекание следующих процессов [3-4]:

– хемосорбция на металлической поверхности или адсорбция газов, паров, вещества из растворов с образованием на поверхности металла химического соединения. Как известно, хемосорбция зависит от чистоты и химического состояния поверхности адсорбента, и возможна при наличии химической активности поверхности;

– металлическая и биметаллическая адгезия;

– когезивное взаимодействие металлов, в результате которого происходит сцепление молекул под действием сил притяжения ковалентной, ионной или металлической природы.

Перечисленные процессы могут существенно влиять на результат электрофизического контроля, однако, в настоящей работе они не играют заметной роли. Обычно перенос заряда через поверхность контакта различных металлов связывают с образованием разности электрических потенциалов (потенциалов Вольта), которая возникает между контактирующими телами в условиях термодинамического равновесия и принимается равной разности работ выхода металлов, отнесённой к заряду электрона.

При механическом контакте электрический ток через поверхность контакта может отсутствовать либо быть пренебрежимо малым, как например это происходит в случае контакта «проводник-изолятор», «изолятор-изолятор» и в ряде других случаев. Электрические свойства образующегося контакта зависят от качества обработки и чистоты поверхностей, особенностей электронной структуры металлов и ряда других факторов, что позволяет использовать электрический контакт в качестве чувствительного элемента, который преобразует внешнее механическое воздействие в электрические сигналы.

Взаимодействие электрофизического преобразователя с поверхностью описывается статистическими законами. Как известно, в зависимости от шероховатости поверхностей и приложенной нагрузки размер пятен реального контакта составляет от 0,1 до 10-40 мкм. На этих пятнах возникают давления, достигающие 10-20% от теоретической прочности материала. С увеличением нагрузки рост площади реального контакта происходит в основном за счет увеличения числа пятен при незначительном возрастании их размеров.

Площадь реального контакта составляет от 10^{-4} до 10^{-1} номинальной площади касания S_0 и даже при больших нагрузках не превышает 40%. Для пары металлов с различной твердостью площадь фактического контакта определяется свойствами более мягкого металла и геометрией поверхности твердого [5-7].

Современная теория механики контактов твердых тел справедлива при условии выполнения неравенства $S \ll S_0$, где S – площадь поверхности реального контакта. В основе большого числа работ по механике контактов твердых тел лежит приближение «грубой» поверхности со случайным распределением неровностей в виде сферических или эллиптических выступов, для которых справедлива контактная теория Герца. В некоторых случаях можно пренебречь упругим контактным взаимодействием неровностей в зоне контакта, если среднее расстояние между соседними контактирующими областями поверхностей достаточно велико.

Эксперимент. Подготовка образца контрольного сварного соединения и его радиографический контроль

На предприятии ООО «Техноскан» в городе Волгодонске (Россия) подготовлен специальный образец – контрольное сварное соединение (КСС) и проведен радиографический контроль образца. Образец КСС сварен ручной дуговой сваркой из двух половин аустенитной стали 12X18H10T размером 200×110×13,5 мм (рис. 1). В соответствии с программой проведения исследования в процессе сварки сварщиком

были допущены нарушения правил сваривания изделий и введены в КСС различные структурные неоднородности (дефекты), приведенные в таблице 1. Типоразмер КСС имеет ширину шва равную 12 мм и вогнутость валика – от 40 до 55 мм.

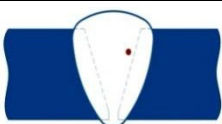


Рисунок 1 – Внешний вид образца КСС после сварки (слева). На фото справа показан образец после снятия усиления шва. Вверху на вставке выделен участок, на котором была измерена шероховатость поверхности R_a , с указанными численными значениями в мкм [Appearance of control sample after welding (left). The photo on the right shows the sample after removing the reinforcement of the seam. At the top of the inset, the area where the surface roughness R_a was measured with the indicated numerical values in μm]

Таблица 1 – Характеристика дефектов КСС в соответствии с ГОСТ 7512-82 [Characteristics of control sample defects in accordance with 7512-82 All-Union State Standart]

№ п/п	Наименование дефекта	Обозначение		Описание дефекта	Рисунок
		рус.	англ.		
1	Смещение кромок	Скр45	Fd45	Недостаточно проваренный сварной шов. Выраженная линия почернения в зоне дефекта.	
2	Прерывистый непровар в корне	Нк12	Da12	Недостаточно проваренный сварной шов. Выраженная линия почернения в зоне дефекта.	
3	Прерывистый непровар в корне	Нк100	Da100		
4	Непровар по разделке шва	Нр95	Dc95	Недостаточно проваренный сварной шов. Тонкая линия почернения, смещенная от оси шва.	
5	Непровар по разделке шва	Нр20	Dc20		
6	Непровар по разделке шва	Нр45	Dc45		
7	Пора (две поры)	2П0,7	2Aa0,7	Отдельное шарообразное включение газа. Темные круглые точки разного размера.	
8	Непровар по разделке шва	Нр15	Dc15	Недостаточно проваренный сварной шов. Тонкая линия почернения, смещенная от оси шва.	

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Наименование дефекта	Обозначение		Описание дефекта	Рисунок
		рус.	англ.		
9	Пора	П0,8	Aa0,8	Отдельное шарообразное включение газа. Темные круглые точки разного размера.	
10	Пора	П0,3	Aa0,3	Отдельное шарообразное включение газа. Темные круглые точки разного размера.	
11	Скопление пор (длина скопления 2 мм)	C2П0,4	Ac2Aa0,4	Нерегулярно разбросанные шарообразные включения газа. Темные круглые точки разного размера.	
12	Свищ	не стандарт изирован	—	Трубчатое или воронкообразное углубление в шве. Темное пятно с неровными краями в центре шва.	
13	Вольфрамовое включение	В	Ca	Светлое пятно произвольной формы.	

Радиографический контроль КСС выполнен на оборудовании РАПАН М 200/100, зав. № 103326 в соответствии с методикой по нормативу ПНАЭ Г-7-017-89. Оценка качества КСС проведена по ПНАЭ Г-7-010-89, тип пленки AGFA D7 (100×240), категория чувствительности – 0,2.

На снимке радиографического контроля (рис. 2) присутствуют изображения следующих дефектов:

- непровар корня (*Нк*);
- непровар по разделке (*Нр*);
- смещение кромок (*Скр*);
- скопление пор и отдельные поры (*Сп*, *П*);
- свищ;
- вольфрамовое включение (*В*).

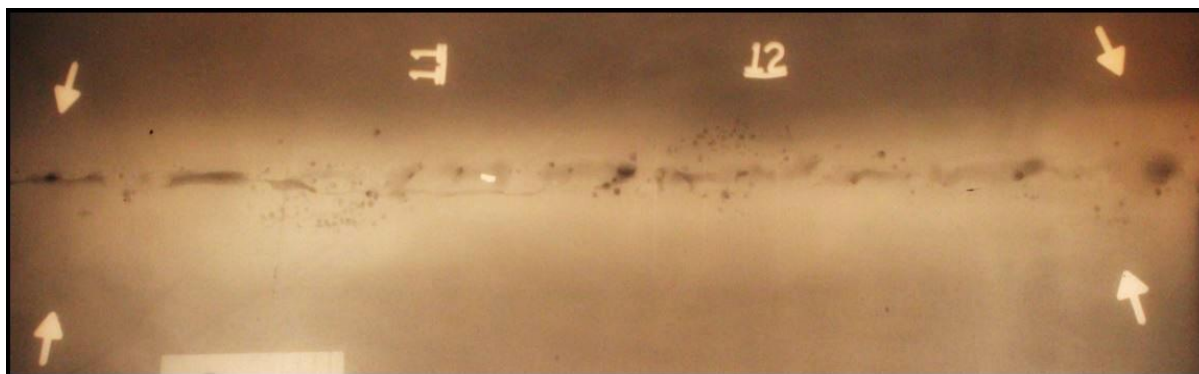


Рисунок 2 – Снимок радиографического контроля КСС [Control sample radiographic inspection]

По оси КСС расположены темные протяженные пятна, образованные на пленке от несплавленного корня шва. В некоторых местах они имеют более выраженные

очертания, в других – менее выраженные. Данный дефект обозначается буквами (*Нк*). Тонкая темная линия по краю шва показывает непровар по разделке шва. Начало координат располагается на снимке слева, указанное стрелками, и совпадает с началом координат на представленных потенциограммах.

Видны также большие скопления пор: внизу от знака «11» и в центральной части. Темное пятно относительно большого размера, практически, посередине шва – это изображение «свища». Данный дефект представляет собой незаполненную металлом трубчатую воздушную полость, полученную при сварке после всплытия газового пузыря к поверхности. Дефект направлен вглубь от поверхности КСС. В данном случае глубина его залегания составляет примерно 5 миллиметров. Правее от свища наблюдается скопление пор, объединенных в кластеры, а также имеются отдельные поры.

На снимке можно также видеть вольфрамовое включение в виде незначительно вытянутого вдоль оси шва светлого пятна, расположенного с левой стороны от дефекта «свищ». Глубина его залегания, определенная методом ультразвукового контроля, составляет около 10 мм.

Методика выполнения электрофизического контроля (ЭФК)

Электрофизические измерения выполнены на программно-аппаратном комплексе «*ElphysLAB*-ИДС» мобильной информационно-диагностической системы, размещенной на ноутбуке Asus X554L. Методические основы технологии измерений подробно изложены в работе [8]. С целью повышения чувствительности обнаружения дефектов в КСС, непосредственно перед измерениями, шлифовкой было удалено усиление сварного соединения. После чего было выполнено ручное поточечное сканирование поверхности КСС по восьми продольным измерительным дорожкам (рис. 3).

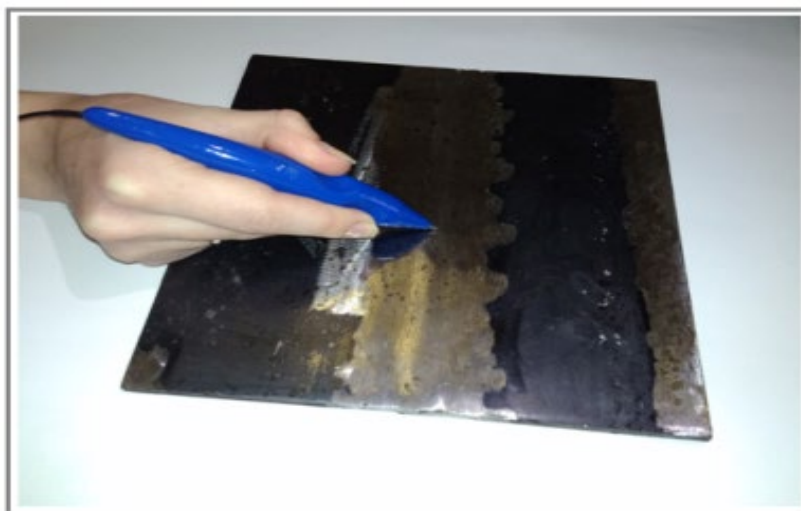


Рисунок 3 – Ручное поточечное сканирование поверхности сварного соединения по восьми измерительным дорожкам [Manual point-by-point scanning of the weld surface along eight measuring tracks]

Анализ потенциограмм проводили с помощью разработанного программируемого амплитудного дискриминатора (ПАД) измерительных сигналов с регулируемой шкалой амплитудной дискриминации в диапазоне 40 дБ. Назначение дискриминатора заключается в отсечке тех значений амплитуды сигнала, которые превышают контрольный уровень, что позволяет исследовать распределение электрического потенциала в разных масштабах. Узкополосный фильтр позволяет настраивать ПАД по амплитуде, начиная с уровня десятых микровольт, с шагом 0,1 мкВ, широкополосный – от единиц и до десятков милливольт. Измерительная система комплекса «*ElphysLAB*-ИДС» управляется OS *Windows*, частота дискретизации измерений составляет 1 Гц.

При проведении ЭФК использовались конические преобразователи с углом конуса, близким к 90 градусов и радиусом скругления вершины, равным примерно 0,3 мм. Шероховатость поверхности (R_a) чувствительного элемента, изготовленного из аустенитной стали X18H10T, была измерена профилометром, портативным цифровым, фирмы *Vogel*, и соответствовала значению 0,15 мкм.

Механическое ручное сканирование поверхности КСС было проведено с целью обнаружения введенных при сварке дефектов и определения их координат. Потенциограммы построены для различных структурных уровней диагностического сигнала (SLS) ($SLS = |\lg|\varphi||$, где φ – функция диагностического сигнала). Точечное сканирование с шагом измерений около 2 мм проводилось последовательно по восьми дорожкам, расстояние между которыми составляло 1,5 мм. Средняя скоростью сканирования была равна, примерно, 2 мм/сек.

Погрешность определения координат дефектов при ручном сканировании составляет от одного до двух миллиметров. В случае использования автоматизированных приборов и установок данная погрешность может быть уменьшена до значения 0,1 мм и менее [9].

В таблице 2 приведено наименование используемого измерительного прибора и ПК, входящих в состав измерительного комплекса «*ElphysLAB-ИДС*».

Таблица 2 – Наименование измерительного прибора и ноутбука [Name of measuring device and laptop]

№ п/п	Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Диапазон измерений	Основная предельная погрешность в указанном диапазоне
1	Мультиметр Agilent	настольный	MY 45040724 34401A	до 1 мВ	0,5 мкВ
2	Ноутбук Asus X554L	настольный	FBN0CV366137460	–	–

На рисунке 4 показана схема действия ПАД на амплитуду функции $\varphi(t)$, которая представлена аналитическими синусоидальными функциями. Симметричное во времени ограничение сигнала применяется в широком интервале амплитуд. Горизонтальными пунктирными линиями показаны значения SLS только для положительных полувольт выше нулевой отметки.

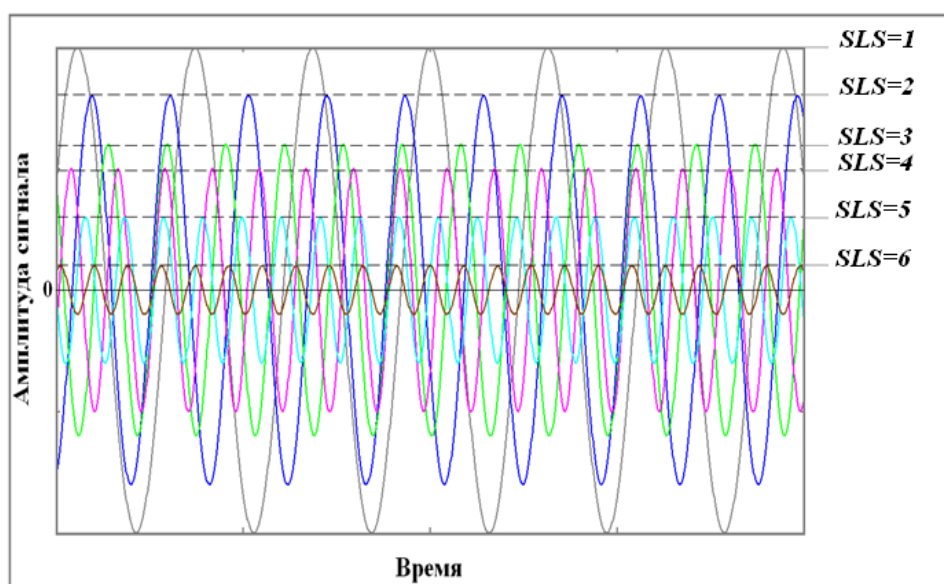


Рисунок 4 – Схема симметричного ограничения сигнала по амплитуде для разных значений SLS [The scheme of the symmetric limitation of the signal in amplitude for different SLS values]

Разработанная компьютерная программа для анализа потенциограмм позволяет масштабировать не только линейные размеры отдельных дефектов, но и все изображение, полученное для данного значения SLS . Эффект масштабирования изображений, наблюдаемых на потенциограммах, в данном случае, визуально похож на эффект увеличения разрешения оптического микроскопа при наблюдении через окуляр за поверхностью образца. Вид изображений на потенциограммах определяется заданной функцией экстраполяции и накладываемыми на нее граничными условиями. Программа фрагментирует участки поверхности по принципу равных значений амплитуды, ограничивает их замкнутым контуром и окрашивает эти участки в определенный цвет. Участки с максимальной амплитудой сигнала, для выбранного значения SLS , окрашиваются в красно-оранжевые тона, с минимальными положительными или отрицательными значениями – в сине-голубые тона.

Методика дискретного преобразования сигнала с окном Хемминга

При использовании метода СКП одним из основных вопросов является вопрос об обнаружении мелких дефектов на фоне более крупных. Опыт использования оконного преобразования дает положительные результаты для динамически изменяющихся во времени процессов, например, таких, как ползучесть металлов или усталостная прочность [10, 11].

Рассмотрим функцию диагностического сигнала $\varphi(t)$ конечной энергии на конечном временном интервале $[t_1, t_2]$. Тогда по определению интегральное преобразование Фурье от функции $\varphi(t)$ имеет вид (1):

$$\Phi(\omega) = \int_{t_1}^{t_2} \varphi(t) e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

Поскольку экспонента $e^{-i\omega t}$ в (1) определена на всей вещественной оси, значения $\Phi(\omega)$ будут зависеть от конкретных значений функции $\varphi(t)$ в каждый момент времени. В данном представлении локализовать структурные неоднородности по частоте не представляется возможным. Для этого необходимо использовать оконное преобразование, которое раскладывает функцию на составляющие гармоники.

Результирующее преобразование Фурье с окном от функции $\varphi(t)$ запишем в виде (2):

$$Q(u, v) = \int_{t_1}^{t_2} \varphi(t) q(t-u) e^{-ivt} dt. \quad (2)$$

Такое преобразование называется кратковременным преобразованием Фурье, поскольку умножение на функцию $q(t-u)$ локализует интеграл в окрестности точки $t=u$.

Запись функции диагностического сигнала в виде дискретного ряда Фурье является частным случаем интегрального преобразования Фурье. Если функцию $\varphi(t)$ представить в виде (3) [12]:

$$\varphi(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f[n] \delta(t-n), \quad (3)$$

где $\delta(t-n)$ – дельта функция Дирака, тогда

$$\Phi(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \varphi[n] e^{-i\omega n}.$$

Для любого $n \in \mathbf{Z}$, где $\mathbf{Z}$ – множество целых чисел, экспонента $e^{-i\omega n}$ имеет период, равный 2π , поэтому и ряд Фурье имеет также период, равный 2π . Все функции, удовлетворяющие условию

$$\int |\varphi(t)|^2 dt < +\infty$$

и принадлежащие пространству функций с конечной энергией L^2 , могут быть записаны в виде ряда Фурье. По определению дискретное преобразование Фурье (ДПФ) функции φ есть:

$$\Phi[n] = \sum_{k=0}^{N-1} \varphi[k] \exp\left(\frac{-i2\pi kn}{N}\right).$$

Обратное дискретное преобразование Фурье имеет вид (4):

$$\varphi[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \Phi[k] \exp\left(\frac{i2\pi kn}{N}\right). \quad (4)$$

Дискретное преобразование Фурье функции φ с периодом N вычисляется по ее значениям в интервале $0 \leq n < N$. Важно также отметить, что функция диагностического сигнала должна удовлетворять условию периодичности с периодом N , а не быть просто функцией конечного сигнала по N отсчетам. Дискретная сумма Фурье (4) определяет сигнал с периодом N , у которого значения на концах интервала $\varphi[0]$ и $\varphi[N-1]$ должны быть если не равными, то, по крайней мере, близкими. Если значения $\varphi[0]$ и $\varphi[N-1]$ сильно отличаются друг от друга, то это приводит к резкому скачку всей суммы Фурье, а также появляются высокочастотные составляющие с относительно большими амплитудами.

Дискретное преобразование Фурье с окном $g[n]$ для периодической функции $\varphi[n]$ с периодом N определяется выражением (5):

$$Q[m, l] = \sum_{n=0}^{N-1} \varphi[n] g[n-m] \exp\left(\frac{-i2\pi ln}{N}\right) \quad (5)$$

и вычисляется для каждого значения m в интервале $0 \leq m < N$ и значения l в интервале $0 \leq l < N$ с помощью произведения указанных функций $\varphi[n]g[n-m]$.

В качестве функции окна $g(t)$ выбрана функция Хемминга с периодом, равным T (6):

$$g(t) = 0,54 + 0,46 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right), \quad (6)$$

которая, согласно работе [12] в интервале изменения $[-1/2, 1/2]$ имеет среднеквадратическую ширину диапазона, равную 0,5. Максимальная амплитуда первых боковых максимумов этой функции равна -43 дБ, ширина диапазона $\Delta\omega = 1,36$ и степень асимптотического убывания на больших частотах равна нулю. Окно $g[n]$ представляет собой симметричный дискретный сигнал с периодом N и единичной нормой $\|g\| = 1$, где по определению нормы:

$$\|g\| = \left(\int_{-\infty}^{+\infty} |g(t)|^2 dt \right)^{1/2}.$$

Для дискретного преобразования Фурье функция окна Хемминга принимает вид (7):

$$g[n] = 0,54 + 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right). \quad (7)$$

График данной функции для $N = 100$ показан на рисунке 5.

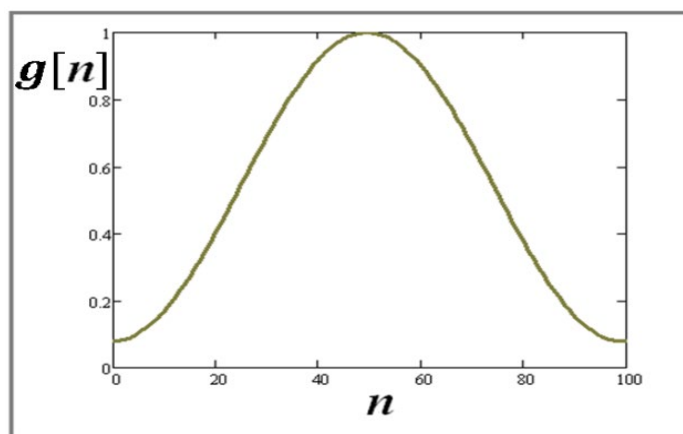


Рисунок 5 – График окна Хемминга, используемого для ЭФК КСС [The graph of the Hamming window used for the electrophysical testing of control sample]

Каждый дефект структуры обладает своей излучающей способностью волн механических напряжений. Более интенсивное излучение дефекта на потенциограмме дает изображение, которое соответствует более высокой амплитуде сигнала. Для интерпретации полученных результатов мы применяем физическую модель, согласно которой каждому дефекту, находящемуся в сварном соединении, поставлен в соответствие некий гармонический осциллятор, амплитуда которого описывается функцией $C(t)$ (8):

$$C(t) = A_0 + \sum_{m=1}^M \left(A_m \cos\left(\frac{m\pi t}{N}\right) + B_m \sin\left(\frac{m\pi t}{N}\right) \right), \quad (8)$$

где A_0 – постоянная, характеризует усредненное значение внутренних напряжений в зоне расположения дефекта; A_n и B_n – коэффициенты гармоник. Упругие волны механических напряжений от дефекта, доходящие до поверхности биметаллического контакта, изменяют равновесное распределение электронов проводимости в этой области, что мгновенно отражается на знаке и амплитуде регистрируемого сигнала. Волны необратимой поверхностной деформации приводят к изменению числа пятен контакта и их площади, что также влияет на вид функции $\varphi(t)$ [13].

Результаты

На рисунке 6 представлена поверхностная потенциограмма КСС для низкого уровня $SLS=1,824$ с максимальной амплитудой $\varphi = 0,015$ В. По оси x обозначена координата вдоль измерительных дорожек. Максимальное значение x соответствует значению длины сварного соединения. По оси y показан номер измерительной дорожки. В верхней части рисунка приведен фрагмент снимка радиографического

контроля КСС (см. рис. 2). На данном структурном уровне видны изображения самых мощных по амплитуде структурных неоднородностей. В частности, хорошо видно смещение кромок КСС (обозначение по ГОСТ 7512-82 «Скр») – широкие полосы светло-зеленого цвета. На потенциограмме можно видеть также два локальных непровара по разделке (H_p - H_p , слева внизу) и дефект, расположенный на центральной измерительной дорожке (H_k). В нижнем правом углу рисунка располагаются два изображения: поры (Π) и непровара по разделке шва (H_p). Цифры, показанные около дефектов, характеризуют градиент изменения потенциала и соответствуют определенному цвету изображения.

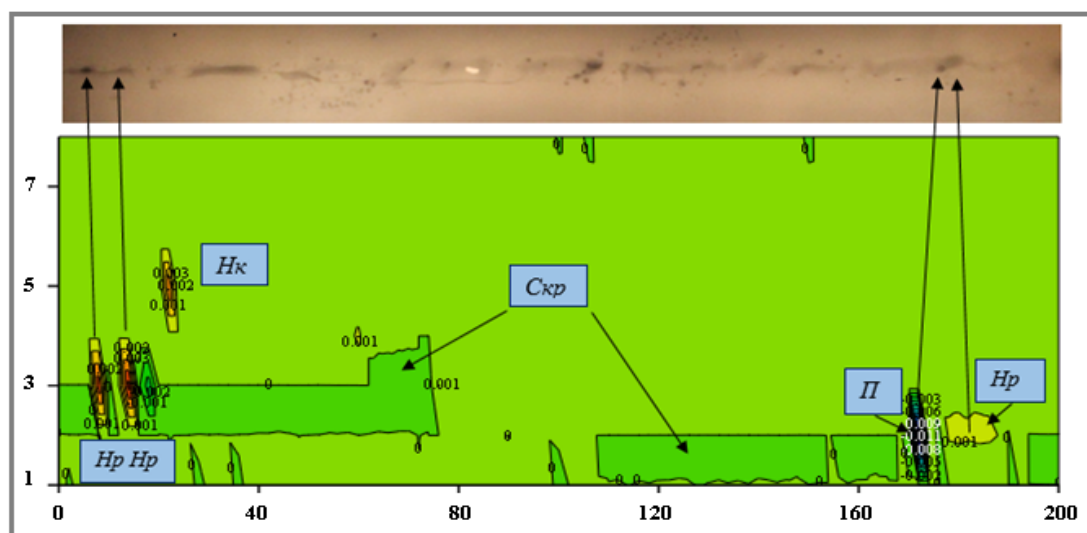


Рисунок 6 – Изображения структурных неоднородностей и их координаты на поверхностной потенциограмме для $SLS = 1,824$ [Images of structural heterogeneities and their coordinates on the surface potentiogram for $SLS = 1,824$]

На более высоком структурном уровне $SLS = 2,42$ (рис. 7) видны протяженные широкие полосы светло-коричневого цвета (вдоль дорожек 3 и 4) в виде ступеньки, идентифицируемые как непровар по разделке КСС (H_p).

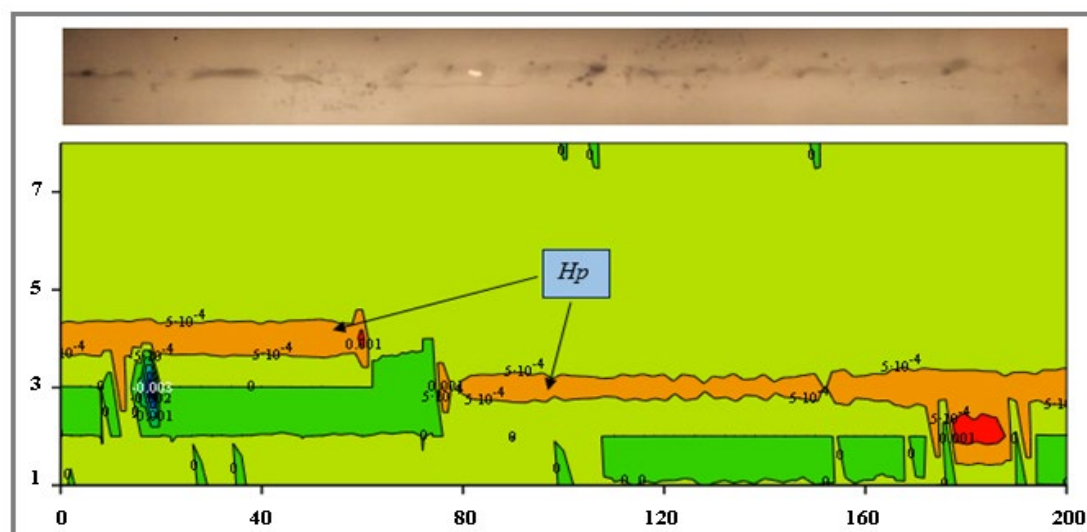


Рисунок 7 – Изображения структурных неоднородностей и их координаты на поверхностной потенциограмме для $SLS = 2,42$ [Images of structural heterogeneities and their coordinates on the surface potentiogram for $SLS = 2,42$]

Тонкая структура непровара по разделке (H_p) видна на более высоком уровне $SLS = 2,959$ (рис. 8): относительно узкий по ширине гребень непровара, желто-оранжевого цвета, имеет значение $\varphi = 600$ мкВ. Можно предложить описание данного дефекта в объеме: плавные ниспадающие склоны расположены симметрично с обеих его сторон (вставка в правом верхнем углу потенциограммы). Значения функции уменьшаются на склонах и достигают наименьшего значения, равного $\varphi = 100$ мкВ.

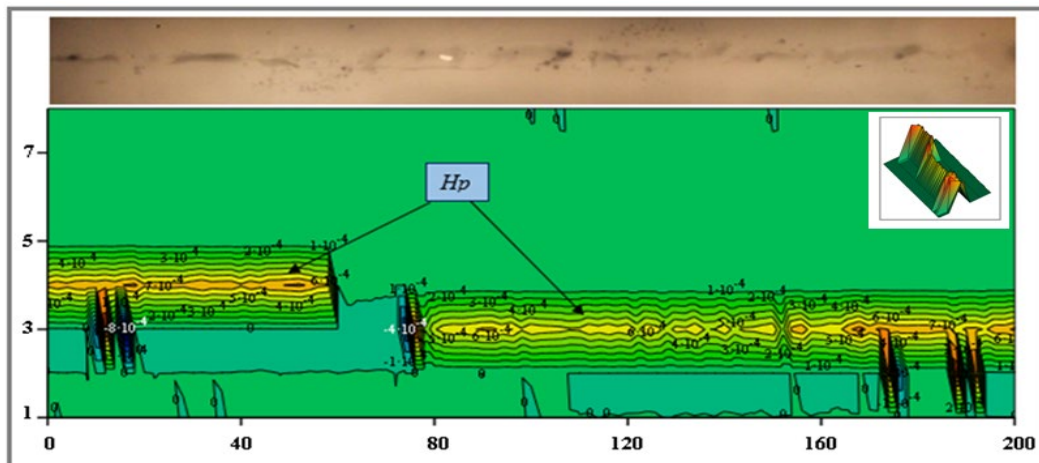


Рисунок 8 – Изображения структурных неоднородностей и их координаты на поверхностной потенциограмме для $SLS = 2,959$ [Images of structural heterogeneities and their coordinates on the surface potentiogram for $SLS = 2,959$]

Переход на последующий уровень со значением $SLS=4,155$ позволяет получить более высокое разрешение измерительной системы. На потенциограмме появляются дефекты, связанные с непроваром корня (H_k). Прерывистый характер данного дефекта хорошо заметен вблизи центральной измерительной дорожки (номер 5). На данном рисунке можно также видеть изображение того места, где на снимке находится вольфрамовое включение (B) и некоторые другие дефекты. Изображения дефектов (H_k) и (B) имеют один и тот же цвет – желтый. Это означает, что в данном случае, они все располагаются в одной плоскости, которую условно можно назвать «плоскостью сечения», с соответствующим значением SLS . Дефект же ($Скр$) имеет «внутреннее углубление», что особенно хорошо заметно на рисунках 9 и 10.

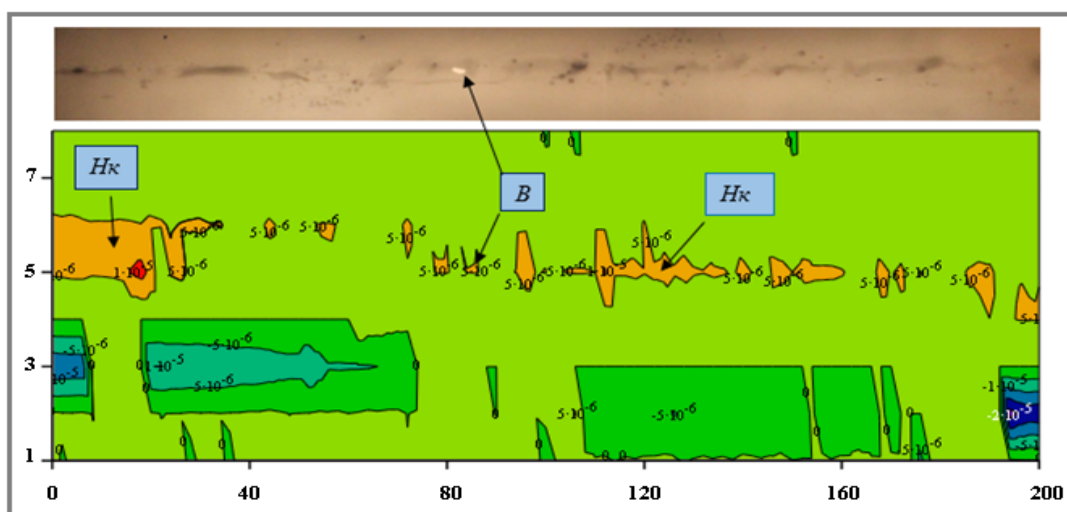


Рисунок 9 – Изображения структурных неоднородностей и их координаты на поверхностной потенциограмме для $SLS=4,155$ [Images of structural heterogeneities and their coordinates on the surface potentiogram for $SLS=4,155$]

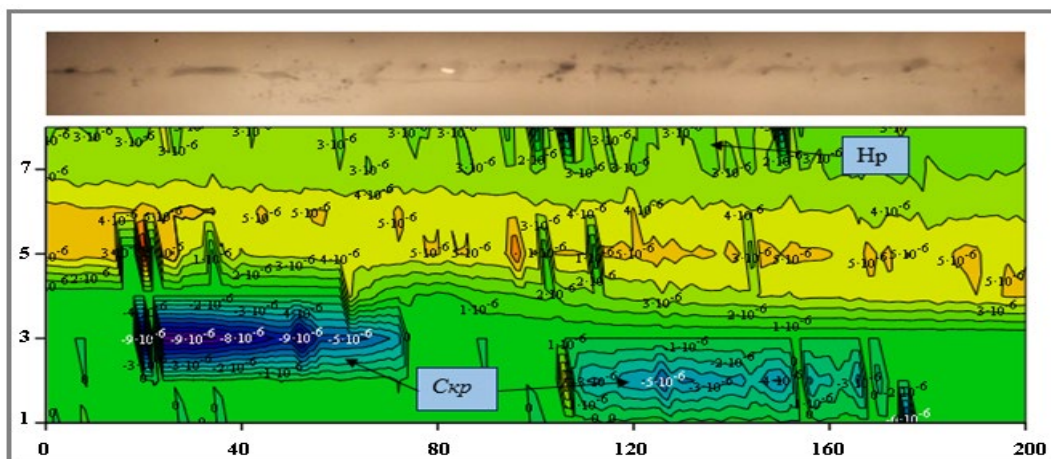


Рисунок 10 – Изображения структурных неоднородностей и их координаты на поверхностной потенциограмме для $SLS = 5$ [Images of structural heterogeneities and their coordinates on the surface potentiogram for $SLS = 5$]

При сваривании глубоких швов приходится использовать послойное сваривание. Первый слой наплавляют высотой 3-5 мм, ширина которого 3-4 мм. Последующие слои выполняет электродами большего диаметра 4-5 мм. Перед наплавкой очередного слоя поверхность разделки шва зачищается металлической щеткой от шлака и брызг металла. При этом, если специально не прогревать свариваемое соединение, то последующий слой металла ложится на остывающий слой. В результате чего возникают локальные градиенты температуры, которые могут приводить к образованию пустот или микротрещин.

Рисунок 11 дает изображения многочисленных источников механических напряжений на уровне $SLS = 5$ и их объемное представление. Сравнивая эти изображения с изображениями на снимке радиографического контроля можно понять к каким именно дефектам относятся эти изображения и определить их координаты. Обратим внимание на то, что на данном структурном уровне в нижней части потенциограммы, по-прежнему, присутствует неоднородность (Скр), что говорит о широком по амплитуде диапазоне излучения данной неоднородности. В верхней части рисунка 10 в виде отдельных фрагментов зеленых оттенков виден непровар по разделке (Нр).

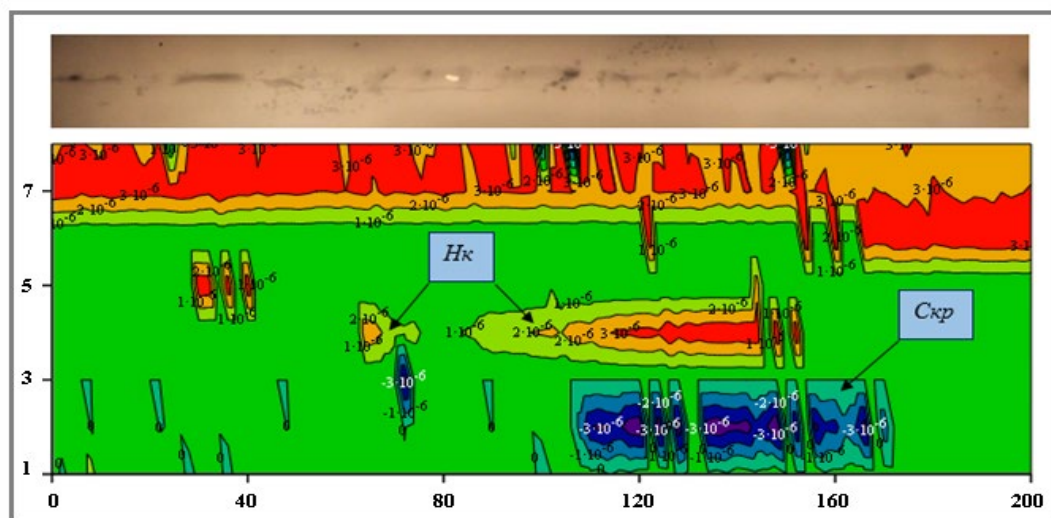


Рисунок 11 – Изображения структурных неоднородностей и их координаты на поверхностной потенциограмме для $SLS = 5,398$ [Images of structural heterogeneities and their coordinates on the surface potentiogram for $SLS = 5,398$]

На рисунке 12 хорошо видна тонкая структура непровара корня (H_k) вдоль центральной измерительной дорожки и тонкая структура смещения кромок для $SLS = 5,398$. В частности, можно видеть, что глубина дефекта $Скр$ неравномерна по его длине, а сам дефект состоит из отдельных фрагментов, которые образовались в процессе сварки. Следует также отметить и широкую линию непровара по разделке верхней части КСС. Сравнивая данный рисунок с предыдущим, можно заключить, что на нем нет дефекта (B) вследствие отсутствия волн напряжений в рассматриваемом интервале амплитуд. Локализация дефекта «свищ» и поле внутренних напряжений около вольфрамового включения (B) при $SLS = 5,699$ показана на рисунке 12. Дефект ($Скр$) фрагментирован на данном рисунке на отдельные цветные пятна сине-голубых оттенков и многочисленные остроконечные треугольники небольшого размера. Треугольники распределены вдоль второй измерительной дорожки, с координатами: начало $x \approx 10$, конец $x \approx 90$.

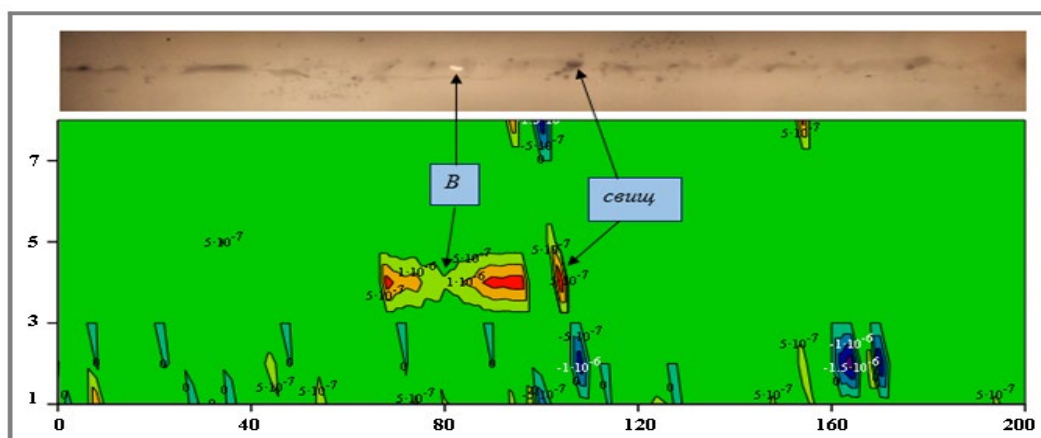


Рисунок 12 – Изображения структурных неоднородностей и их координаты на поверхностной потенциграмме для $SLS = 5,699$ [Images of structural heterogeneities and their coordinates on the surface potentiogram for $SLS = 5,699$]

На рисунке 13 приведена потенциграмма с высоким амплитудным разрешением для $SLS = 6$, на которой локализованы дефекты «свищ», непровар корня (H_k), пора (Π), вольфрамовое включение (B) и смещение кромок ($Скр$) по всей длине КСС. Видны также координаты этих дефектов. Как будет показано ниже дефект пора (Π) и вольфрамовое включение (B) окажутся не одиночными, а спаренными дефектами.

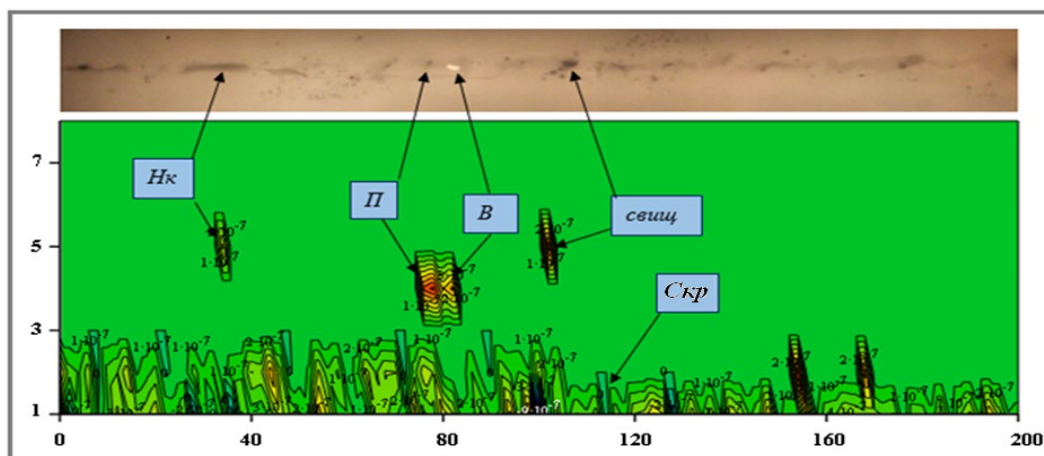


Рисунок 13 – Изображения структурных неоднородностей и их координаты на поверхностной потенциграмме для $SLS = 6$ [Images of structural heterogeneities and their coordinates on the surface potentiogram for $SLS = 6$]

Из представленных рисунков можно заключить, что дефект (*Скр*) дает излучение волн механических напряжений в широком диапазоне амплитуд. На этом фоне возникает проблема обнаружения более мелких по размерам дефектов. Кроме этого излучение от мелких дефектов, расположенных глубоко в КСС, ослабляется за счет затухания механических волн в объеме материала. Определенные трудности возникают при обнаружении двух небольших по размерам дефектов, находящийся один под другим.

Вопрос о физическом механизме образования волн напряжений от дефектов в сварном соединении, а также, каким образом волны механических напряжений влияют на величину и знак регистрируемого сигнала, пока остается открытым. Так при анализе поверхностных потенциограмм стального бруса с просверленными глухими отверстиями разной глубины, было замечено, что изображения внутренних кромок отверстий происходят от волн напряжений, излучаемых внутренней поверхностью отверстия, образованного при сверлении кромок режущего инструмента.

Выявление дефектов с помощью дискретного преобразования Фурье

Совместное использование узкополосного фильтра ПАД с высоким разрешением по амплитуде сигнала и формализма ДПФ с частотно-временными окнами позволяет эффективно идентифицировать дефекты КСС, в том числе и образующиеся спаренные дефекты.

На рисунках 14 и 15 показаны примеры частотной локализации дефектов в КСС. В нижней части рисунка 14 приводится вид локализованного дефекта на линейной потенциограмме (розовый цвет) и его гармоника в представлении ДПФ (косинусоида синего цвета). Шкала по оси y относится к обеим кривым одновременно. Дефект был идентифицирован как локальный непровар корня на уровне $SLS = 1,824$ (см. рис. 6), расположенный на пятой измерительной дорожке. На рисунке 15 показан результат обнаружения на третьей дорожке непровара корня и дефекта (*Скр*) на пятой дорожке на уровне $SLS = 4,155$ (см. рис. 9), а также соответствующие этим дефектам спектры Фурье.

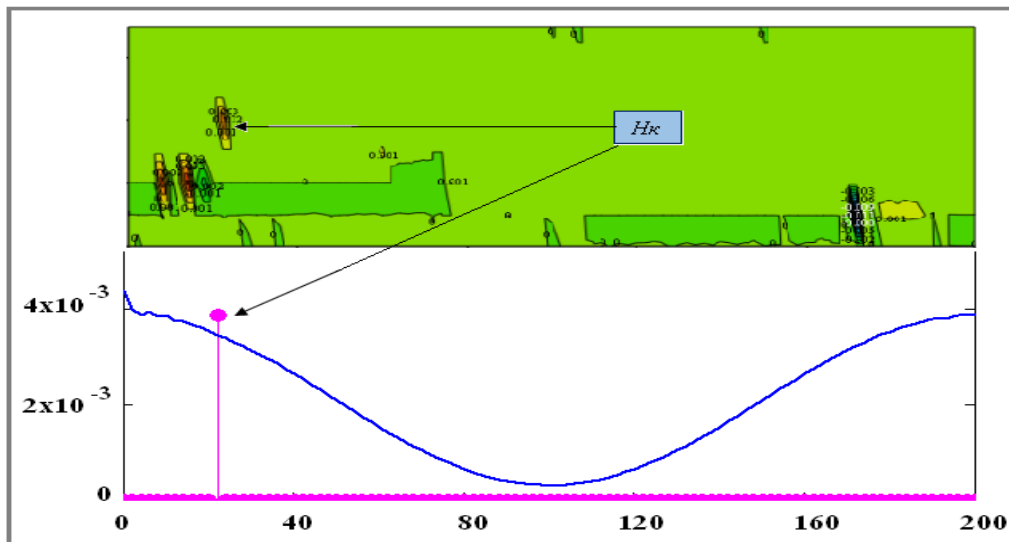


Рисунок 14 – Частотная локализация структурных неоднородностей. Одиночный дефект непровара корня (*Hk*) локализован на линейной потенциограмме в верхней части рисунка. В нижней части рисунка данный дефект выделен розовым цветом. Гармоника, тригонометрическая функция косинуса, соответствующая данному дефекту в представлении ДПФ, показана в нижней части рисунка синим цветом [Frequency localization of structural heterogeneities. A single root deficiency defect (*Hk*) is localized on a linear potentiogram in the upper part of the figure. At the bottom of the figure, this defect is highlighted in pink. Harmonics, the trigonometric cosine function corresponding to a given defect in the DFT representation is shown in blue at the bottom of the figure]

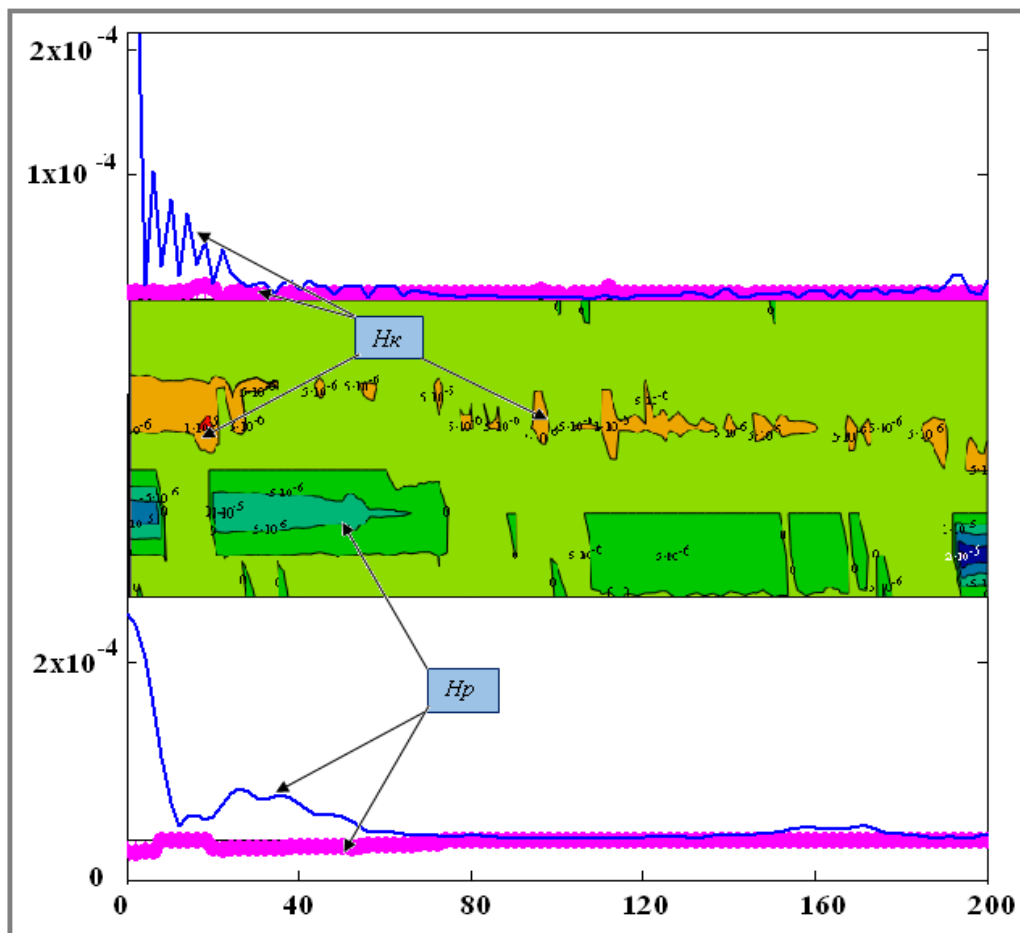


Рисунок 15 – Частотная локализация структурных неоднородностей. В центре рисунка показана поверхностная потенциограмма. Вверху от нее приведена линейная потенциограмма и спектр Фурье с окном Хемминга для дефекта непровар корня (H_k), а в нижней части рисунка приведена линейная потенциограмма и спектр Фурье с окном Хемминга для дефекта непровар по разделке (H_p) [Frequency localization of structural heterogeneities. In the center of the figure, a surface potentiogram is shown. At the top of it is a linear potentiogram and Fourier spectrum with a Hamming window for a root penetration defect (H_k), and at the bottom of the figure, a linear potentiogram and a Fourier spectrum with a Hamming window for a root penetration defect (H_p) are shown]

На рисунке 16 показан пример обнаружения двух спаренных дефектов (двойников), образованных на 4-той измерительной дорожке, первоначально идентифицируемых как пора (Π) и вольфрамовое включение (B , см. рис. 13). На потенциограммах в нижней части видна также детализация дефектов $Скр$. Первоначально, следуя рисунку 16 а при $SLS = 6$, был сделан ошибочный вывод о том, что на линейной потенциограмме (рис. 16 а, слева) присутствуют изображения четырех отдельных дефектов на 4-той и 5-той дорожках. В соответствии с принятой моделью (формула 8) ДПФ дает локализацию четырех гармоник, образующихся от четырех одновременно действующих источников. Однако, при более внимательном рассмотрении графиков можно убедиться, что только два дефекта располагаются на 4-той измерительной дорожке, а два других – на соседней пятой дорожке. При последовательном увеличении значения SLS от 6 до 6,26 были получены изображения, на которых двойники, расположенные на 4-той дорожке, начинают распадаться на одиночные дефекты и затем исчезают при $SLS = 6,26$ (рис. 16 д). В результате фильтрации на потенциограмме остается только один дефект на 5-той дорожке, идентифицируемый как локальный непровар корня (H_k). Изображение этого дефекта исчезает с потенциограммы при $SLS = 6,31$.

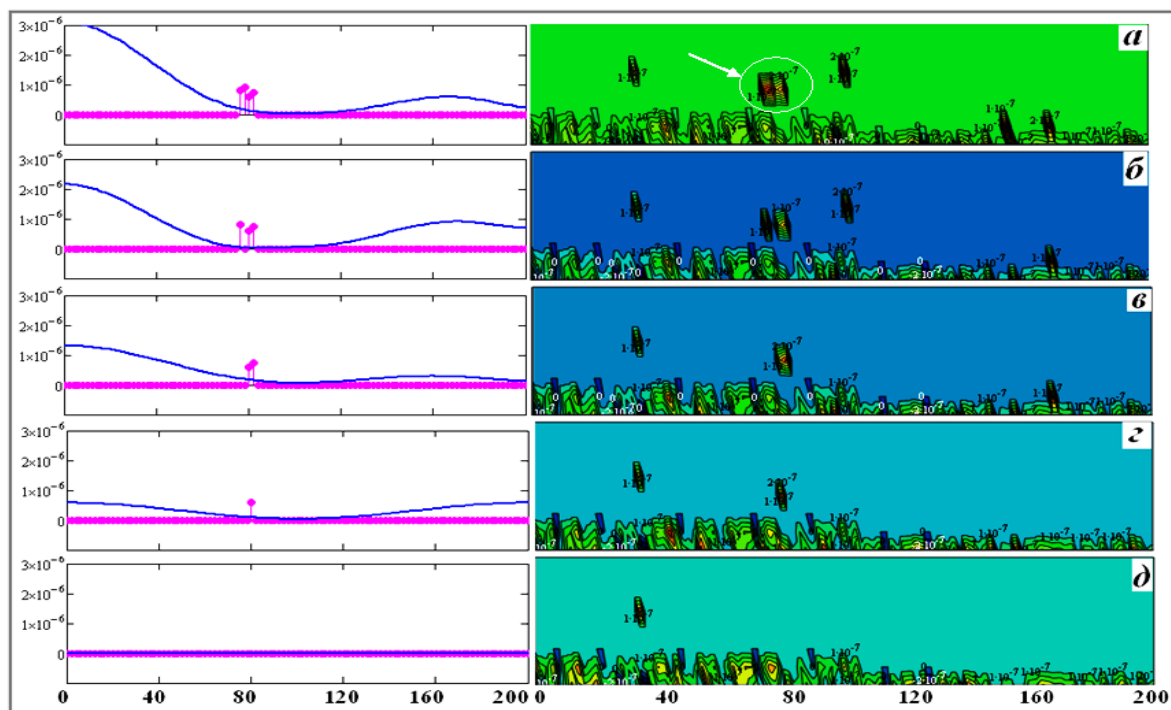


Рисунок 16 – Изображения спаренных двойников в КСС. Двойники выделены на рисунке, а в белый круг и показаны стрелкой. С левой стороны рисунков приведены линейные потенциограммы (розового цвета) и кривые ДПФ с окном Хемминга (синего цвета). Изображения получены для высоких значений SLS : а – 6; б – 6,046; в – 6,097; г – 6,155; д – 6,26 [Images of twin counterparts in control sample. Doubles are highlighted in figure a in a white circle and are shown by an arrow. On the left side of the figures are linear potentiograms (pink) and DFT curves with a Hamming window (blue). Images were obtained for high SLS values: а – 6; б – 6,046; в – 6,097; г – 6,155; д – 6,26]

Таким образом, используя метод последовательной фильтрации на основе узкополосного фильтра ПАД с шагом 0,1 мкВ, можно определить спаренные дефекты (двойные, тройные и т.д.), которые располагаются в непосредственной близости друг от друга в горизонтальной, либо в вертикальной плоскости (друг под другом).

Вывод

Метод сканирующей контактной потенциометрии (СКП) использовали для обнаружения структурных неоднородностей в сварном соединении и определения их координат. Для этого был подготовлен специальный образец, сваренный ручной дуговой сваркой из двух половин аустенитной стали 12Х18Н10Т размером $200 \times 110 \times 13,5$ мм с рабочей шириной шва 12 мм. После сварки шов был просвечен на рентгеновской установке и получен снимок радиографического контроля. По результатам измерений построены поверхностные потенциограммы и проведена идентификация изображений дефектов на потенциограммах с их изображениями на снимке радиографического контроля. Идентификация изображений на потенциограммах дает удовлетворительное соответствие с изображениями этих же дефектов на снимке радиографического контроля. Полученные результаты объясняются на основе ранее опубликованных расчетных и физических моделей.

В частности, дефект смещения кромок дает излучение волн механических напряжений в широком диапазоне амплитуд. На этом фоне возникает проблема обнаружения более мелких по размерам дефектов. Кроме этого излучение от мелких дефектов, расположенных глубоко в КСС, ослабляется за счет затухания механических волн в объеме материала. Определенные трудности возникают при обнаружении двух небольших по размерам дефектов, находящихся рядом или один под другим.

Совместное использование узкополосного фильтра ПАД с высоким разрешением по амплитуде сигнала и математического формализма ДПФ с частотно-временными окнами позволяет эффективно идентифицировать дефекты различного типа, в том числе и образующиеся спаренные дефекты.

Благодарность

Авторы благодарят сварщика ООО «Техноскан» Колыхалова Ю. А. за подготовку образца сварного соединения для проведения исследования.

Работа поддержана грантом РФФИ по договору №19-08-00266/19 от 10.01.2019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сурин, В. И.* Методы электрофизической диагностики и контроля реакторного оборудования / В. И. Сурин, З. С. Волкова, Р. А. Денисов, В. Д. Мотовилин, Н. В. Рейн // Глобальная ядерная безопасность. – № 4(21). – 2016. – С. 51-62.
2. *Surin, V. I.* New potential for potentiometry. *Nuclear Engineering International*. 63 (765). 2018. P. 30-32.
3. *Ferrante J., Smith J.R.* Theory of metallic adhesion. *Physical Review*. B.V.19. 1979. P.3911-3920.
4. *Rose J.H., Ferrante J., Smith J.R.* Universal binding energy curves for metals and bimetallic interfaces. *Physical Review Letters*. V.47. 1981. P.675-678.
5. *Тейбор, Д.* Проблемы трения и смазки / Д. Тейбор. – 1981. – Т.103. – №2. – С. 1-19.
6. *Дроздов, Ю. Н.* Противозадирная стойкость трущихся тел / Ю. Н. Дроздов, В. Г. Арчegov, В. И. Смирнов. – Москва : Наука, 1981. – 139 с.
7. *Баранов, В.М.,* Акустическая эмиссия при трении / В. М. Баранов, Е. М. Кудрявцев, Г. А. Сарычев, В. М. Щавелин. – Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 256 с.
8. *Сурин В. И.* Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов / В. И. Сурин, Н. А. Евстюхин. – Москва : МИФИ, 2008. – 167 с.
9. *Сурин В. И.* Разработка средств и методов обработки сигналов электрофизической диагностики для физико-механических испытаний материалов / В. И. Сурин, А. А. Абу Газал, Е. В. Волошин, Е. Ю. Тельнов, Д. О. Титовец // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2017. – № 4(166). – С. 55-59.
10. *Сурин, В. И.* Частотно-временное представление результатов электрофизического неразрушающего контроля / В. И. Сурин, И. А. Ерофеев, И. С. Крюков, В. И. Савин // VII Международная научная школа-конференция (Современные проблемы физики и технологии) – Москва : НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 207-208.
11. *Сурин, В. И.* Поверхностная потенциометрия металлических материалов при длительных усталостных испытаниях / В. И. Сурин, Т. Н. Зорина, А. Ф. Коротин // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010, Том 2. Нанofизика и нанотехнологии. Фундаментальные проблемы науки. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. – 344 с.
12. *Mallat, S.* A wavelet tour of signal processing. Second Edition. Academic Press, 1999.
13. *Persson, B.N.J.* Contact mechanics for randomly rough surfaces. *Surface Science Reports*. 2006. V.61. P. 201-227.

REFERENCES

- [1] Surin V.I., Volkova Z.S., Denisov R.A., Motovilin V.D., Rein N.V. Metody` e`lektrofizicheskoy diagnostiki i kontrolya reaktornogo oborudovaniya [Methods of Electrophysical Diagnostics and Control of Reactor Equipment]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'*[Global Nuclear Security]. № 4(21). P. 51-62 (in Russian).
- [2] Surin V.I. New Potential for Potentiometry. *Nuclear Engineering International*. 63 (765). 2018. P. 30-32.
- [3] Ferrante J., Smith J.R. Theory of Metallic Adhesion. *Physical Review*. B.V.19. 1979. P.3911-3920.
- [4] Rose J.H., Ferrante J., Smith J.R. Universal Binding Energy Curves for Metals and Bimetallic Interfaces. *Physical Review Letters*. V.47. 1981. P.675-678.
- [5] Tabor D. Problemy` treniya i smazki [Problems of Friction and Lubrication]. 1981. T.103. №2. C. 1-19 (in Russian).
- [6] Drozdov Y.N., Archegov V.G., Smirnov V.I. Protivozadirnaya stojkost` trushhixsya tel [Extreme Pressure Resistance of Rubbing Bodies]. Moskva: Nauka [Moscow: The Science]. 1981. 139 p. (in Russian).

- [7] Baranov V.M., Kudryavtsev E.M., Sarychev G.A., Shovelin V.M. Akusticheskaya e'missiya pri trenii [Acoustic Emission in Friction]. Moskva: E'nergoatomizdat [Moscow: Energoatomizdat]. 1998. 256 p. (in Russian).
- [8] Surin V.I., Evstyukhin N.A. E'lektrofizicheskie metody` nerazrushayushhego kontrolya i issledovaniya reaktorny`x materialov [Electro-physical Methods of Nondestructive Testing and Research of Reactor Materials]. Moskva: MIFI [Moscow: MEPhI]. 2008. 167 p. (in Russian).
- [9] Surin V.I., Abu ghazal A.A., Voloshin E.V., Telnov E.Yu., Titovets D.O. Razrabotka sredstv i metodov obrabotki signalov e'lektrofizicheskoy diagnostiki dlya fiziko-mexanicheskix ispy'tanij materialov [Development of Means and Methods of Processing of Electrophysical Diagnostics Signals for Physical and Mechanical Tests of Materials]. Informacionny'e tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve [Information technologies in design and production]. Moskva: FGUP VIMI [Moscow: FSUE VIMI]. 2017. №4 (166). P.55-59 (in Russian).
- [10] Surin V.I., Erofeev A.I., Kryukov I.S., Savin, V.I. Chastotno-vremennoe predstavlenie rezul'tatov e'lektrofizicheskogo nerazrushayushhego kontrolya [Time-Frequency Representation of the Results of Non-Destructive Control of Electrophysical] VII Mezhdunarodnaya nauchnaya shkola-konferenciya (Sovremennyy'e problemy` fiziki i tekhnologii) [VII International Scientific School-Conference (Modern Problems of Physics and Technology)]. Moskva: MIFI [Moscow: MEPhI]. 2018. P.207-208 (in Russian).
- [11] Surin V.I., Zorina T.N., Korotin A.F. Poverxnostnaya potentsiometriya metallicheskih materialov pri dlitel'ny`x ustalostny`x ispy'taniyax [Surface Potentiometry of Metal Materials during Long-Term Fatigue Tests]. Nauchnaya sessiya NIYaU MIFI-2010. Tom 2. Nanofizika i nanotekhnologii. Fundamental'ny'e problemy` nauki [Scientific Session of MEPhI-2010. Volume 2. Nanophysics and Nanotechnologies. Fundamental Problems of Science]. Moskva: MIFI [Moscow: MEPhI]. 2010. 344 p. (in Russian).
- [12] Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing. Second Edition. Academic Press. 1999.
- [13] Persson B.N.J. Contact Mechanics for Randomly Rough Surfaces. Surface Science Reports. 2006. V.61. P. 201-227.

Detection of Welded Joint Defects by Scanning Contact Potentiometry

A.I. Alwaheba^{*1}, V.I. Surin^{*2}, T.E. Ivanova^{3}, O.V. Ivanov^{**4},
V.G. Beketov^{***5}, V.A. Goshkoderov^{*6}**

^{*}National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409

^{**}Tekhnoskan Company, Chernikov str., 2, building 31, sq. 162, Volgodonsk, Russia 347375

^{***}VETI NRNU MEPhI, Lenin street, 73/94. Volgodonsk, Russia 347360

¹ORCID iD: 0000-0002-9964-9146

e-mail: anas.kloub@jaec.gov.jo

²ORCID iD: 0000-0001-6153-0206

e-mail: visconst@rambler.ru

³ORCID iD: 0000-0003-0517-8898

e-mail: tehnoskan@mail.ru

⁴ORCID iD: 0000-0001-5302-8988

e-mail: iovoi@mail.ru

⁵ORCID iD: 0000-0003-0242-6745

e-mail: VGBeketov@mephi.ru

⁶ORCID iD: 0000-0002-5526-6290

e-mail: vovagosh@mail.ru

Abstract – Scanning contact potentiometry (SCP) is used for defects detection and for determine the coordinates of the defects localized in welded joints. Studied samples are welded by manual arc welding of two halves austenitic steel 321H (Chromium-Nickel-titanium stainless Steel) dimension of each 200×110×13.5 mm. Thereafter welding, seam width is about 12 mm. Subsequently welded sample is inspected using X-ray radiographic testing system. In order to compare techniques capabilities, plotted potentiograms and weld radiograph are compared. Experimental outcomes prove that defects can be detected by SCP technique. SCP results are complied with mathematical signal analysis of defects. This method may substitute some destructive or nondestructive methods.

Keywords: Scanning contact potentiometry, nondestructive testing, welded joints, X-ray radiographic testing, Signal discrete transformation, Chromium-Nickel-titanium stainless Steel.

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 539.3

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИЗГИБА УПРУГИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ
ПЛАСТИН, ШАРНИРНО ОПЕРТЫХ ПО ПЕРИМЕТРУ ИЛИ
ЗАЩЕМЛЕННЫХ ПО ДВУМ СМЕЖНЫМ СТОРОНАМ**

© 2020 А.С. Кравчук*, А.И. Кравчук**, С.А. Томилини***, С.Ф. Годунов***

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

**Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

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

Все возрастающие требования к безопасности объектов ядерной энергетики выдвигают требования по совершенствованию методов расчета элементов инженерных конструкций и энергетического оборудования на прочность и жесткость. Впервые теория чистого изгиба прямоугольных пластин, шарнирно опертых в угловых точках, обобщена на случай их изгиба как при шарнирном опирании пластин по периметру, так и защемлении прямоугольной пластины по двум смежным сторонам. Следует отметить, что полученная система уравнений равновесия не позволяет удовлетворить уравнения равновесия точно, а только в смысле среднего интегрального значения. Однако авторам представляется этот метод решения задачи прогиба гораздо более математически и физически обоснованным по сравнению с использованием гипотез Кирхгофа, которые приводят к противоречиям, когда нулевые перерезывающие силы предполагаются ненулевыми, только для того, чтобы получить уравнение равновесия. Предлагаемый подход позволяет оценить прогибы пластины в случае, когда главный вектор сил, приложенных к пластине, можно приложить к ее геометрическому центру. В статье указаны условия на распределение поперечной нагрузки, при которых можно считать, что главный вектор сил можно приложить к геометрическому центру пластины. В качестве примеров решены задачи прогиба прямоугольной пластины под собственным весом как при шарнирном опирании по периметру, так и при защемлении по двум смежным сторонам.

Ключевые слова: прямоугольная пластина, чистый изгиб, распределенная нагрузка, техническая теория изгиба, напряженно-деформированное состояние, жесткость.

Поступила в редакцию 25.10.2019

После доработки 23.03.2020

Принята к публикации 27.03.2020

Введение

Одним из главных вопросов при проектировании и строительстве объектов ядерной энергетики является обеспечение их безопасности. Решение этого вопроса во многом определяется прочностью и жесткостью конструкций, как основного и вспомогательного оборудования, так и сооружений. Прочность и жесткость – главные свойства любой конструкции, обеспечивающие ее нормальное функционирование, а также безопасность путем сохранения не только целостности, но, во многих случаях, и геометрической формы. Качество решения задач, с помощью которых вычисляется напряженно-деформированное состояние и жесткость элементов, как строительных конструкций, так и оборудования ядерных энергетических установок напрямую определяет безопасность и надежность эксплуатации АЭС и других объектов ядерной энергетики в целом. Все возрастающие требования к безопасности объектов ядерной

энергетики выдвигают требования по совершенствованию методов расчета элементов инженерных конструкций и энергетического оборудования.

Одним из распространенных видов нагружения тонкостенных элементов конструкций в энергетическом строительстве и машиностроении является изгиб. Рассматриваемое направление в механике имеет огромное практическое значение [1-3]. Множество работ посвящено решению задачи изгиба конструкций вообще [4, 5] и, в частности, пластин [6-9]. Однако следует отметить, что до настоящего времени не было создано непротиворечивой теории изгиба прямоугольных пластин, шарнирно закрепленных по периметру поперечной нагрузкой. Известные теории, которые до настоящего времени считаются «классическими», при ближайшем рассмотрении являются некорректными с математической и физической точек зрения [10]. В основном они основаны на гипотезах Кирхгофа, и при составлении уравнений равновесия в ряде этих теорий нулевые по исходным предположениям перерезывающие силы (равные произведению ненулевого модуля сдвига на интеграл от нулевого значения сдвига по постановке задачи), буквально через страницу уже предполагаются ненулевыми с тем обоснованием, что «иначе уравнение изгиба вывести не получится» [10, 11].

Это излагается во всех учебниках по теории упругости, где затрагивается тема изгиба пластин. Отметим, что еще со времен Тимошенко С.П. делались попытки несколько смягчить предположение об отсутствии сдвигов, для того, чтобы перерезывающие силы стали ненулевыми. Однако это приводит к тому, что из-за свойства парности касательных напряжений на поверхности пластины при подобном подходе действуют не только нормальные к поверхности пластины нагрузки, но и касательные напряжения, что также напрямую противоречит исходной постановке задачи.

Авторам данной статьи представляется более перспективным обобщить известную теории чистого изгиба пластин, сформулированную С.П. Тимошенко [12]. Обобщение состоит в том, что при составлении уравнений равновесия будет использоваться среднеинтегральные значения главных кривизн изогнутой пластины.

Хотя предлагаемая методика также не позволяет математически точно решить поставленную задачу, однако она, тем не менее, хотя бы позволяет без математических и физических противоречий оценить прогибы пластины по величине главного вектора сил, приложенных к пластине. Эта оценка справедлива, если главный вектор сил приложен в центре пластины. Для установления этого факта авторами предложено определять раздельно эквивалентные изгибающие моменты от распределенной нагрузки на каждой из половин пластины. Если эквивалентные моменты на каждом из краев совпадают, то можно считать, что главный вектор сил приложен к центру пластины.

Основные гипотезы, используемые в модели чистого изгиба прямоугольной пластины постоянной толщины

При построении обобщенной технической теории чистого изгиба прямоугольную пластину постоянной толщины можно разделить на элементарные слои (рис. 1). Будем предполагать, что продольные слои в пластине не взаимодействуют в поперечном направлении.

Главные моменты, приложенные к краям пластины обозначим через M_x и M_y . Они действуют в плоскостях xOz и yOz соответственно. Интенсивности главных моментов M_x/a и M_y/b – величины постоянные и равномерно распределенные по соответствующим сторонам пластины.

Пусть пластина имеет ширину a (вдоль направления Ox), длину b (вдоль направления Oy), а также постоянную высоту h . Это значит, что при нагруженных моментами постоянной интенсивности отклонения в высоте поперечного сечения малы по сравнению с радиусами кривизны пластины и не вносят существенную поправку в определение его напряженно-деформированного состояния. Будем предполагать, что у прямоугольной пластины постоянной толщины при чистом изгибе существует нейтральный слой – слой, длина которого не изменяется при изгибе. Предполагается, что пластину можно условно разделить на слои с постоянной толщиной λ (рис. 1).

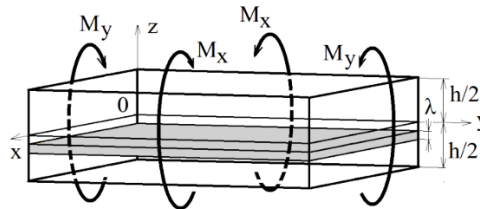


Рисунок 1 – Чистый изгиб прямоугольной пластины постоянной толщины [Pure bending of a rectangular plate of constant thickness]

Следуя монографии С.П. Тимошенко [12], исходя из очевидных рассуждений о геометрическом подобии продольных размеров элементарных слоев размерам нейтрального слоя, можно установить, что нормальные деформации элементарного слоя ε_x , ε_y относительно геометрического положения нейтрального слоя распределены следующим образом [12] (1):

$$\varepsilon_x = \frac{z - \delta}{\rho_x}, \quad \varepsilon_y = \frac{z - \delta}{\rho_y}, \quad (1)$$

где δ – координата нейтрального слоя относительно геометрической середины пластины; ρ_x , ρ_y – радиусы кривизны нейтрального слоя в плоскостях xOz и yOz соответственно.

Учитывая, что пластина изгибается приложенными по прямоугольным краям моментами с постоянной интенсивностью и действующими во взаимно перпендикулярных плоскостях xOz и yOz , для плоского напряженного состояния (т.е. $\sigma_z = 0$) можно получить, с учетом гипотез о полном отсутствии сдвигов ($\gamma_{xy} = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$), следующие уравнения для нормальных напряжений σ_x , σ_y [12, 13]:

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} (\varepsilon_x + \nu \cdot \varepsilon_y), \quad \sigma_y = \frac{E}{1 - \nu^2} (\varepsilon_y + \nu \cdot \varepsilon_x),$$

где E – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона.

Очевидно, что с учетом (1) для однородного линейно-упругого материала можно записать (2):

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} \left(\frac{1}{\rho_x} + \nu \cdot \frac{1}{\rho_y} \right) \cdot (z - \delta), \quad (2)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{1}{\rho_y} + \nu \cdot \frac{1}{\rho_x} \right) \cdot (z - \delta).$$

Исходя из того, что касательные напряжения по нашему предположению отсутствуют, нам необходимо удовлетворить четыре уравнения равновесия [12] (3):

$$\begin{aligned} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^b \sigma_x dy dz &= 0, & \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^a \sigma_y dx dz &= 0, \\ \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^b (\sigma_x \cdot z) dy dz &= M_x, & \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^a (\sigma_y \cdot z) dx dz &= M_y. \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнения обобщенной теории чистого изгиба

Будем предполагать, что параметры σ_x , σ_y , ε_x , ε_y , ρ_x , ρ_y , являются функциями от двух координат x и y , для которых выполнены следующие уравнения:

$$\varepsilon_x(x, y) = \frac{z - \delta}{\rho_x(x, y)}, \quad \varepsilon_y(x, y) = \frac{z - \delta}{\rho_y(x, y)},$$

где в дальнейшем будем обозначать $\rho_x(x, y)^{-1} = \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2}$, $\rho_y(x, y)^{-1} = \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2}$, а

$w(x, y)$ – прогибы пластины.

Тогда, исходя из закона Гука для плоского напряженного состояния (4):

$$\begin{aligned} \sigma_x(x, y) &= \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \right) \cdot (z - \delta), \\ \sigma_y(x, y) &= \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} \right) \cdot (z - \delta). \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда уравнения равновесия для главных моментов M_x , M_y примут вид (5):

$$\begin{aligned} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^b \sigma_x(x, y) dy dz &= 0, & \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^a \sigma_y(x, y) dx dz &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^b (\sigma_x(x, y) \cdot z) dy dz = M_x, \quad \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^a (\sigma_y(x, y) \cdot z) dx dz = M_y.$$

Подставляем (4) в (5) и получаем (6):

$$\begin{aligned} \int_0^b \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \right) dy \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (z - \delta) dz &= 0, \\ \int_0^a \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} \right) dx \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (z - \delta) dz &= 0, \\ \int_0^b \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \right) dy \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (z - \delta) \cdot z dz &= M_x \frac{1 - \nu^2}{E}, \\ \int_0^a \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} \right) dx \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (z - \delta) \cdot z dz &= M_y \frac{1 - \nu^2}{E}. \end{aligned} \quad (6)$$

Очевидно, что первые два уравнения системы (6) удовлетворяются автоматически при $\delta = 0$. Отметим, что последние два уравнения системы (6) разрешимы только когда $\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2}$ и $\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2}$ являются константами.

Однако систему из этих уравнений можно разрешить в смысле среднеинтегральных значений $\iint_{00}^{ab} \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} dy dx$ и $\iint_{00}^{ab} \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} dy dx$. Проинтегрируем первое уравнение на интервале $[0, a]$ по x , а второе уравнение на интервале $[0, b]$ по y .

В результате получим (7):

$$\begin{aligned} \left(\iint_{00}^{ab} \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} dy dx + \nu \cdot \iint_{00}^{ab} \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} dy dx \right) &= 12 \cdot \frac{a}{h^3} \cdot M_x \frac{1 - \nu^2}{E}, \\ \left(\iint_{00}^{ba} \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} dx dy + \nu \cdot \iint_{00}^{ba} \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} dx dy \right) &= 12 \cdot \frac{b}{h^3} \cdot M_y \frac{1 - \nu^2}{E}. \end{aligned} \quad (7)$$

Систему уравнений (7) будем называть уравнениями равновесия обобщенной теории чистого изгиба (т.е. теории в смысле среднеинтегральных значений).

Безусловно, система уравнений (7) не позволяет точно удовлетворить уравнения равновесия, а только в смысле среднего интегрального значения, но авторам

представляется этот метод решения задачи прогиба гораздо более математически и физически обоснованным по сравнению с использованием гипотез Кирхгофа [14], которые приводят к противоречиям, когда нулевые перерезывающие силы предполагаются ненулевыми [10] только для того чтобы получить уравнение равновесия.

Решая (7), можно получить (8):

$$\int_0^b \int_0^a \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} dy dx = 12 \cdot \frac{ab}{E \cdot h^3} \left(\frac{M_x}{b} - \nu \cdot \frac{M_y}{a} \right), \quad (8)$$

$$\int_0^b \int_0^a \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} dy dx = 12 \cdot \frac{ab}{E \cdot h^3} \left(\frac{M_y}{b} - \nu \cdot \frac{M_x}{a} \right).$$

Обобщенный чистый изгиб вязкоупругой пластины в случае шарнирно закрепленных сторон

Система уравнений (8) позволяет поставить и решить задачу чистого изгиба также для пластин, шарнирно закрепленных по периметру.

Пусть $w(x, y)$ будет иметь вид (9):

$$w(x, y) = C \cdot x \cdot (x - a) \cdot y \cdot (y - b). \quad (9)$$

Подставляя (9) в (8), можно получить два уравнения для определения константы C (10):

$$C = -\frac{36}{E \cdot h^3 \cdot b^2} \left(\frac{M_x}{b} - \nu \frac{M_y}{a} \right), \quad (10)$$

$$C = -\frac{36}{E \cdot h^3 \cdot a^2} \left(\frac{M_y}{a} - \nu \frac{M_x}{b} \right).$$

Из этой системы следует, что в случае шарнирного опирания пластины по сторонам (9) главные моменты, действующие на сторонах, должны быть связаны уравнением:

$$\frac{a^2 + \nu \cdot b^2}{a^2 \cdot b^3} M_x = \frac{b^2 + \nu \cdot a^2}{a^3 \cdot b^2} M_y.$$

Таким образом, для того, чтобы шарнирно опертая пластина находилась в состоянии обобщенного чистого изгиба в смысле уравнений (8) достаточно, чтобы эквивалентные моменты, приложенные по сторонам, находились в отношении (11):

$$M_x = \frac{b^2 + \nu \cdot a^2}{a^2 + \nu \cdot b^2} \cdot \frac{b}{a} \cdot M_y. \quad (11)$$

Замена поперечной распределенной нагрузки эквивалентными моментами

Пусть поперек пластины, шарнирно закрепленной по сторонам на ее верхней поверхности, действует внешняя распределенная нагрузка с интенсивностью

$q(x, y) < 0$. Будем предполагать, что нагрузка распределена по участку S поверхности пластины $q(x, y) \neq 0$ при $(x, y) \in S$ и $q(x, y) = 0$ при $(x, y) \in [0, a] \times [0, b] \setminus S$ (т.е. (x, y) принадлежит дополнению S до прямоугольника $[0, a] \times [0, b]$, занятого пластиной). Будем предполагать, что выполнены два условия симметрии, создаваемых нагрузкой $q(x, y)$ моментов относительно середины пластины (12):

$$\int_0^{a/2} \int_0^b q(x, y) \cdot \left(x - \frac{a}{2}\right) dx dy = - \int_{a/2}^a \int_0^b q(x, y) \cdot \left(x - \frac{a}{2}\right) dx dy, \quad (12)$$

$$\int_0^a \int_0^{b/2} q(x, y) \cdot \left(y - \frac{b}{2}\right) dx dy = - \int_0^a \int_{b/2}^b q(x, y) \cdot \left(y - \frac{b}{2}\right) dx dy.$$

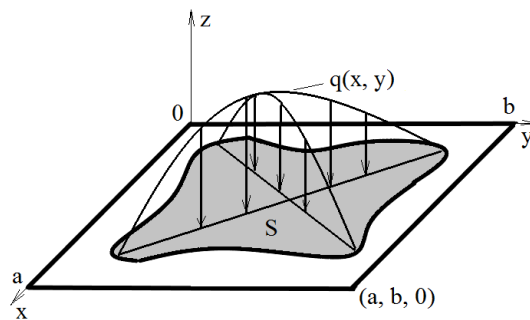


Рисунок 2 – Действие распределенной поперечной нагрузки $q(x, y)$ на поверхность пластины
[The effect of distributed lateral load $q(x, y)$ on the plate surface]

Будем считать, что при выполнении условий (12) главный вектор сил величиной Q (от действующей поперечной нагрузки $q(x, y)$) может быть приложен в центре пластины. Соответственно предполагается, что интенсивность вертикальной реакции при опоре по периметру равна $Q/(2 \cdot (a + b))$.

Предполагая, что моменты, действующие в плоскостях xOz и yOz , равноправны (т.е. каждый компенсирует половину величины главного вектора сил), то должно выполняться уравнение равновесия:

$$Q = 2 \cdot \frac{M_y}{a} + 2 \cdot \frac{M_x}{b}.$$

С учетом (11) можно получить (13):

$$Q = 2 \cdot (1 + \nu) \left(\frac{a^2 + b^2}{a^2 + \nu \cdot b^2} \right) \cdot \frac{M_y}{a}. \quad (13)$$

Складывая два уравнения (10), используя равенства (11) и (13), можно получить:

$$C = - \frac{18}{E \cdot h^3} \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)} \frac{Q}{(a^2 + b^2)}.$$

Таким образом, окончательно изгиб прямоугольной пластины, находящейся в состоянии чистого изгиба, любой распределенной нагрузкой с главным вектором сил величиной Q , приложенным в центре пластины и направленным вертикально вниз, можно определить как:

$$w(x, y) = -\frac{18}{E \cdot h^3} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)} \left(\frac{Q}{a^2 + b^2} \right) \cdot x \cdot (x-a) \cdot y \cdot (y-b).$$

Так, например, прогиб прямоугольной пластины под действием собственного веса составляет:

$$w(x, y) = -\frac{18}{E \cdot h^2} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)} \left(\frac{a \cdot b}{a^2 + b^2} \right) g \cdot \rho \cdot x \cdot (x-a) \cdot y \cdot (y-b).$$

Обобщенный чистый изгиб прямоугольной пластины, защемленной по двум соседним сторонам

Пусть, как и ранее, главный вектор Q сил распределенной нагрузки приложен к центру прямоугольной пластины размерами $a \times b$. В этом случае предполагается, что интенсивность вертикальной реакции при опоре по двум смежным сторонам равна $Q/(a+b)$.

Перемещения пластины можно представить в виде:

$$w(x, y) = -\frac{18}{E \cdot h^3} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)} \left(\frac{Q}{a^2 + b^2} \right) \cdot x^2 \cdot y^2.$$

Провисание же защемленной по двум сторонам пластины под собственным весом можно определить как:

$$w(x, y) = -\frac{18}{E \cdot h^2} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)} \left(\frac{a \cdot b}{a^2 + b^2} \right) \cdot g \cdot \rho \cdot x^2 \cdot y^2.$$

Результаты и выводы

Впервые предложено обобщение решения задачи чистого изгиба пластины, закрепленной в угловых точках на случай прямоугольной пластины, шарнирно опертой по периметру.

С помощью предлагаемой методики впервые решена задача изгиба распределенной нагрузкой пластины, защемленной по двум смежным сторонам.

В качестве примеров решены задачи прогиба прямоугольной пластины под собственным весом, как при шарнирном опирании по периметру, так и при защемлении по двум смежным сторонам.

Применение предлагаемой методики обеспечивает повышение качества расчета напряженно-деформированного состояния и жесткости элементов строительных конструкций и оборудования объектов ядерной энергетики, что напрямую определяет их безопасность и надежность эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольмир А. С. Гибкие пластинки и оболочки / А. С. Вольмир. – Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 419 с.
2. Бидерман, В. Л. Механика тонкостенных конструкций. Статика / В. Л. Бидерман. – Москва : Машиностроение, 1977. – 488 с.

3. Кравчук, А. С. К вопросу об обоснованной форме наследственной вязкоупругости с одним ядром ползучести / А. С. Кравчук, А. И. Кравчук // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 4 (33). – С. 37-42.
4. Овчинников Н. А. Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния элементов поперечных силовых сечений кузова автобуса в эксплуатации / Н. А. Овчинников // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2. – URL : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1614> (дата обращения: 01.11.2019).
5. Фурсов, В. В. Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований натурной арки из клееной древесины / В. В. Фурсов, М. Пурязданхах, А. Н. Бидаков // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2. – URL : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2395> (дата обращения: 01.11.2019)
6. Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
7. Shen H.S. Functionally Graded Materials: Nonlinear Analysis of Plates and Shells. – CRC Press, 2009. – 280 p.
8. Rahbar-Ranji A., Bahmyari E. Bending Analysis of Thin Plates with Variable Thickness Resting on Elastic Foundation by Element Free Galerkin Method. Journal of Mechanics, 2012, V. 28, Issue 3. P. 479-488. DOI: <https://doi.org/10.1017/jmech.2012.57>.
9. Кравчук, А. С. Чистый изгиб наследственно вязкоупругопластических прямоугольных пластин / А. С. Кравчук, А. И. Кравчук, С. А. Томилин, С. Ф. Годунов // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9. – URL : [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6170](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6170) (дата обращения: 01.11.2019)
10. Ермоленко, А. В. Расчет круглых пластин по уточненным теориям / А. В. Ермоленко // Вестник Сыктывкарского университета. – Сер. 1. – Вып. 6. – 2006. – С. 79-86.
11. Саченков, А. А. Цикл лекций по теории изгиба пластин. – Казань : КФУ, 2012. – 54 с. – URL : https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/21525/05_37_2012_000045.pdf (дата обращения: 10.10.2019)
12. Тимошенко, С. П. Пластинки и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – Москва : Наука, 1966. – 636 с.
13. Жемочкин, Б. Н. Теория упругости / Б. Н. Жемочкин. – Москва : Гостройиздат, 1957. – 257 с.
14. Журавков, М. А. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2011. – 543 с.

REFERENCES

- [1] Volmir A.S. Gибкие пластинки и оболочки [Flexible Plates and Shells]. Moskva: Gosudarstvennoe izdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoy literatury' [Moscow: State Publishing House of Technical and Theoretical Literature]. 1956. 419 p.
- [2] Biderman V.L. Mexanika tonkostenny'x konstrukcij. Statika [Mechanics of Thin-Walled Structures. Statika]. Moskva: Mashinostroenie [Moscow: Mashinostroenie]. 1977. 488 p.
- [3] Kravchuk A.S., Kravchuk A.I. K voprosu ob obosnovannoj forme nasledstvennoj vyazkouprugosti s odnim yadrom polzuchesti [The issue of Reasonable Form of Hereditary Viscoelasticity with Single Creep Core]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. N4(33). P. 37-42.
- [4] Ovchinnikov N.A. Konechno-e'lementny'j analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya e'lementov poperechny'x silovy'x sechenij kuzova avtobusa v e'kspluatcii [Finite Element Analysis of the Stress-Strain State of Elements of Cross-Sections of the Bus Body in Operation]. Inzhenerny'j vestnik Dona [Engineering Bulletin of Don]. 2013. N2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1614> (01.11.2019).
- [5] Fursov V.V., Puryazdankhakh M., Bidakov A.N. Sravnitel'ny'j analiz rezul'tatov teoreticheskix i e'ksperimental'ny'x issledovaniy naturnoj arki iz kleenoy drevesiny' [Comparative Analysis of the Results of Theoretical and Experimental Studies of Natural Arches Made of Glued Wood]. Inzhenerny'j vestnik Dona [Don engineering Bulletin]. 2014. N2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2395> (01.11.2019).
- [6] Gorshkov A.G., Starovoitov E.I., Yarovaya A.V. Mexanika sloisty'x vyazkouprugoplasticheskix e'lementov konstrukcij [Mechanics of Layered Viscoelastic Structural Elements]. Moskva: FIZMATLIT [Moscow: FIZMATLIT]. 2005. 576 p.
- [7] Shen H.S. Functionally Graded Materials: Nonlinear Analysis of Plates and Shells. CRC Press. 2009. 280 p.
- [8] Rahbar-Ranji A., Bahmyari E. Analysis of Thin Plates with Variable Thickness Resting on Elastic Foundation by Element Free Galerkin Method [Bending Analysis of Thin Plates with Variable Thickness Resting on Elastic Foundation by Element Free Galerkin Method]. Journal of Mechanics

- [Journal of Mechanics]. 2012. V. 28. Issue 3. P. 479-488. DOI: <https://doi.org/10.1017/jmech.2012.57>.
- [9] Kravchuk A.S., Kravchuk A.I., Tomilin S.A., Godunov S.F. Chisty'j izgib nasledstvenno vyazkouprugoplasticheskix pryamougol'ny'x plastin [Pure Bending of Inherently Viscoelastic Rectangular Plates]. Inzhenerny'j vestnik Dona [Don Engineering Bulletin]. 2019. N9. URL: ivdon.ru/magazine/archive/N9y2019/6170 (01.11.2019).
- [10] Ermolenko A.V. Raschet krugly'x plastin po utochnenny'm teoriyam [Calculation of Round Plates Based on Refined Theories]. Vestnik Sy'kty'vkarskogo universiteta [Bulletin of Syktyvkar University]. Ser. 1. Issue 6. 2006. P. 79-86.
- [11] Sachenkov A.A. Cikli lekcij po teorii izgiba plastin [Lectures on the Theory of Plate Bending]. – Kazan': KFU [Kazan: KFU]. 2012. 54 p. URL: https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/21525/05_37_2012_000045.pdf (10.10.2019).
- [12] Timoshenko S.P., Voynovsky-Krieger S. Plastinki i obolochki [Plates and Shells]. Moskva: Nauka [Moscow: Nauka]. 1966. 636 p.
- [13] Zhemochkin B.N. Teoriya uprugosti [Theory of elasticity]. Moskva: Gostroizdat [Moscow: Gostroizdat]. 1957. 257 p.
- [14] Zhuravkov M.A., Starovoitov E.I. Mexanika sploshny'x sred. Teoriya uprugosti i plastichnosti [Mechanics of Continuous Media. Theory of Elasticity and Plasticity]. Minsk: BGU [Minsk: BSU]. 2011. 543 p.

Technical Theory of Bending of Elastic Rectangular Plate Pivotaly Supported on the Perimeter or Pinched Along Two Adjacent Sides

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

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

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

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

¹ORCID iD: 0000-0002-4730-7769

Wos Researcher ID: AAB-7774-2019

e-mail: ask_belarus@inbox.ru

²ORCID iD: 0000-0002-6105-4200

Wos Researcher ID: AAB-7880-2019

e-mail: anzhelika.kravchuk@gmail.com

³ORCID iD: 0000-0001-8661-8386

Wos Researcher ID: G-3465-2017

e-mail: SATomilin@mephi.ru

Abstract – There is a need to improve methods for calculating elements of engineering structures and equipment for strength and stiffness, which directly affects the safety of nuclear power facilities. For the first time the theory of pure bending of rectangular plates pivotally supported at corner points is generalized to the case of their bending both when the plates are hinged around the perimeter and when a rectangular plate is pinched on two adjacent sides. It should be noted that the obtained system of equilibrium equations does not allow satisfying the equilibrium equations exactly, but only in the sense of the average integral value. However, the authors think this method of solving the deflection problem is much more mathematically and physically justified in comparison with the use of Kirchhoff hypotheses, which lead to contradictions when zero shear forces are assumed to be nonzero, only in order to obtain a deliberately equilibrium equation. The proposed approach allows us to evaluate the deflection of the plate in the case when the main vector of forces applied to the plate can be applied to its geometric center. The article indicates the conditions for the distribution of the transverse load under which it can be assumed that the main vector of forces can be applied to the geometric center of the plate. As examples, the problems of deflection of a rectangular plate under its own weight have been solved both when hinged around the perimeter and when pinched on two adjacent sides.

Keywords: rectangular plate, pure bending, distributed load, technical theory of bending, stress-strain state, stiffness.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.039.54

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
ПОГЛОТИТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ РЕАКТОРА ВВЭР–1000 В РЕЖИМЕ
МАНЕВРИРОВАНИЯ**

© 2020 С.К. Анисур Рахман, М.А. Увакин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В работе исследуется изменение нейтронно-физических свойств поглощающих материалов, применяемых в органах регулирования РУ ВВЭР с учетом маневренных режимов. Основным из таких материалов является карбид бора. В случае продолжительного применения режимов суточного маневрирования мощностью концентрация основного поглощающего элемента – бора – будет существенно снижаться. Это может приводить к изменению эффективности органов регулирования, что будет влиять как на алгоритмы маневрирования, так и на эффективность всей аварийной защиты. В работе приведены оценки снижения эффективности органов регулирования, а также исследован ряд других материалов, для которых такой эффект существенно снижается. Расчеты выполнялись на уровне моделей ТВС при помощи программных кодов GETERA, WIMS и SERPENT.

Ключевые слова: карбид бора, нейтрон, сечение поглотителя, эффективность, ВВЭР-1000, стержень управления, маневрирование, реактор, GETERA, WIMS и SERPENT.

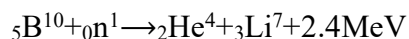
Поступила в редакцию 02.12.2019

После доработки 13.12.2019

Принята к публикации 25.12.2019

Introduction

The main requirement associated with the development and operation of nuclear reactors is the control and containment of neutrons that sustain, and are also produced during fission reaction. Boron is one of the few elements to possess nuclear properties, which proves its consideration as neutron absorber material. Boron and its compounds boric acid, boron carbide, rare-earth etc. Boron has two principal isotopes, ^{10}B and ^{11}B the effectiveness of boron as neutron absorber is due to the high absorption cross-sections. The thermal neutron absorption cross-section for ^{10}B and ^{11}B are 3837 barns and 0.005 barns respectively. The neutron absorption of natural boron-containing 20% ^{10}B is sufficiently high $\sim (4000 \text{ barns})$ in the low neutron energy range to make it an excellent candidate for use in WWER reactors. In addition to a high absorption cross-section, boron has another advantage over other potential neutron absorber materials. The reaction products, helium and lithium are formed as stable, non-radioactive isotopes. As they do not emit nuclear radiation, decay heating problems during reactor shutdowns and transfer of depleted control rods are minimal. The (n, α) reaction

**Short description of using program GETERA-93, WIMS-D/4 and SERPENT**

The GETERA-93 program can be used to solve a wide range of tasks, both research and applied. With its help, it is possible to study the neutron-physical characteristics of the reactors at the cell and poly cell level. The algorithm for the multiplicity of the cell makes it possible to simulate sufficiently large fragments of the reactor on a small number of cells. In addition to calculations of the fragments of the reactor, the built-in algorithms allow modeling

the burnup processes in the reactor and calculating the characteristics of fuel cycles: for example, the coarse fuel burnup in reactors with cyclic and in reactors with continuous fuel overload.

On the other hand, WIMS – the Winfrith improved multigroup scheme is a general code for reactor lattice cell calculation on a wide range of reactor systems. In particular, the code will accept rod or plate fuel geometries in either regular arrays or in clusters and the energy group structure has been chosen primarily for thermal calculations. The basic library has been compiled with 14 fast groups, 13 resonance groups, and 42 thermal groups, but the user is offered the choice of accurate solutions in many groups or rapid calculations in few groups. Temperature-dependent thermal scattering matrices for a variety of scattering laws are included in the library for the principal moderators which include hydrogen, deuterium, graphite, beryllium, and oxygen. The treatment of resonances is based on the use of equivalence theorems with a library of accurately evaluated resonance integrals for equivalent homogeneous systems at a variety of temperatures. The collision theory procedure gives accurate spectrum computations in the 69 groups of the library for the principal regions of the lattice using a simplified geometric representation of complicated lattice cells. The computed spectra are then used for the condensation of cross-sections to the number of groups selected for the solution of the transport equation in detailed geometry. The solution of the transport equation is provided either by the use of the Carlson DSN method or by collision probability methods. Leakage calculations including an allowance for streaming asymmetries may be made using either diffusion theory or the more elaborate B1-method. The output of the code provides eigenvalues for the cases where a simple buckling mode is applicable or cell-averaged parameters for use in overall reactor calculations. Various reaction rate edits are provided for direct comparison with experimental measurements.

Isotope ^{238}U is described in the library by the recommended nuclide 2238 and has three versions with different tables of resonance parameters – 2238.2, 2238.3, 2238.4. Resonance tables 2238.2 were obtained from the UKNDL files, which are close to the corresponding ENDF / B-4 data. Correction of this nuclide by the authors in the direction of decreasing the resonant integral uniformly in all groups outside the connection with the files of the estimated data led to the nuclide 2238.4. Calculations with its use gave more satisfactory results on the criticality of experimental assemblies. In the library, there are two versions of the resonance tables of the ^{235}U - 235.2 and 235.4 isotopes. The authors recommend using nuclide 235.4.

Source of nuclide 235.2 is the UKNDL estimated data system. Nuclide 235.4 differs from the nuclide 235.2 by a correction toward a decrease in the fission source in the resonant groups by ~ 15%.

The SERPENT – Serpent code is written in standard ANSI-C language. The code is mainly developed in the Linux operator system, but it has also been compiled and tested in MAC OS X and some UNIX machines. The Monte Carlo method is a computing-intensive calculation technique and raw computing power has a direct impact on the overall calculation time.

Serpent was originally developed to be a simplified neutron transport code for reactor physics application. The burnup calculation capability for the reactor was included. In present time Serpent is used in a wide range of applications from the group constant generation to coupled multi-physics application.

Description of the calculation model:

Active zone of the WWER-1000 contains 163 fuel assemblies. Every fuel assembly contains 312 fuel rods. These 312 fuel rods are divided in four types Figure 1a. 1) Fuel rod (UO_2). 2) Fuel with gadolinium rod (UO_2+Gd). 3) Guide channel. 4) Central tube. Absorber materials (B, Dy, Ag etc) are put through the guide channel Figure 1b. In this calculation model only calculated two dimensional cells without any height and compare the

characteristics of Boron with Dysprosium, Silver etc. Fuel composition, which is used in the calculation of reactor cell by the programs (GETERA, WIMS and SERPENT) shown in the table 1.

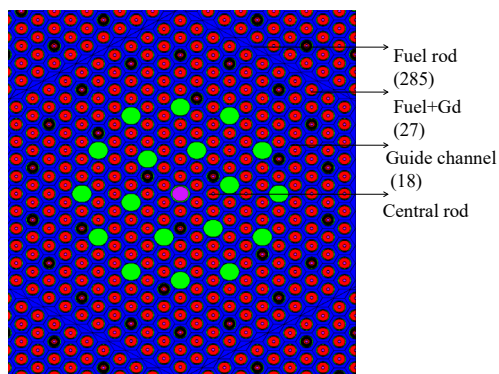


Figure 1a: Fuel assembly

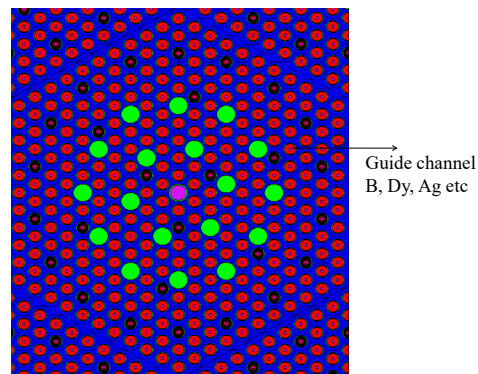


Figure 1b: Fuel assembly with absorber element

Table 1 – Fuel composition

Parameter Name	Value
Fuel enrichment ^{235}U , вес. %	4.95
The number of fuel rods, material, internal and external diameter of the cladding of the fuel rod accordingly	285, Alloy E110, $7.80 \cdot 10^{-3}$ m, $9.10 \cdot 10^{-3}$ m
Number of teigs (fuel+Gd), material, internal and external diameter of the cladding of the teigs (fuel+ Gd) rod accordingly	27, Alloy E110, $7.80 \cdot 10^{-3}$ m, $9.10 \cdot 10^{-3}$ m
The internal diameter of the cladding of a fuel rod / teg (Fuel+Gd)	$7.93 \cdot 10^{-3}$ m
Fuel enrichment of teigs, ^{235}U , вес. %	4.0
Content Gd_2O_3 , вес. %	8
Lattice pitch of fuel elements,	$12.75 \cdot 10^{-3}$ m
Guide channel: Its materials, internal and external diameter accordingly	Alloy E635, $13.0 \cdot 10^{-3}$ m, $11.0 \cdot 10^{-3}$ m
Central rod : Its materials, internal and external diameter accordingly	Alloy E635, $13.0 \cdot 10^{-3}$ m, $11.0 \cdot 10^{-3}$ m

Calculation of the problems

In normal operation, the WWER-1000 reactor is operated by a nominal 100% power ($q_v = 110 \text{ MWt/m}^3$). It means that in 1 m^3 volume power is approximately 110 MWt. If in this time control (B_4C) rods are inserted the reactor core then (^{10}B) absorbs neutrons strongly. For this reason, ^{10}B absorber concentration is very low after 300 days. But when changed the nominal power 90% ($q_v = 99 \text{ MWt/M}^3$), 80% ($q_v = 88 \text{ MWt/M}^3$) and 50% ($q_v = 55 \text{ MWt/M}^3$) accordingly (Figure 2a), then in the reactor core number of neutrons are decreasing. Consequently, the concentration of boron (^{10}B) was burned slowly. The result was calculated by the program GETERA, WIMS and shown in Figure 2b.

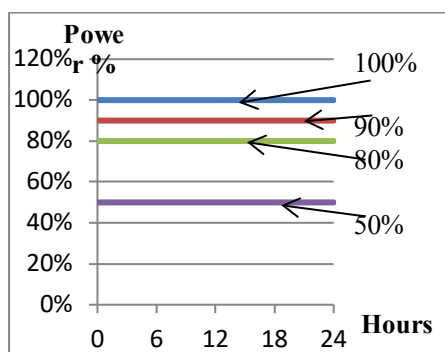
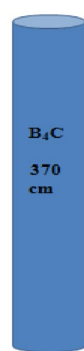
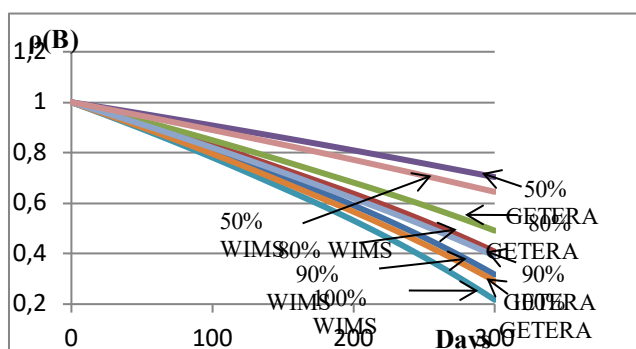


Figure 2a: Power vs time Figure



Boron carbide control rod



2b: Boron concentration in different power vs time by the programs GETERA and WIMS

When inserting the boron control rod in the reactor core, then strongly occurred the “ α ” radiation (${}_5\text{B}^{10} + {}_0\text{n}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_3\text{Li}^7 + 2.4\text{MeV}$). This “ α ” radiation heated and scrambled the boron control rod. That is why; Boron carbide is very good for scram. For this reason in the emergency situation all boron carbide control rods insert the reactor core and stop the fission reaction. But in the case of maneuvering mode heating up the boron control rod and destroyed it. Consequently, the control rod needed the elementally change in the maneuvering mode.

Maneuvering is the process in which changes the power of a reactor. Without maneuvering operation, in the reactor core, all control rods stay top level of the reactor core. But in the maneuvering mode control rods are inserted in the reactor core. In maneuvering mode within 1 day (24h), 8h insert the control rod in the reactor core as a reactor work by 50% power (55 MWt/m³); another 16h lifts up the control rod as a reactor work by 100% power (110 MWt/m³) which is shown in Figure 3a. For the full company (300 days) result was calculated by the program GETERA and WIMS and shown in Figure 3b.

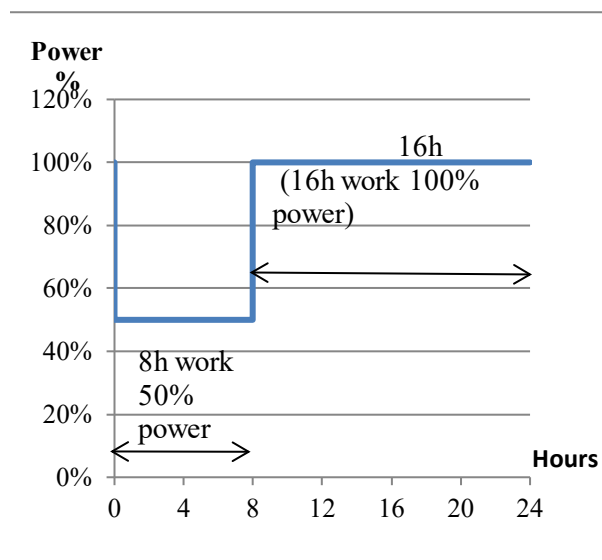


Figure 3a – power vs time

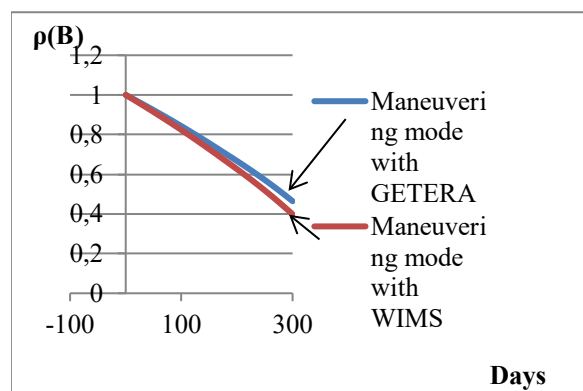


Figure 3b – Boron concentration vs time by the programs GETERA and WIMS

But in this graph, it was seen that, if the control rod was made of only boron carbide (B₄C) and it was used in the maneuvering mode then the concentration of boron in the boron control rod also lower after the full company. It is unpleasant for the reactor which discussed above. For this reason, in the control rod mixed another chemical element Dysprosium (Dy) Silver (Ag) etc.

Dysprosium (Dy) acts as a neutron absorber in nuclear fuel or in a reactor control rod; moreover, Dy isotopes after neutron capture have a large capture cross-section. Therefore, Dy can absorb neutrons continuously and effectively. This slow-burnout property is necessary for a reactor control rod material. Dysprosium has seven isotopes, ¹⁵⁸Dy, ¹⁵⁹Dy, ¹⁶⁰Dy, ¹⁶¹Dy, ¹⁶²Dy, ¹⁶³Dy, and ¹⁶⁴Dy have 0.056, 0.095, 2.34, 18.9, 25.5, 24.9, and 28.2% in natural abundance respectively. The thermal capture cross-sections of Dy isotopes range from; 60 b ~¹⁵⁸Dy to 2500 b ~¹⁶⁴Dy. In the present time in the WWER reactor's control rod used 50 cm Dy₂O₃ as a neutrons absorber Figure 4a.

Silver (Ag) is used in the control rods of nuclear reactors, acting as a very effective neutron poison to control neutron flux in nuclear fission. When silver rods are inserted in the core of a nuclear reactor, silver absorbs neutrons, preventing them from creating additional fission events, thus controlling the amount of reactivity. As like Dysprosium; Silver is used 50 cm in the control rod Figure 4a.

Absorber result for the B₄C was calculated by the programs GETERA and WIMS (Figure 4b). On the other hand Dysprosium and Silver absorber result was calculated by the programs SERPENT and WIMS (Figure 4b).

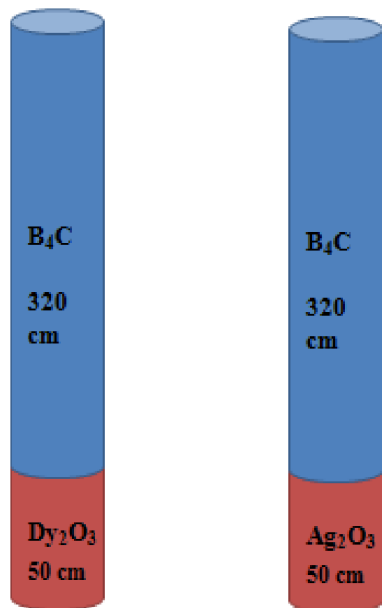


Figure 4a – Boron carbide and Silver oxide control rod with Dysprosium oxide

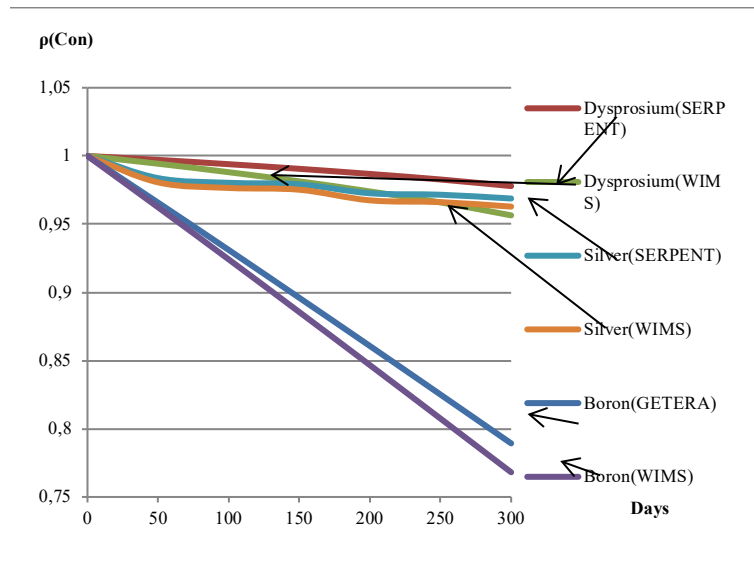


Figure 4b – Concentration of absorber (B, Dy and Ag) vs time by the programs SERPENT, WIMS and GETERA

Compare of the scram efficiency

Boron carbide has a high absorption cross-section. So scram efficiency is also high. It is used in the safety purpose. On the other hand, Dysprosium or Silver has low absorption cross-section and scram efficiency is also low. For this reason control rod, which is used in the maneuvering mode, is made of Dysprosium or Silver (Figure 4a). To compare the scram efficiency of these elements need to calculate the next step.

In the first time without (B₄C) absorber (Figure 5a) multiplying coefficient $K_{\infty}^{Without\ absorber}$ was calculated for the (300 days) full company and the calculated result was shown in Figure 6a. Then with (B₄C) absorber (Figure 5b) multiplying coefficient $K_{\infty}^{With\ absorber}$ was calculated for the full company and the result was shown in figure 6b.

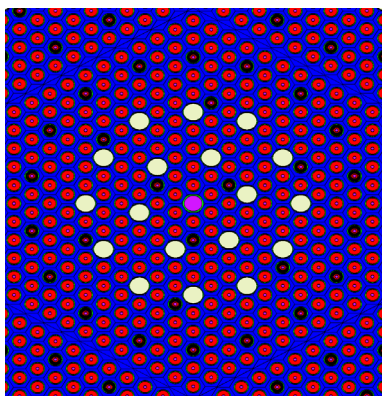


Figure 5a – Fuel assembly without absorber (in around central circle 18 big circles are empty absorber)

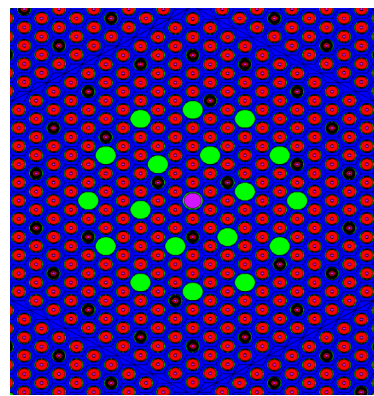


Figure 5b – Fuel assembly with absorber (in around central circle 18 big circles are absorber)

Then the scram efficiency of boron was calculated by the formula

$$\Delta K = \left(\frac{K_{\infty}^{With\ absorber} - K_{\infty}^{Without\ absorber}}{K_{\infty}^{With\ absorber}} \right) \%,$$

and the result was calculated by the program GETERA and WIMS and shown in Figure 6c. In the same way; multiplying coefficient and scram efficiency for the Dysprosium and Silver was calculated by the programs SERPENT and WIMS and shown in Figure 7a,7b,7c, and 8a,8b,8c accordingly. In here calculated only for a cell, not for the full reactor.

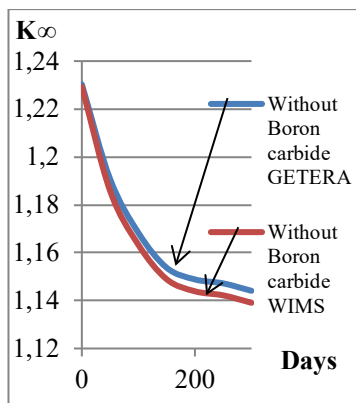


Figure 6a – Multiplying coefficient without Boron carbide vs time by the program GETERA and WIMS

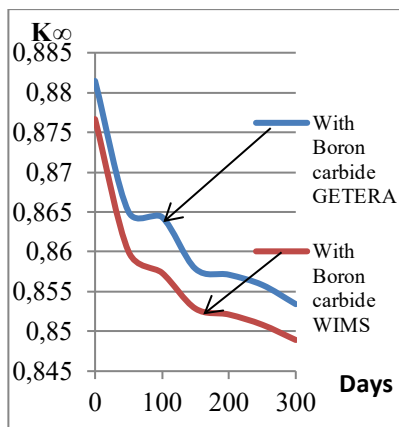


Figure 6b – Multiplying coefficient with Boron carbide vs time by the program GETERA and WIMS

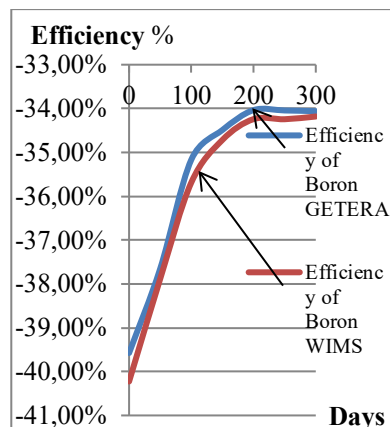


Figure 6c – Efficiency of Boron vs time by the program GETERA and WIMS

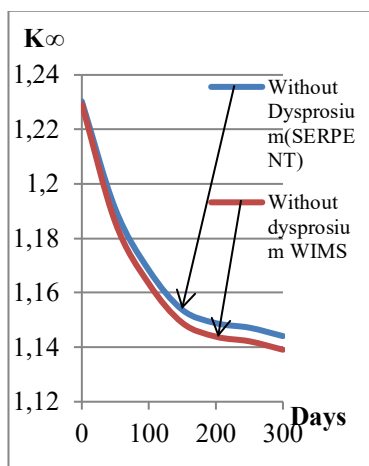


Figure 7a – Multiplying coefficient without Dysprosium oxide vs time by the program SERPENT and WIMS

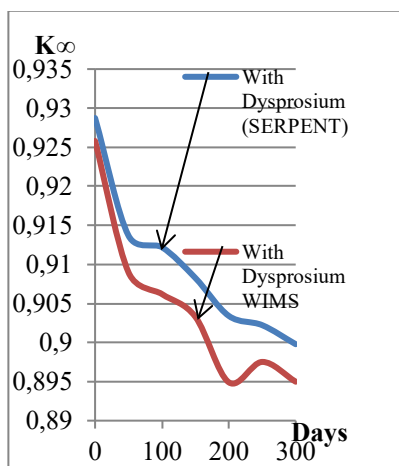


Figure 7b – Multiplying coefficient with Dysprosium oxide vs time by the program SERPENT and WIMS

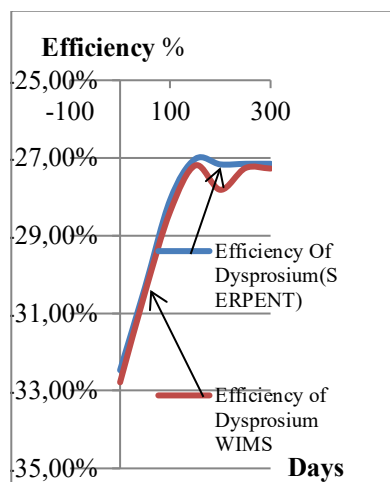


Figure 7c – Efficiency of Dysprosium vs time by the program SERPENT and WIMS

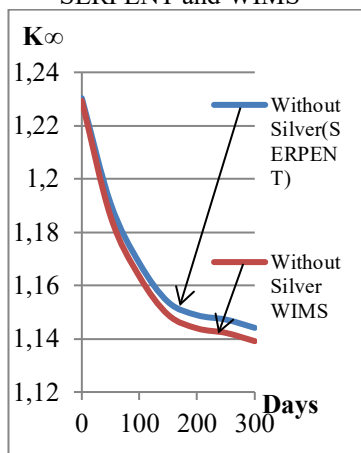


Figure 8a – Multiplying coefficient without Silver oxide vs time by the program SERPENT and WIMS

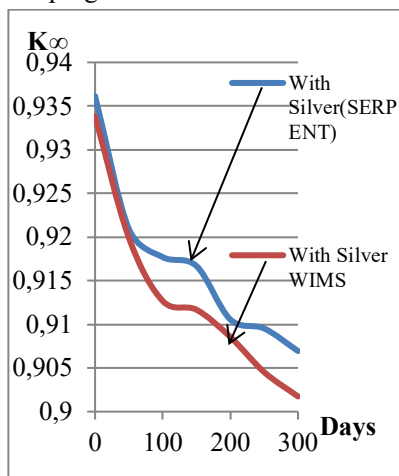


Figure 8b – Multiplying coefficient with Silver oxide vs time by the program SERPENT and WIMS

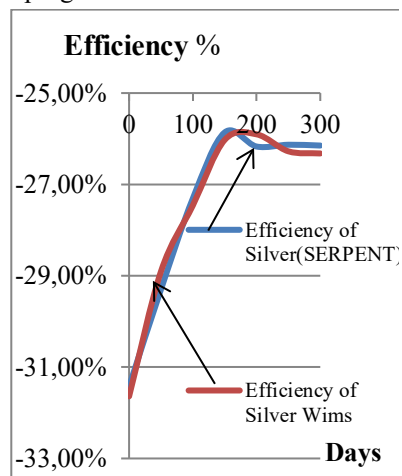


Figure 8c – Efficiency of Silver vs time by the program SERPENT and WIMS

Resultant Graph

The efficiency of Boron, Dysprosium and Silver are presented in one graph (Figure 9). But in here seen that efficiency of Boron at the end of the company (EOC) is approximately similar to the beginning of the company (BOC) of Dysprosium or Silver. In this point, it is clear that in the bottom part of the control rod use the Dysprosium or Silver in the view of maneuvering mode of a reactor.

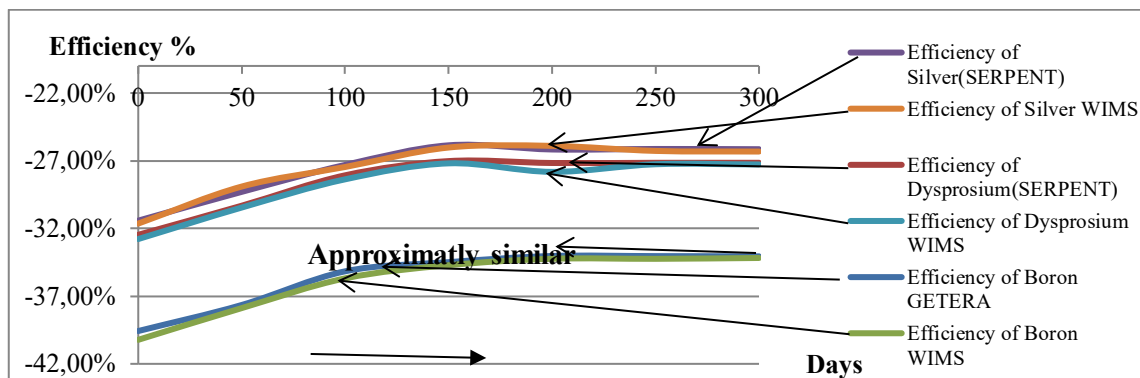


Figure 9 – Efficiency of Boron, Dysprosium and Silver vs Time by the programs SERPENT, WIMS and GETERA

Observation

In this work was used three programs GETERA, WIMS and SERPENT. The GETERA program is used to calculate neutron physics at department No. 5 of the Moscow Engineering Physics Institute (MEPhI). On the other hand, WIMS and SERPENT is an international program. But the result shows that GETERA, WIMS and SERPENT are the same programs, but slightly different for their own library system.

Result

The result shows that only the boron carbide (B_4C) control rod (Figure 3b) is also stronger absorber neutron in the maneuvering mode. That is why it is needed to modify the control rod with the chemical element Dysprosium oxide (Dy_2O_3) or Silver oxide (Ag_2O_3) or other chemical elements.

Conclusion

In this paper investigated the control rod burning in the maneuvering mode. In here used two dimensional models. Calculation shows the flowing result-

- Boron concentration $\rho(B)$ is decreased, for this reason effectiveness of Boron also decreased.
- Dysprosium, Silver is better, because concentration of these materials decreased slowly.
- Dysprosium, Silver is good materials for the power regulation during maneuvering.

The maneuvering method will allow operating a nuclear power plant to maintain the balance of power in the energy system of a country weekly, monthly and yearly. For this reason, now a day's maneuvering is very important for the WWER reactor. The calculated result was showed that boron carbide burning is very high during the maneuvering period. That is why; must improve the construction of the boron control rod with other materials Dy, Ag, etc as if burn slowly in the time of maneuvering. The VVER reactor has 12 regulator groups that maintain the power of a reactor. Group numbers 1 to 8 (made of only boron carbide) used in the emergency situation of the reactor. On the other hand, group numbers 9 to 12 (made of boron with Dy or Ag or other elements) used in the maneuvering operation (when need the change the power of a reactor).

REFERENCES

- [1] Anisur R.S.K., Uvakin M.A. Analiz neopredelennosti v fizicheskom raschete yacheyek VVER v yezhednevnom grafike manevrirovaniya [Uncertainty analysis in the physical calculation of VVER cells in the daily maneuvering schedule]. 2018. Journal of Physics: Conference Series. 1133(1). № 012048.
- [2] Anisur Rahman S.K., Uvakin M.A. Sravnite rezul'tat analiza neopredelennosti v fizicheskikh raschetakh yacheyek VVER v raspisanii yezhednvnogo manevrirovaniya programmami GETERA i WIMS. [Compare the Result of Uncertainty Analysis in the Physical Calculations of WWER Cells in the Daily Maneuvering Schedule by GETERA and WIMS Programs]. № 1(30). 2019. Global Nuclear Safety. P. 90-100 (in Russian).
- [3] Shotikov A.V., Savchenko V.E., Vigranenko Yu.M., Khrustalev V.A. Puti sovershenstvovaniya vodno-khimicheskogo rezhima vtorogo kontura AES s VVER-1000 [Ways to Improve Water-Chemical Mode of the NPP Second Circuit with WWER-1000]. News of Tomsk Polytechnic University. 2008. V. 312. № 2. P. 39-43 (in Russian).
- [4] Averyanova S.P., Dubov A.A., Kosourov K.B., Filimonov P.E. Temperaturnoye Regulirovaniye i manevrentnost VVER-1000 [Temperature Regulation and Maneuverability of WWER-1000]. Atomic Energy. 2002. V. 109, № 4. P. 246-251(in Russian).
- [5] Yerak D.Yu., Kochkin V.N., Zhurko D.A., Panforyov P.P. Modernizatsiya program obratstvovideley VVER-1000 [Modernization of Samples Witnesses Programs WWER– 1000]. History of Science and Technology. 2013. № 8. P. 142-152 (in Russian).
- [6] Shkarovsky A.N., Aksenov V.I., Serdun N.P. Analizfizicheskikh sostoyaniy reaktora VVER-1000 i upravleniyevariynymisituatsiyami [Analysis of Physical States of WWER-1000 Reactor and Control of Emergency Situation]. Proceedings of Higher Educational Institutions. Nuclear power. 2005. № 3. P. 60-68 (in Russian).
- [7] Getya S.I., Krapivtsev V.G., Markov P.V., Solonin V.I. [and others] Modelirovaniye temperaturnykh neunifikatorov v elemente toplivno-elementnogo topliva topliva-VVER 1000 [Modeling Temperature Nonuniformities in a Fuel-Element Bundle of WWER-1000 Fuel Assembly]. Atomic Energy. 2013. V. 114. № 1. P. 69-72 (in Russian).
- [8] Melikhov V.I., Melikhov O.I., Yakush S.E. [and others] Issledovaniye razresheniya borona v reaktore VVER-1000 [A Study of Boron Dilution in WWER-1000 Reactor]. Thermal Engineering. 2002. V 49. № 5. P. 372-376.
- [9] Filimonov P.E., Averyanova S.P., Dubov A.A., Kosourov K.B., Semchenkov Yu.M. Rabota VVER-1200/1300 v sutochnom grafike nagruzki [WWER 1200/1300 Operation in the Daily Load Schedule]. Atomic Energy. 2012. V. 113. Issue 5. P. 247- 252 (in Russian).
- [10] Filimonov P.E., Averyanova S.P., Dubov A.A., Kosourov K.B., Semchenkov Yu.M. Temperaturnoyeregulirovaniye i manevrennost' VVER-1000 [Temperature Regulation and Maneuverability of the WWER-1000]. Atomic Energy. 2010. V. 109. Issue. 6. P. 198-202 (in Russian).
- [11] Malyshev A.B., Efanov A.D., Kalyakin S.G. Eksperimentalnyye issledovaniya sistemy dlya passivnogo napolneniya reaktora VVER-1000 [Experimental Investigations of the System for Passive Flooding of WWER-1000 Reactor]. Thermal Engineering. 2002. V. 49. № 12. P. 1032-1037 (in Russian).
- [12] Vokhmyanina N.S., Zlobin D.A., Kuznetsov V.I., Lagovsky V.B. [and others] Metod offset moshchnost noyfazovoy diagrammy dlya upravleniya energovydeleniyem reaktora [Offset-Power Phase Diagram Method for Control of Reactor Energy Release]. Atomic Energy. 2016. V. 121. Issue 3. P.123-127 (in Russian).

Investigation of Absorber Concentration Changes During Maneuvering Operation in WWER 1000 Reactor

Anisur R.S.K.¹, M.A. Uvakin²

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

¹ORCID iD: 0000-0001-7803-8234

Wos Researcher ID: D-3381-2019

e-mail: ranisur01@gmail.com

²ORCID iD: 0000-0002-4917-1770

Wos Researcher ID: E-1027-2019

e-mail: uvakin_ma@grpress.podolsk.ru

Abstract – Boron carbide, Dysprosium, Silver, etc have a lot of unique properties, high neutron absorption, chemical stability, high melting temperature, low density, and low price. These elements are widely using in the WWER power reactors. In this article was investigated the absorber cross-section, burring behavior and scram efficiency of these elements. If the control rod (CR) is made of only boron carbide chemical element and it will be used in the maneuvering mode then the power of a reactor will fall down drastically. But in this work main goal is that, which element will be required in the control rod, as a result, the reactor in the maneuvering mode work with different power without fall down power drastically. The result was calculated by the three programs GETERA, WIMS and SERPENT.

Keywords: Boron carbide, neutron, absorber cross-section, WWER-1000, control rod, maneuvering, reactor. GETERA, WIMS, SERPENT.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.315.175

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ВОЗДУШНЫХ
ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ
ЮЖНОГО РЕГИОНА**

© 2020 Е.С. Молошная, И.В. Мельников, В.Н. Козоброд

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

Актуальность плавки гололеда на воздушных линиях обусловлена значительным увеличением их протяжённости в электроэнергетической системе Южного региона в условиях эксплуатации 4-х блоков Ростовской АЭС. Произведён анализ различных методов борьбы с обледенением на воздушных линиях электропередачи напряжением 110-220 кВ, на основе которого даны рекомендации по их применению в данных климатических условиях.

Ключевые слова: ледообразование, обрыв проводов, аварии, плавка гололеда, короткое замыкание, электротермическое и электромеханическое воздействие, вибрация проводов.

Поступила в редакцию 14.02.2020

После доработки 19.03.2020

Принята к публикации 26.03.2020

В отличие от кабельных, воздушные линии больше всего подвержены влиянию различных природных явлений (грозовые перенапряжения, прямые удары молний, ветровая нагрузка, образование на проводах льда и прочее). Все эти явления не только снижают надёжность электроснабжения потребителей, но и являются прямой причиной аварий, крупных ущербов предприятий и экономики в целом [1].

Проблема борьбы с обледенением проводов линий электропередачи (рис.1) общеизвестна и весьма актуальна. В условиях эксплуатации Ростовской АЭС, 4 блока которой мощностью по 1000 мВт обеспечивают электроэнергией потребителей, расположенных в радиусе нескольких сотен километров. Это Ставропольские и Краснодарские края, Республика Крым, Астраханская, Волгоградская, Ростовская области, для климатических условий которых характерны повышенная влажность, ветры, внезапное падение температуры. Это обуславливает причины нежелательных последствий ледообразования на проводах воздушных линий. Ледяные отложения увеличивают вес провода в несколько раз, а толщина ледяного слоя иногда достигает 100 мм. Ледяной покров вызывает дополнительную механическую нагрузку на все элементы воздушных линий.



(a)



(б)

Рисунок 1 – Гололедные отложения: а) ВЛ 220кВ РоАЭС-Волгодонск II цепь, б) ВЛ 110кВ Зимовники-Ремонтное [Glazed blankets: a) VL 220kV RoNPP-Volgodonsk II circuit, b) VL 110kV Zimovniki-Remontnoye]

При значительных отложениях льда обрываются провода, происходят разрушения изоляторов и даже опор линий электропередачи. Ледяные отложения по всей длине линии могут быть довольно неравномерными [2]. В результате сетевая электроэнергетическая компания и потребители несут большие потери. Ремонт и восстановление линии электропередачи – это дорогостоящий и длительный процесс, это обуславливает важность проблемы выбора оптимального способа плавки гололеда.

Исследования показывают, что гололедные отложения на проводах воздушных линий происходят при температуре воздуха около минус 5°C и скорости ветра 5-10 м/с. Сильное влияние оказывает и влажность воздуха.

Физический процесс прост: капли воды из окружающего воздуха осаждаются и замерзают на поверхности проводов. Именно так и образуется иней и наледь (рис. 2).

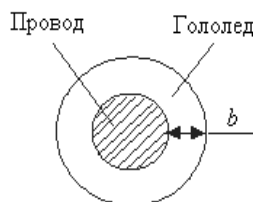


Рисунок 2 – Идеализированное представление гололеда на проводах
[An idealized view of ice on wires]

Существует несколько способов плавки гололеда, которые применяются в зависимости от конкретных условий [3]. На малых участках воздушных линий проводится непосредственно механическое удаление льда. Для этого используются шесты из бакелита, стекловолокна и другого изоляционного материала. Однако этот метод требует участия большого числа рабочих, много времени и далеко не всегда технически применим. Используется в сельской местности на тупиковых подстанциях небольшой мощности.

В 2008 г. был предложен новый способ борьбы с обледенением линий электропередач. Способ заключается в том, что, не отключая линию, на нее подается высокочастотный ток (50÷500 МГц), который нагревает провод. Для высокочастотной компоненты тока возникает так называемый «скин-эффект» или поверхностный эффект. Протекающий по проводу ток смещается к внешнему слою проводника и разогревает его, что приводит к устранению ледяного покрова. Данный способ предполагает применение преобразователей частоты и иного специального оборудования [4].

Толщина слоя, по которому может проходить ток рассчитывается по формуле (1):

$$\delta(f) = 10^{-3} \sqrt{\frac{\sigma}{\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot f}}, \quad (1)$$

где σ – удельное сопротивление при постоянном токе;

μ_0 – магнитная постоянная;

μ – относительная магнитная проницаемость;

f – частота.

Утончение пути прохождения тока с возрастанием частоты ведет к увеличению сопротивления той части проводника, по которой течет ток (по сути это тонкостенная трубка). То есть, при одинаковой величине проходящего тока, чем выше частота сигнала, тем выше тепловая мощность проводника. Было показано, что такой метод требует около 2-х Ватт на 1 м провода, чтобы избежать образования льда. Однако имеются следующие недостатки:

- необходимость непрерывного прогрева проводов для предотвращения обледенения;

- большая стоимость высокочастотных источников питания требуемой мощности;
- реализация данного способа возможна только при использовании частот диапазоном 87,5...108 МГц, так как при других частотах это может привести к возникновению помех и даже к невозможности создания ОВЧ-радиосвязи и УВЧ-связи для различных экстренных служб;
- эффективность этого метода значительно понижается из-за использования для высоковольтных линий электропередачи многопроволочных проводов, так как уменьшается скин-эффект.

Пассивной мерой борьбы с обледенением можно считать использование высокопрочных проводов. По сути, это не борьба с гололедом как таковая, а повышение механического сопротивления провода и, следовательно, увеличение допустимой толщины льда. Повышение прочностных характеристик современных проводов происходит, в основном, за счет использования новых композитных материалов. Такие провода могут выдержать большие нагрузки, по сравнению со стандартным сталеалюминевым проводом, и могут противостоять критическому воздействию, оказываемому на них льдом. Однако следует отметить, что прочность таких проводов не бесконечна, а значит, использование данного метода в регионе с интенсивным гололедообразованием может быть неэффективным, а в некоторых случаях вообще невозможным.

Одним из наиболее известных типов высокопрочных проводов являются провода и кабели с несущим сердечником из композитного материала. Общеизвестно, что стандартные стальные сердечники перегреваются при пиковых электрических нагрузках, а это, в свою очередь, приводит к растяжению провода и его провисанию ниже допустимого уровня. Напротив, провод с сердечником из композитов имеет более низкий коэффициент теплового расширения и поэтому они менее чувствительны к тепловому расширению, чем проводники со стальными сердечниками. Путем замены провода со стальным сердечником на провод с композитными материалами можно в разы увеличить пропускную способность линий.

Производители провода утверждают, что можно вдвое увеличить количество энергии в линии без риска образования провеса и обрыва проводов. Учитывая основные свойства композитных материалов (высокое отношение прочности к массе и небольшая величина провисания) можно увеличить промежуток между опорами, посредством уменьшения количества опор в линии на 15%. Реализация этого преимущества, конечно, возможна только при проектировании и вводе в эксплуатацию новых линий электропередач. Реконструкция старой электропроводки связана со значительными затратами. Обратим внимание на то, что стоимость таких композитных проводов все еще значительно выше, чем обычных.

Для борьбы с обледенением используют роботизированные устройства: маленькие мобильные роботы, путешествующие по проводам высоковольтных линий электропередач и выполняющие ряд простых операций, включая удаление льда. Существует образец такого робота (LineScout, Канада), который может перемещаться, маневрируя по линиям электропередачи и предоставляя информацию о состоянии линий [5]. Эксперты дистанционно управляют роботами, находясь на земле, чтобы они могли обнаружить повреждения, удалить лед с провода и выполнить простые операции по ремонту. Этот метод позволяет снизить риск, обеспечить бесперебойную работу и повысить безопасность людей. Преимущество робота LineScout – это возможность управления им в режиме реального времени. Однако есть и недостатки:

- необходимость участие вспомогательного персонала, а также специального оборудования (высотные рабочие машины) для установки робота на провода и управление им;

- протяженные линии требуют большое количество роботов и соответственно обслуживающего персонала;
- невысокая автономность работы и сложности в ремонте.

Плавка гололеда на проводах воздушных линий электропередач в условиях КЗ.

Основной путь борьбы со льдом при эксплуатации протяженных воздушных линий – это его таяние за счет проходящего тока, который нагревает провод. Учитывая большую протяженность высоковольтных воздушных линий в Южном регионе, этот метод достаточно эффективен, поскольку позволяет удалить десятки километров льда за 0,5-1 час, предотвращая опасные тяжелые нагрузки и устраняя «пляску» проводов.

Физика процесса плавки проста и ничем не отличается от работы любого нагревателя. Мощность, выделяемая на участке цепи с активным сопротивлением и протекающим током, определяется по формуле (2):

$$P = I^2 \cdot R, \quad (2)$$

где P – действующее значение активной мощности;

R – сопротивление;

I – действующее значение тока.

Выделяемое при нагревании тепло плавит гололед по всей длине проводов. Главное в этом способе – создание контура для протекания тока плавки. Чаще всего это искусственное короткое замыкание на отдельно выделенном участке линии. Существует достаточно большое количество схемных вариантов плавки гололеда [6], которые определяются схемой электрических сетей, нагрузкой потребителей, возможностью отключения линий и другими факторами (рис. 3).

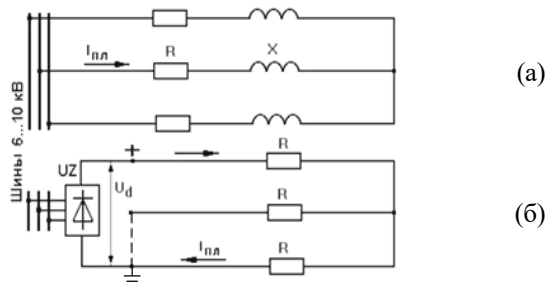


Рисунок 3 – Принципиальные схемы плавки гололеда переменным а) и выпрямленным б) током
[Schematic diagrams of ice melting with alternating a) and rectified b) current]

Способ заключается в том, что начало проводов воздушной линии подключается к источнику питания 6-10 кВ, а концы линии замыкаются накоротко [7]. Для высоковольтных линий на подстанциях устанавливается отдельный трансформатор с выходом 6-10 кВ, если нет соответствующего распределительного устройства плавка гололеда. Плавка на переменном токе имеет свои ограничения. Значение тока, протекающего по замкнутому контуру согласно закону Ома, равно (3):

$$I = \frac{U}{Z}; Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (3)$$

где U – напряжение, приложенное к контуру;

Z – модуль полного сопротивления контура;

R и X – активное и реактивное сопротивление участка воздушной линии.

Именно из-за наличия реактивного сопротивления величина тока в контуре будет меньше чем на постоянном токе. Соответственно, требуется и большая мощность источника для получения необходимого тока плавки.

При анализе способа плавки гололеда постоянным или переменным током был произведен расчет мощности и выбор напряжений (табл. 1), а также анализ теплограмм при плавке гололеда на воздушных линиях электропередачи 110 и 220кВ (рис. 4, 5) подстанций 110/10 «Ремонтненская» и 220/110/10кВ Зимовники, а также технико-экономический анализ этих методов [8].

Таблица 1 – Расчетные значения плавки гололеда [Estimated ice melting values]

Плавка постоянным током	Сопротивление одной фазы, Ом	7,5
	Схема плавки	фаза–фаза
	Напряжение плавки, кВ	6
	Потребляемая мощность, МВА	4,7
Плавка переменным током	Сопротивление одной фазы, Ом	14,7
	Схема плавки	трехфазное КЗ
	Напряжение плавки, кВ	10
	Потребляемая мощность, МВА	6,8



Рисунок 4 – Теплограмма плавки гололеда постоянным током. ВЛ 220 кВ РП 220кВ Волгодонск-Зимовники [Thermogram of smelting ice with direct current. VL 220 kV RP 220kV Volgodonk-Zimovniki]

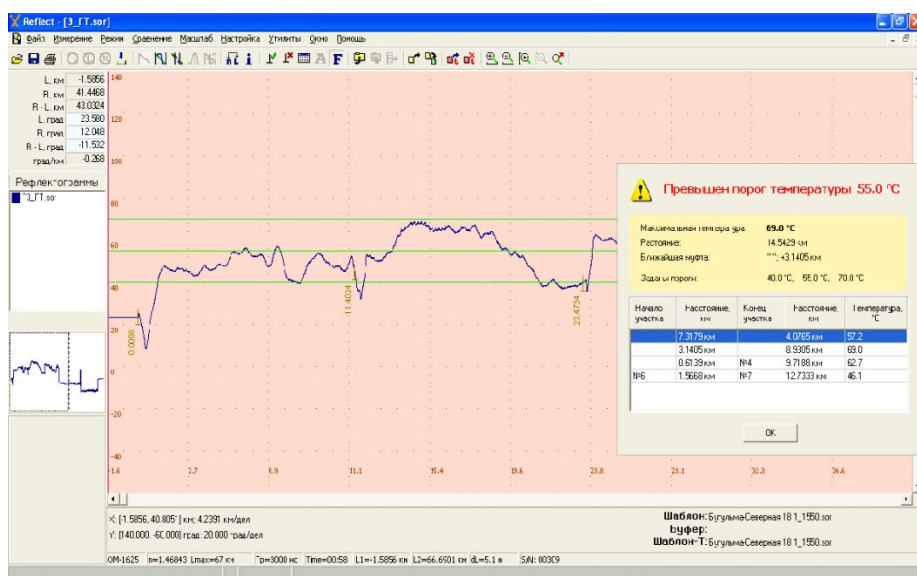


Рисунок 5 – Теплограмма плавки гололеда переменным током. ВЛ 110 кВ Зимовники-Ремонтное [Thermogram of ice melting by alternating current. VL 110 kV Zimovniki-Remontnoye]

Таким образом, из анализа видно [9], что использование переменного тока целесообразней на линиях не более 110кВ, для воздушных линий 220кВ и выше плавка

гололеда на постоянном токе оказывается более выгодной, так как линейные провода имеют большее сечение и реактивная составляющая сопротивлений на переменном токе уже достаточно велика, что приводит к увеличению поверхностного эффекта, тогда как при постоянном токе плотность тока по всему сечению проводника практически одинакова и теплоотдача стального троса улучшает качество плавки.

Недостатки электротермического способа:

- необходимость отключения линии на время плавки гололеда, что требует перераспределения нагрузки для остальной системы;
- необходим дополнительный трансформатор, а для плавки постоянным током еще и выпрямитель;
- тока плавки превышает максимально допустимый в 1,5-2 раза.

Теплограммы плавки гололеда электротермическим методом наглядно демонстрируют неравномерное нагревание проводов. Плавка гололеда *электрохимическим методом* может быть весьма актуальна, так как в климатических условиях Южного региона температура на всей протяженности воздушной линии зачастую неодинакова и наледь образовывается неравномерно. Некоторые участки могут оказаться вообще без гололедных образований. При протекании тока плавки эти участки будут подвержены чрезмерному нагреву, так как на них нет затрат энергии на плавку гололеда. Это так же является существенным недостатком электротермического способа [10]. В этом случае предпочтительней электрохимический метод в результате которого возникают колебательные движения проводов, разрушающие гололедные образования. Электрохимический метод позволяет уменьшить время плавки гололеда, а также энергозатраты и самое главное не требует отключения линий.

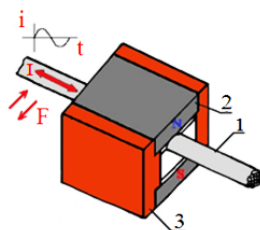


Рисунок 6 – Электрохимический ударный элемент, где 1-провод, 2-постоянные магниты, 3-прижимные пластины [Electromechanical shock element, where 1-wire, 2-permanent magnets, 3-pressure plates]

Суть его заключается в следующем: на проводе устанавливаются постоянные магниты, в зазоре которых, равном диаметру провода, создается постоянное магнитное поле, которое воздействует на переменный ток, протекающий по проводу, с силой Ампера. Направление действия этой силы будет изменяться дважды за период и вызовет смещение постоянных магнитов и, соответственно, вибрацию провода с частотой 50Гц, что будет способствовать встряхиванию влаги с поверхности проводов до того, как она превратится в наледь. Этот непрерывный процесс обеспечит удаление капель воды и наледи на ранней стадии образования гололеда. Однако, при более низких температурах, если гололед все же образовался, усилить встряхивающее воздействие на провода с целью разрушения налипшего льда, можно пропустив по проводам импульсы постоянного тока частотой до 5 Гц от дополнительного источника питания. Это позволит увеличить амплитуду колебания до 20-30 см с ускорением $(0,5 \div 14g)$, что будет способствовать сбрасыванию льда с проводов по всей длине пролетов [11]. При использовании этого метода не приходится выводить линию электропередач из работы, что является главным его преимуществом. Время необходимое для очистки линии составляют от 0.5 до 1 часа.

К недостаткам следует отнести:

- необходимость источника импульсов постоянного тока;
- при механическом расчете воздушных линий электропередач следует учесть нагрузку от вибрации проводов.

Подводя итог проведенному анализу способов плавки гололеда для климатических условий Южного региона, можно сделать вывод, что наиболее применяемый электротермический метод далеко не всегда можно считать достаточно эффективным, так как требует отключения линии на время плавки. Кроме того, из-за неравномерности гололедных отложений может происходить недопустимый нагрев проводов. Электромеханический метод в этих условиях является более эффективным и менее затратным, так как не требует отключения линии и применения дополнительных дорогостоящих аппаратов специально для плавки гололеда-трансформаторов и выпрямителей. Выбор метода должен обосновываться номинальным напряжением воздушных линии и характером гололедных образований. Внедрение системы автоматического наблюдения за гололедом даст возможность вести круглосуточный мониторинг за гололедообразованием на большой территории [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок / Министерство энергетики РФ. – Москва : Госэнергонадзор, 2017 г. – 522 с.
2. Опыт эксплуатации ЛЭП 330-500 кВ в условиях интенсивных гололедно-ветровых воздействий. Распределенная система автоматического наблюдения за гололедом // Информационно-аналитический журнал ЭнергоINFO. 25.10.2011 г. – 94 с.
3. Никитин, И. Э. Способы удаления льда с проводов линий электропередач / И. Э. Никитин, Н. Х. Абдрахманов, С. А. Никитин // Нефтегазовое дело. – 2015. – № 3. – С. 794-823.
4. Способ удаления обледенения с проводов линий электропередач. – Козин В. М., Соловьев В. А., Орлов Д. А., Сухоруков С. И., Малых К. С.: пат. 2442256 С1 Росс. Федерация, МПК Н 02 G 7/16; № 2010144485/07; заявл. 29.10.2010 опубл. 10.02.2012 г. – 40 с.
5. Управляемый выпрямитель для плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах ВЛ. – Информационная система iElectro: Все об электротехнике. – URL : <http://www.ielectro.ru/news51718/index.html>. 01.10.2011 г. – 123 с.
6. Обзор новых технологий в энергетике. – Выпуск 1. – Департамент технического развития ОАО «МРСК Юга», 2008. – 11 с.
7. Гуревич, М. К. Способы предотвращения аварий, вызванных гололедообразованием на проводах и грозозащитных тросах ВЛ / М. К. Гуревич, М. А. Козлова, А. В. Репин, Ю. А. Шершнев // Известия НИИ Постоянного тока. – 2010. – № 64. – 235 с.
8. Море, Г. Метод расчета гололедной нагрузки на провода / Г. Море. – Москва : Госэнергоиздат, 1956. – 201 с.
9. Устройство для контроля гололедной нагрузки на воздушных линиях электропередачи: пат. №2145119 (РФ). – И. И. Левченко, А. С. Засыпкин, А. А. Аллилуев, А. В. Лубенец. – Бюл. №3, 2000. – 17 с.
10. СТО 70238424.29.240.20.002-2011. Воздушные линии напряжением 0,4-20 КВ. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Москва, 2011 г. – 189 с.
11. Электротехнический справочник. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общей редакцией В. Г. Герасимова [и др.]. – Москва : Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.
12. Нейман, А. А. Анализ эффективности внедрения плавки гололеда в воздушных линиях напряжением 35-500 кВ для повышения надежности их работы в гололедных условиях / А. А. Нейман // Материалы I Всесоюзного совета по плавке гололеда. – Львов, 1971. – 98 с.

REFERENCES

- [1] Pravila ustrojstva e`lektroustanovok [Rules for Electrical Installations]. Ministerstvo e`nergetiki RF [Ministry of Energy of the Russian Federation]. Moskva [Moscow]: Gose`nergonadzor [State Energy Supervision]. 2017. 522 p. (in Russian).
- [2] Opyt ekspluatatsii LEP 330-500 kV v usloviyah intensivnyh gololedno-etrovyh vozddeystvij [Operating Experience of Power Lines 330-500 kV in Conditions of Intense Icy-Wind Effects.]. Raspredelennaya sistema avtomaticheskogo nablyudeniya za gololedom [Distributed Ice Monitoring System]. Informacionno-analiticheskij zhurnal EnergoINFO [EnergoINFO Information and Analytical Journal]. 25.10.2011. 94 p. (in Russian).
- [3] Nikitin I.E., Abdrahmanov N.H., Nikitin S.A. Sposoby udaleniya l'da s provodov linij eletroperedach [Ways to Remove Ice from Wires of Power Lines]. Neftgazovoe delo [Oil and Gas Business]. 2015. 823 p. (in Russian).

- [4] Kozin V.M., Solov'ev V.A., Orlov D.A., Suhorukov S.I., Malyh K.S. Sposob udaleniya obledeneniya s provodov linij elektroperedach: pat. 2442256 C1 Ross. Fed-raciya, MPK H 02 G 7/16; № 2010144485/07; zayavl.29.10.2010 opubl. 10.02.2012 [The Method of Removing Icing from Wires of Power Lines: Pat. 2442256 C1 Russian Federation, IPC H 02 G 7/16; No. 2010144485/07; declared 10/29/2010 publ. 02/10/2012]. 40 p. (in Russian).
- [5] Upravlyaemyj vypryamitel' dlya plavki gololeda na provodah i grozozashchitnyh trosah VL [A Controlled Rectifier for Melting Ice on Wires and Lightning Protection Cables of Overhead Lines]. Informacionnaya sistema iElectro: Vse ob elektrotekhnike [IElectro Information System: All About Electrical Engineering]. URL: <http://www.ielectro.ru/news51718/index.html>. 01.10.2011. 123 p. (in Russian).
- [6] Obzor novyh tekhnologij v energetike. Vypusk 1. Departament tekhnicheskogo razvitiya OAO «MRSK Yuga» [Overview of New Technologies in the Energy Sector. Issue 1. – Department of Technical Development of MRSK of the South, JSC]. 2008. 11 p. (in Russian).
- [7] Gurevich M.K., Kozlova M.A., Repin A.V., Shershnev Yu.A. Sposoby predotvra-shcheniya avarij, vyzvannyh gololedoobrazovaniem na provodah i grozozashchitnyh trosah VL [Ways to Prevent Accidents Caused by Icing on Wires and Lightning Protection Cables of Overhead Lines]. Izvestiya NII Postoyannogo toka [News Research Institute of Direct Current]. 2010. №64. 235 p. (in Russian).
- [8] More G. Metod rascheta gololednoj nagruzki na provoda [Method for Calculating Ice Load on Wires]. Moskva: Gosznergoizdat [Moscow: Gosznergoizdat]. 1956. 201 p. (in Russian).
- [9] Levchenko I.I., Zasyplin A.S., Alliluev A.A., Lubenec A.V. Ustrojstvo dlya kontrolya gololednoj nagruzki na vozdushnyh liniyah elektroperedachi: pat. №2145119 (RF). Byul. №3 [A Device for Controlling Icy Load on Overhead Power Lines: Pat. No. 2145119 (RF)]. 2000. 17 p. (in Russian).
- [10] STO 70238424.29.240.20.002-2011. Vozdushnye linii napryazheniem 0,4-20 kV. Organizaciya ekspluatatsii i tekhnicheskogo obsluzhivaniya. Normy i trebovaniya [STO 70238424.29.240.20.002-2011. 0.4-20 kV Overhead Lines. Organization of Operation and Maintenance. Norms and Requirements.]. Moskva [Moscow]. 2011. 189 p. (in Russian).
- [11] Elektrotekhnicheskij spravocnik. T. 3. Proizvodstvo, peredacha i raspredelenie elektricheskoy energii [Electrical Reference Book. T. 3. Production, Transmission and Distribution of Electrical Energy]. Pod obshch. red. V.G. Gerasimova i dr. [edited by V. G. Gerasimov]. Moskva: Izdatel'stvo MEI [Moscow: MPEI Publishing House]. 2004. 964 p. (in Russian).
- [12] Nejman A.A. Analiz effektivnosti vnedreniya plavki gololeda v vozdushnyh liniyah napryazheniem 35-500 kV dlya povysheniya nadezhnosti ih raboty v gololednyh usloviyah [Analysis of the Effectiveness of the Implementation of Ice Melting in Overhead Lines with a Voltage of 35-500 kV to Increase the Reliability of their Work in Icy Conditions]. Materialy I Vsesoyuznogo soveta po plavke gololeda [Materials of the I All-Union Council for Smelting Ice]. L'vov [Lvov]. 1971. 98 p. (in Russian).

Analysis of Ice Melting Techniques on Aerial Power Lines in the Southern Region

E.S. Moloshnaya¹, I.V. Melnikov², V.N. Kozobrod³

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

¹ORCID: 0000-0001-8766-2290

WoS Researcher ID: AAH-5369-2020

e-mail: elena_moloshnaya@mail.ru

²ORCID: 0000-0002-8613-9083

WoS Researcher ID: AHH-5335-2020

e-mail: comosabe@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0001-6558-4981

e-mail: kvn06@mail.ru

Abstract – The relevance of ice melting on air lines is due to a significant increase in their length in the electric power system of the Southern region under the conditions of operation of Rostov NPP 4 units. The paper makes the analysis of various methods of combating icing on overhead power lines with a voltage of 110-220 kV, on the basis of which recommendations for their use in these climatic conditions are given.

Keywords: ice formation, wire breakage, accidents, ice melting, short circuit, electrothermal and electromechanical effects, vibration of wires.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕЙ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В
СВИНЦЕ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ФОТОНОВ
С ЭНЕРГИЯМИ ОТ 10 ДО 50 МэВ**

© 2020 И.Х. Альхагаиш, В.К. Сахаров

*Институт ядерной физики и технологий Национального исследовательского ядерного университета
«МИФИ», Москва, Россия*

По результатам расчетов методом Монте-Карло пространственных распределений энергии фотонов в свинце от точечных изотропных и плоских однонаправленных моноэнергетических источников с энергиями 10-50 МэВ определены кратности ослабления воздушной кермы и дозовые факторы накопления рассматриваемым материалам. В расчетах учитывается вклад флуоресценции, аннигиляционного излучения и тормозного излучения. Показана независимость факторов накопления и кратностей ослабления от углового распределения излучения источника и слабая зависимость кратностей ослабления от его энергии в диапазоне энергий 30-50 МэВ. Определены поправки на барьерную защиту и отмечена их независимость от толщины защиты и энергии фотонов источника. Полученная информация позволяет уменьшить погрешности в результатах расчетов толщины противорадиационной защиты электронных ускорителей при высоких энергиях, используя разработанные инженерные методы расчета. Полученная информация может быть также использована в расчетах защиты от тормозного излучения электронных ускорителей инженерными методами.

Ключевые слова: электронные ускорители, тормозное излучение, защита, дозы, фактор накопления, Кратности ослабления, Монте-Карло.

Поступила в редакцию 27.01.2020
После доработки 17.03.2020
Принята к публикации 31.03.2020

Introduction

The linear electron accelerators use with primary electron beam energy in the range of up to 50 MeV for remote radiation therapy, defectoscopy and an increase in the requirements for ensuring the radiation safety of personnel and the population necessitate the improvement of the methodological base for designing the protection of such installations [1]. It is important to obtain the attenuation characteristics of the bremsstrahlung photons used in their protection materials for this energy range, taking into account the scattered radiation. Accounting to scattered radiation in developed engineering methods for calculating photon protection is usually carried out using the attenuation factor and accumulation factors.

The information available in the literature on the transmission of photon radiation in various protective materials [2, 3, 4] is limited for the photon energies of the source below 15 MeV. The electron accelerators use in industry and medicine with primary electron beam energy in the range up to 50 MeV leads to serious demand to obtain data on the attenuation characteristics of bremsstrahlung photons for this energy range. Concrete, iron, and lead are used as shielding materials from the bremsstrahlung of electron accelerators, so the goal of this research was to obtain the characteristics of the photon radiation fields for one of these materials. The material that was studied in this article is lead.

The geometries of the studied compositions, differing only in size for different materials, were identical and are shown in figure 1.

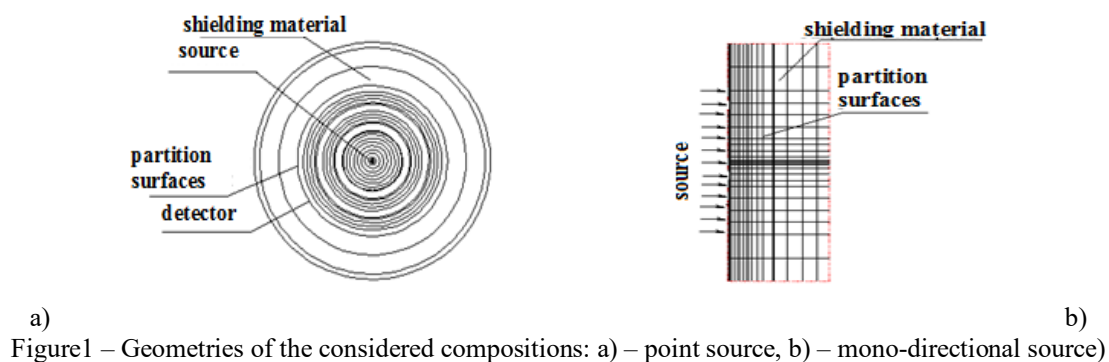


Figure1 – Geometries of the considered compositions: a) – point source, b) – mono-directional source)

To assess the influence of the composition geometry on the characteristics of the photon fields, two cases were considered: spherical geometry with a point isotropic source in the center of the sphere and cylindrical geometry with a flat mono-directional source whose radiation falls normally on the end surface of the cylinder. The dimensions of the defenses were chosen so that the geometry could be considered infinite. The thickness of the material was 45 mean free path for the photon energy source. The radius of the cylindrical protection was 300 cm for Lead. The radius of the mono-directional source was assumed to be 200 cm for Lead shield.

The shielding material under study is Lead with a density of 11.3 g/cm³ [3]. The photon energies of the source were chosen equal to 10, 20, 30, 40, and 50 MeV.

Calculations of the characteristics of photon fields were performed using the Monte Carlo- FLUKA program [5]. An estimate was used for the intersections of the surfaces shown in Fig.1, located at different distances from the radiation source, and local estimation of the flow at a point isotropic source.

The absorbed dose rates in the air, dose accumulation factors, and energy distributions of the photon flux density at different distances from the source were taken as characteristics of the photon radiation fields. At the same time, the average of these values on the cylinder axis were estimated for a mono-directional source. The FLUKA program calculates the energy distributions of the photon flux density in the material under consideration. These distributions were calculated at distances from the source from 0.25 to 30 mean free path. In this case, the photon mass attenuation coefficients [2, 6] given in table 1 were used for the transition from the mean free path to the true distance in linear dimensions.

Table 1 – photon mass attenuation coefficient for lead, cm²/g

Energy of photons Source, MeV	shielding material
	Lead
10 [2]	0.0497
20 [2]	0.0621
30 [2]	0.0702
40 [6]	0.0765
50 [6]	0.0811

The transition from the energy distributions of the photon flux density to the power of the dose absorbed in the air was carried out on the basis of specific dose factors calculated by the formula (1):

$$\delta = 10^5 E_{\gamma} 1,6 \cdot 10^{-13} \mu_{en}^m(E_{\gamma}), \quad c \text{ Gy cm}^2 / \text{photon}, \quad (1)$$

in which E_{γ} is the photon energy, in MeV;

$\mu_{en}^m(E_{\gamma})$ – photon energy-absorption coefficient for air with energy E_{γ} ;
in cm²/g, $1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J/MeV}$ – transition coefficient from joules to MeV.

The values of δ for photon energy less than 10 MeV were taken from article [3], and for large photon energies are calculated using the formula (1.1) using $\mu_{en}^m(E_\gamma)$, taken from article [6]. The obtained values δ are shown in table 2.

Table 2 – Specific dose coefficients for photons of different energies, c Gy cm² / photon*10⁻⁹

E_γ	0.1	0.2	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	40	50
δ ,	0.0037	0.0086	0.238	0.45	0.756	1	1.22	1.43	1.62	2.01	2.33	3.26	4.26	6.19	8.13	10.6

The total absorbed dose rate was then calculated using the formula (2):

$$\dot{D} = \int \varphi(E) \delta(E) dE, \quad (2)$$

Using linear interpolation.

Obtaining the characteristics of the photon fields at source energy of 10 MeV allowed us to compare the results obtained in this study with the available literature data and thus was used to test the calculation methodology and software used in this study.

Spatial distributions of the absorbed dose

Figure 2 and figure 3 show the spatial distribution of the total absorbed dose rate in air, taking into account the scattered radiation in Lead for two types of photon radiation sources, normalized to the unit source dose. Moreover, in the figure 1 for a point isotropic source, the results are multiplied by $4\pi R^2$, where R is the distance from the source to the detection point, to take into account geometric attenuation.

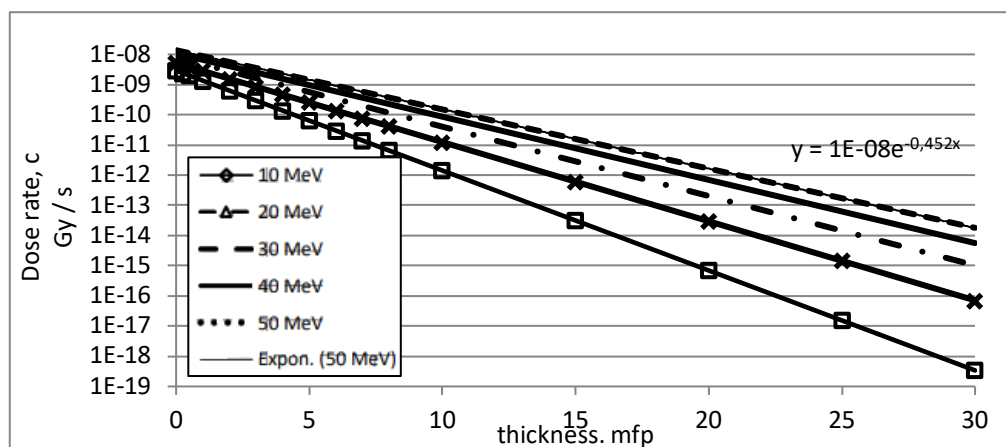


Figure 2 – Spatial distributions in Lead of the power of the absorbed dose of photons in the air from point isotropic photon sources with different energies with a power of 1 photon./s (results multiplied by $4\pi R^2$)

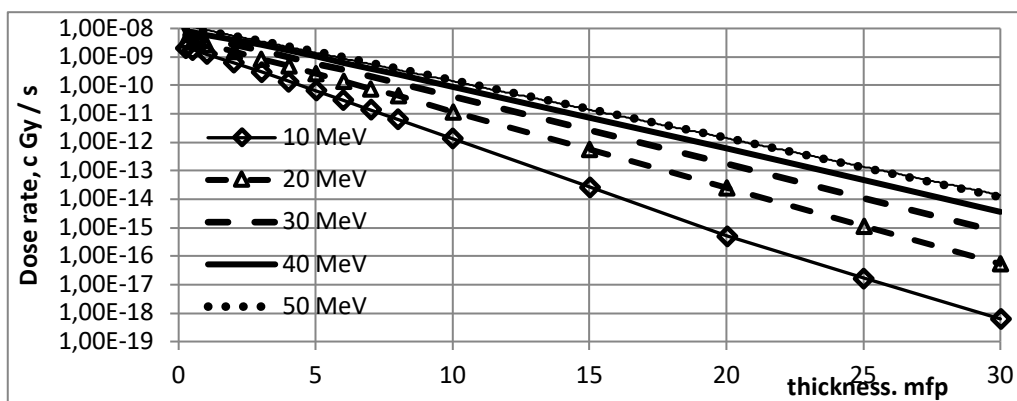


Figure 3 – Spatial distributions in lead of of the absorbed dose of photons in the air from flat monodirectional photon sources with different power energies 1 photon / s. cm²

The attenuation character of the total absorbed dose rate in Lead is close to exponential, but still different from it, as can be seen from the exponential trend lines shown in the figures for sources with different emitted photon energies. For a more visual representation of this fact as an example in figure 4. The data on the distribution of the total dose rate and dose rate of unscattered radiation for a source with photon energy of 30 MeV are presented.

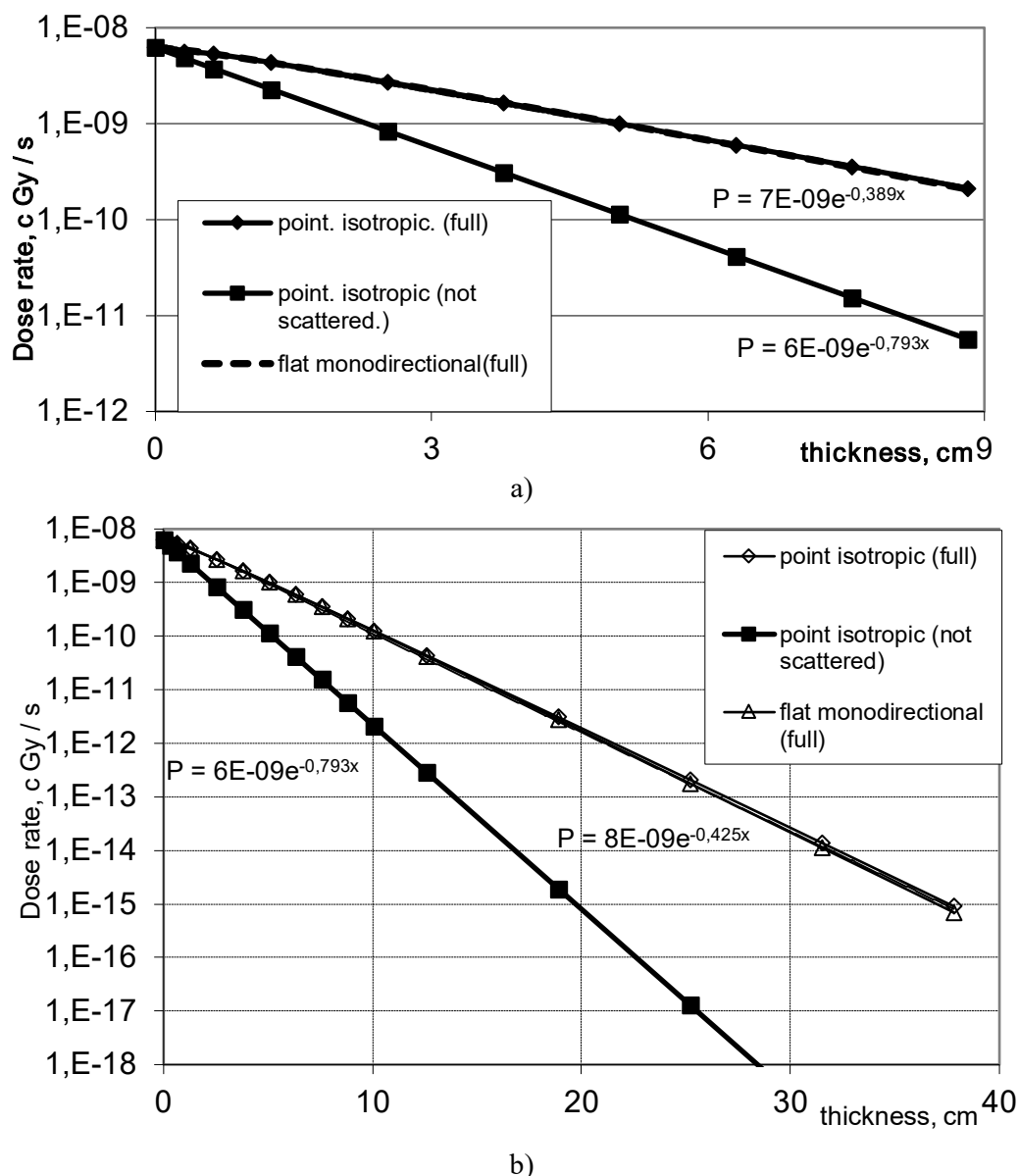


Figure 4 – Spatial distribution of the absorbed dose rate of photons in lead at thicknesses (0-9) cm (a) and (0-40) cm (b) from a point isotropic power of 1 s^{-1} and a flat mono-directional power of $1 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ sources with photon energy of 30 MeV (for a point source, the results are multiplied by $4\pi R^2$)

The attenuation characteristics of the total dose rate for a point isotropic and a flat mono-directional source practically coincide. The drawn trend lines show that upon interpolation of distributions in the 0–10 cm section of Lead thickness, the exponent is 0.389 cm^{-1} , and in the 0–40 cm section, it is 0.425 cm^{-1} and the intersection points of these exponentials with Y axis do not coincide.

The dose rate generated by the undistracted radiation of the source was calculated analytically and Fig. 3 shows, for example, these data for a photon source with energy of 30 MeV.

In the data practical use, the attenuation of photons in Lead, it seems advisable to use dose factors for the accumulation of photons that take into account the difference in the nature

of attenuation from exponential or to use the Exposure Buildup Factors of the power of the total absorbed dose. These results are consistent with those reported in [10].

Attenuation coefficient of absorbed dose rate

These data show that in almost the entire range of Lead shielding thicknesses considered, regardless of the source photon energy, the attenuation coefficient of the absorbed dose, does not depend on the angular distribution of the source photons with an error less than 10-15%. Only when the shielding thickness is 30 *fmp*, the difference increases, which is explained by errors in the calculation of doses for a mono-directional source.

The dependence of the power attenuation coefficient of the absorbed dose on the Lead thickness for point isotropic photon sources of different energies is shown in figure 5.

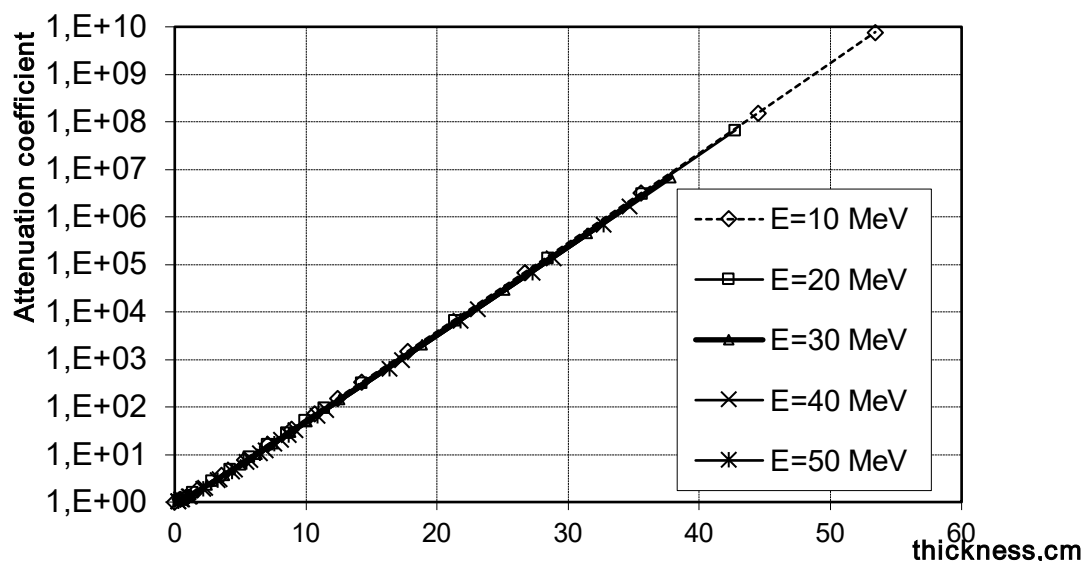


Figure 5 – Dependence of the attenuation coefficient of the absorbed dose in lead on the protection thickness for point isotropic photon sources with different initial energy

It can be noted that the attenuation coefficient of the absorbed photon dose at source energies from 10 to 50 MeV practically does not depend on this energy, if Lead thickness is measured in linear dimensions, and not in mean free path lengths of the source photons. These results are consistent with the results given in the [10].

Tenfold attenuation layer

Often, the values of the tenfold attenuation layer are used to calculate the thickness of the shield that provides a given attenuation coefficient, and their dependence on the thickness of the shielding is often neglected. The inadmissibility of this approach is shown in table 3. Calculated tenfold attenuation layer of dose rate attenuation at different Lead shielding thicknesses for a point isotropic source with different photon energies.

Table 3 – Tenfold attenuation layer of the absorbed dose power by lead shielding, cm

No. layer's	Thickness, cm	Source energy, MeV				
		10	20	30	40	50
1	0-6	6	6	6.2	6.4	6.4
2	6-12	5.4	5.5	5.6	5.6	5.6
3	12-18	5.5	5.5	5.5	5.4	5.4
4	18-23	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
5	23-28	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4
6	28-34	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4

Data analysis shows that the first two layers of tenfold attenuation are weaker than the next, and this is most clearly visible when the first layer differs from the rest. Starting with a layer thickness of 12 cm, the value of the tenfold attenuation layer is almost independent of the thickness of the Lead shielding and the photon energy of the source. In this range, it can be assumed to be equal to 5.4 ± 0.1 cm. As a result, table 3 can be reduced to table 4.

Table 4 – Averaged tenfold attenuation layer of the absorbed dose power by Lead shielding, cm

No. layer's	Thickness, cm	The energy of source photons, MeV				
		10	20	30	40	50
1	0-6	6		6.2	6.4	
2	6-12	5.6±0,1				
others	12-60	5.4±0,1				

Exposure Buildup Factors

In practical data use for photon attenuation in Lead, it seems appropriate, as for concrete and iron, to use dose buildup factors of photon that take into account the difference in the nature of the attenuation from the exponential one, or to use attenuation coefficient of the total absorbed dose [1]. On the basis of data on the total dose rate and the dose of non-scattered radiation, the Exposure Buildup Factors of photon in Lead were calculated, given for two types of sources in table 5.

Table 5 – Exposure Buildup Factors for photons in lead for point isotropic and flat mono-directional sources of photons with different energies

μd	The energy of source photons, MeV							
	20		30		40		50	
	point isotropic source.	flat mono-directional source	point isotropic source	flat mono-directional source .	point isotropic source	flat mono-directional source	point isotropic source	flat mono-directional source
0.25	1.16	1.19	1.17	1.21	1.22	1.23	1.25	1.23
0.5	1.37	1.36	1.42	1.42	1.45	1.46	1.44	1.47
1	1.71	1.72	1.9	1.89	2.01	2.02	2.06	2.06
2	2.68	2.67	3.24	3.23	3.68	3.67	3.85	3.84
3	4.06	4.06	5.38	5.37	6.42	6.42	6.94	6.92
4	6.17	6.13	8.82	8.78	11.04	11.03	12.31	12.26
5	9.26	9.15	14.34	14.22	18.95	18.8	21.44	21.39
6	13.94	13.63	23.23	22.88	32.04	31.67	37.46	37.17
7	20.81	20.19	37.48	36.67	54.03	53.11	65.15	64.28
8	31.2	29.92	60.32	58.52	91.4	89	112.92	111
10	69.3	62.3	154	147	256	246	337	326
15	497	440	1603	1451	3345	3072	5049	4685
20	3488	2908	16207	13802	42327	36963	74254	6.55E+04
25	2.38E+04	1.95E+04	1.60E+05	1.29E+05	5.28E+05	4.35E+05	1.07E+06	9.06E+05
30	1.60E+05	1.34E+05	1.55E+06	1.20E+06	6.49E+06	4.73E+06	1.51E+07	1.20E+07

Comparison of the Buildup Factors obtained in this study with similar data given in [2, 3, 8] for the photon energy of a 10 MeV point isotropic source (tab. 6) showed their consent within 5%. This indicates the reliability of the calculated results obtained and the acceptability of the calculation method used.

Table 6 – Exposure Buildup Factors of photon accumulation for lead for point isotropic and planar mono-directional photon sources with an energy of 10 MeV

μd	The energy of source photons, MeV				
	10				
	point isotropic source	[2]	[3]	[8]	flat monodirectional source
0.25	1.13				1.16
0.5	1.27	1.28	1.29	1.32	1.27
1	1.49	1.51	1.51	1.55	1.48
2	1.97	2.01	1.97	2	1.97
3	2.57	2.63	2.54	2.51	2.55
4	3.33	3.42	3.26	3.13	3.27
5	4.29	4.45	4.17	3.89	4.16
6	5.51	5.73	5.32	4.82	5.26
7	7.06	7.37	6.78	5.97	6.63
8	9.02	9.44	8.6	7.4	8.33
10	14.55	15.4	13.8	11.4	12.96
15	47.46	50.8	42.8	33.7	38.46
20	150	161	128	100	108
25	461	495	369	294	389
30	1378	1470	1030	852	2869

Data in tables 5 and 6 indicate a weak dependence of exposure buildup factors of photons in Lead for the considered energy range of the source on the angular distribution of the source radiation. The difference between the data about buildup factors for a point isotropic source and the results for a flat mono-directional source does not exceed 10% for a Lead thickness below 20 mfp, which allows using any of them when performing approximate shielding calculations. As the thickness increases, the difference increases to 30% and the buildup factors for a point isotropic source is higher than the buildup factors for a flat mono-directional source.

Depending on the photon energy of the source, the expected growth of Buildup Factors is observed, and at large thicknesses of shielding, its values reach 10^6 - 10^7 at the source photon energy of 40-50 MeV. This is due to an increase in the photon attenuation coefficient with an increase in their energy due to the vaporization effect, which leads to a decrease in the contribution of non-scattered radiation, on the other hand, the accumulation of scattered photons with energies in the range of 2-3 MeV, at which there is a minimum in the full cross-section of the interaction of photons with Lead.

In figure, 6 the results obtained for a point isotropic photon source with an energy of 10 MeV are compared with the available literature data. It can be seen that they coincide with an error not exceeding 10%, which is a criterion for the reliability of the calculation method used.

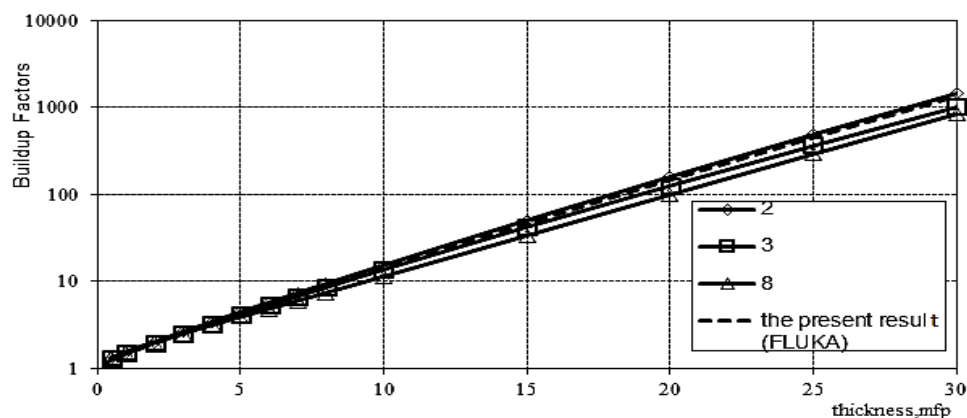


Figure 6 – Comparison of Exposure Buildup Factors of photon in lead for a point isotropic photon source (FLUKA) with an energy of 10 MeV obtained in different literatures

Comparison of the exposure buildup factors obtained in this study with similar data given in [2, 3, 8] for the photon energy of a 10 MeV point isotropic source (table 5.) showed their agreement within 5% . This indicates the reliability of the calculated results obtained and the acceptability of the calculation method used.

In figure 7 the calculated Buildup Factors for Lead are compared with similar data obtained in [9] for sources of bremsstrahlung photon radiation generated by electrons with different energies. For all source photon energies, the buildup factors for mono-directional sources are higher than the corresponding buildup factors for bremsstrahlung radiation sources.

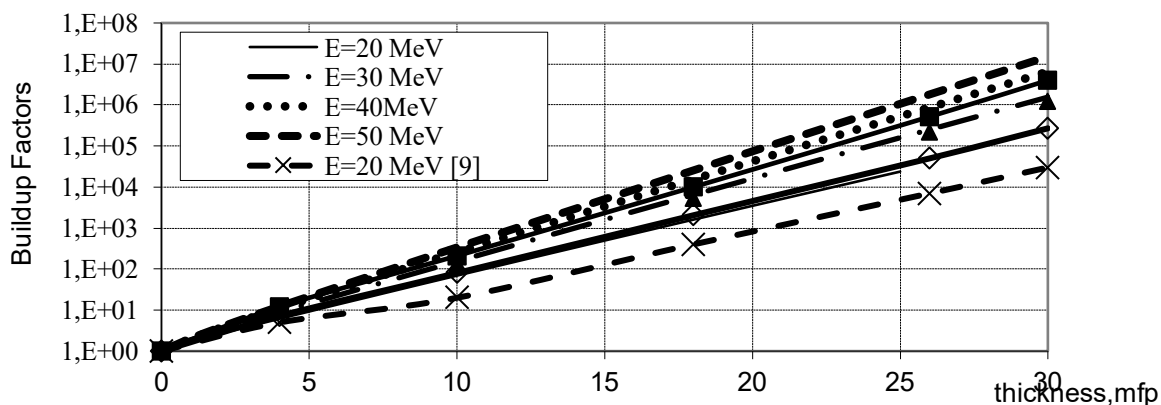


Figure 7 – Comparison of Buildup Factors of photon for lead obtained for monoenergetic photon sources in this article and sources of bremsstrahlung [9]

Table 7 – Lead Barrier Corrections

mfp	5					10				
E, MeV	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
δ	0.979	0.979	0.980	0.980	0.980	0.982	0.978	0.982	0.978	0.976

In the considered range of material thicknesses, these corrections are independent of the photon energy of the source and the thickness of the shield and are equal to 0.980 ± 0.002 for lead.

Conclusion

Based on the results calculations of the dose characteristics of photon fields in the materials under consideration in the barrier geometry at shield thicknesses above 3 mfp, corrections for the barrier shielding were determined in the form of the ratio of buildup factors in the barrier geometry to similar ones in an infinite medium. In the considered range of material thicknesses, these corrections do not depend on the photon energy of the source and the shield thickness, which are equal to 0.980 ± 0.002 for Lead. Asymptotic Tenfold attenuation layer for Lead was obtained in [9, 11] depending on the energy of the electrons accelerators. In the range of electron energies of 20-100 MeV, which corresponds to the effective photon energy of the bremsstrahlung radiation of about 6-33 MeV [7], they are practically independent of the electron energy. The obtained characteristics of the photon dose attenuation in various shielding materials for photon sources with energies in the range from 10 to 50 MeV Supplement the data that are not available in the literature for photon energies of sources above 30 MeV and provide more accurate estimates of the required thickness of shielding against the bremsstrahlung radiation of electronic accelerators.

REFERENCES

- [1] Sakharov V.K., Borisenko A.V., Dozovyye faktory nakopleniya v betone, zheleze i svintse dlya istochnikov monoenergeticheskikh fotonov s energiyami ot 10 do 50 MeV [Dose factors of

- accumulation in concrete, iron and lead for monoenergetic photon sources with energies from 10 to 50 MeV]. *ZH. Atomnaya energiya* [Atomic energy], 114, issue .6, 2014 (in Russian).
- [2] American National Standard. Gamma-Ray Attenuation Coefficients and Buildup Factors for Engineering Materials // ANSI/ANS-6.4.3-1991
 - [3] Mashkovich V.P., Kudryavtseva A.V. Zashchita ot ioniziruyushchikh izlucheniya [Protection against ionizing radiation]. Spravochnik. M.: Energoatomizdat, 1999. P.494. (in Russian)
 - [4] Yukio FUJITA, Hidetoshi SAITO and Atsushi MYOJOYAMA, J. Bremsstrahlung and Photoneutron Leakage from Steel Shielding Board Impinged by 12-24 MeV Electrons Beams // *Radiat. Res.*, 50, 363–369 (2009).
 - [5] Fasso A., Ferrari A., Sala P.R. Electron-Photon Transport in FLUKA: Status // *Advanced Monte Carlo for Radiation Physics, Particle Transport Simulation, and Applications: Proc. of the Monte Carlo 2000 Conf., Lisbon, 2000. Berlin; Heidelberg: Springer, 2001. P. 159–164*
 - [6] E. Storm, K.H. Israel'. Secheniya vzaimodeystviya gamma-izlucheniya [Cross sections for the interaction of gamma radiation]. Spravochnik. Per. s angl. Pod red. Klimanova V. A. Chistova Ye. D. M. Atomizdat. P.1973. 252 (in Russian).
 - [7] Gigiyenicheskiye trebovaniya o razmeshchenii i ekspluatatsii uskoriteley elektronov s energiyey do 100 MeV [Hygienic requirements for the placement and operation of electron accelerators with energies up to 100 MeV]. SanPin 2.6.1.2573-10, 2010 (in Russian).
 - [8] A. Ashimizu, T. Onda, Y. Sakamoto. Calculation of Gamma-Ray Buildup Factors up to Depths of 100 mfp by the Method of Invariant Embedding, III Generation of Improved Data Set. *J. Nucl. Sci. and Technology*. V41 №4 2004. P. 413-424.
 - [9] V.I. Bespalov. Lektsii po radiatsionnoy zashchite [Lectures on radiation protection]. Uchebnoye posobiye. 3-ye izdaniye. Tomsk. Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2011. P.348 (in Russian).
 - [10] Sakharov V.K., Kratnosti oslableniya dozy fotonov v betone, zheleze isvintse dlya monoenergeticheskikh istochnikov s energiyami ot 10 do 90 MeV [Multiples of attenuation of the dose of photons in concrete, iron and lead for monoenergetic sources with energies from 10 to 90 MeV]. *ZH.*
 - [11] NCRP. Radiation Protection Design Guidelines 1-100 MeV Particle Accelerator Facilities // NCRP Report №51, 1977.

Photon Radiation Fields Characteristics in Lead for Photon Sources With Energies From 10 to 50 MeV

I.K. Alhagaish¹, V.K. Sakharov

Institute of Nuclear Physics and Technology (INP&T), National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409

¹ORCID iD: 0000-0003-0099-153X

Wos Researcher ID: AAE-8983-2019

e-mail: alhigesh@gmail.com

Abstract – According to Monte Carlo calculations of spatial distributions of photon energy in Lead from point isotropic and plane mon-directional monoenergetic sources with energies of 10-50 MeV, define the attenuation coefficient of air Kerma and the dose buildup factors are determined for the studied material. The calculations take into account the contribution of fluorescence, annihilation radiation, and bremsstrahlung radiation. The independence of the Buildup Factors and attenuation coefficient from the angular distribution of the source radiation and the weak dependence of the attenuation coefficient on its energy in the range of 30-50 MeV are shown. Corrections for barrier protection were determined and their independence from the thickness of the shielding material and the photon energy of the source was noted. The obtained information makes it possible to reduce errors in the results of calculations of the thickness for anti-radiation protection of electronic accelerators at high energies, using the developed engineering methods of calculation. The obtained information can also be used in calculations of protection against bremsstrahlung radiation of electronic accelerators by engineering methods.

Keywords: electronic accelerators, bremsstrahlung radiation, protection, dose, accumulation factor, attenuation Multiplicity, Monte Carlo.

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

УДК 338.2 ; 332.142

**СОУЧАСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАРКЕТИНГЕ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

© 2020 В.А. Руденко*, М.В. Головки*, С.П. Агапова*, Ж.С. Рогачева*,
В.Г. Ткачев*, А.В. Анцибор*, А.Н. Сетраков**

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

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

В статье рассматриваются некоторые проблемы обеспечения социально-экономической безопасности территорий размещения объектов атомной энергетики на примере г. Волгодонска, представлена их динамика. Авторы презентуют стартовые результаты проектной работы инициативного сообщества города, ориентированной на благоустройство территории. Отмечена важность следования принципам маркетинга, соучастного проектирования, методики тактического урбанизма при разработке стратегий развития территорий. Определены целевые и мотивационные ориентиры для всех групп стейкхолдеров. Поставлены задачи и основные направления соучастия в проекте. Обозначена роль ключевого партнера и эксперта проекта – Агентства стратегических инициатив.

Ключевые слова: объекты атомной энергетики, АЭС, социально-экономическая безопасность, территория, ГК «Росатом», стейкхолдеры, Агентство стратегических инициатив, вовлечение жителей.

Поступила в редакцию 03.03.2020

После доработки 12.03.2020

Принята к публикации 26.03.2020

Обеспечение социально-экономической безопасности является основой эффективности развития территорий, поскольку определяет возможности стабильного и в длительной перспективе производства достаточного количества экономических благ на душу населения. Рост уровня благосостояния населения и развитие человеческого капитала составляет стратегическую цель государственного и муниципального управления и отсутствие действенных механизмов по ее реализации может негативно сказаться на социальной стабильности и доверии действующей власти. Именно поэтому в целях оценки состояния социально-экономической безопасности необходимо четко определять существующие угрозы и источники их возникновения и принимать меры по их нивелированию. Многие авторы отмечают необходимость поддержания не только материальных, но и социально-культурных условий для создания и развития человеческого потенциала территории, что более точно соответствует сложности и многоаспектности указанного целевого ориентира, позволяет преодолеть высокий уровень социальной поляризации, напряженности и криминализации общества [1-4].

Особое значение решение указанных задач приобретает на территориях размещения объектов атомной энергетики, где крайне актуально создание условий для нормального функционирования предприятий и организаций атомной

промышленности, развития государственно-частного партнерства, подготовки и переподготовки кадров, стимулирования инновационной и предпринимательской активности. Одним из потенциально-опасных и приоритетных факторов, способных послужить причиной тяжелой аварии на АЭС в современной России, является фактор социальный. Люди, поставленные в условия выживания, не в состоянии проявлять ответственность, обеспечивать должную культуру эксплуатации АЭС. Именно поэтому необходимо создать в атомградах такие социально-экономические условия, чтобы лучшие кадры страны стремились работать на потенциально опасных объектах атомной энергетики. Как отметил генеральный директор ГК «Росатом» А.Е. Лихачев, необходимо «работать над повышением качества жизни в 20 городах присутствия предприятий «Росатома», обеспечивая «здоровый образ жизни, его пропаганду, развитие, поддержку» [5].

Решение стратегических вопросов развития территорий размещения АЭС без участия их непосредственного потребителя/пользователя – населения, – невозможно. Территория – это продукт, которым пользуются люди, на ней проживающие, и, согласно законам маркетинга, именно они оценивают ее полезность и ценность, инвестиционную привлекательность и пригодность для организации жизнедеятельности. В связи с этим, принцип демократизации управления здесь должен доминировать, а процесс авторитарного государственного и муниципального управления – уступать место менеджменту территорий, руководствующемуся объективными рыночными законами [6].

Вовлечение жителей в решение проблем адаптации и совершенствования инфраструктурной среды территории является залогом успешного развития общественного пространства и подтверждается результатами многочисленных исследований [7-11]. Это создание механизмов для участия всех стейкхолдеров в принятии решений, разработке и реализации проектов благоустройства. Его суть заключается в формировании сообщества людей, доверяющих друг другу и участвующих в развитии территории на протяжении всего проекта и после его реализации, а не в проведении встреч с горожанами для формального согласования решений экспертов и муниципалитета. В число стейкхолдеров входят жители, на которых влияют или могут повлиять проектные решения, пользователи территории, люди, проживающие рядом, городские сообщества, общественные объединения, активисты, организаторы мероприятий, предприниматели, инвесторы, собственники недвижимости и земельных участков.

Вовлечение жителей в проекты благоустройства общественных пространств создает возможность для участия людей в принятии решений о развитии своего города, позволяет муниципалитету наиболее эффективно распределять ресурсы с учетом интересов и возможностей местных жителей, а также способствует тому, чтобы появляющиеся общественные места способствовали улучшению качества жизни и предоставляли новые возможности для горожан. Основная задача – применить альтернативный подход к созданию проектов городского развития (рис. 1).

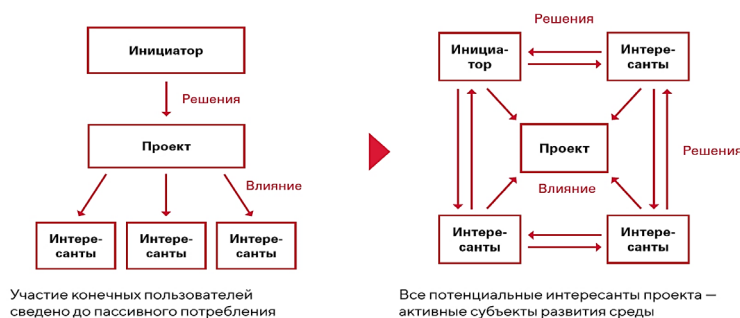


Рисунок 1 – Альтернативный подход к созданию проектов городского развития [8]
[An alternative approach to creating urban development projects]

Территории городов размещения объектов атомной энергетики должны являться объектом пристального внимания и органов власти, и ГК «Росатом» в силу специфики их производственного сектора.

Об уникальности одного из атомградов – г. Волгодонска, – отмечено в ряде публикаций [12]. В то же время, существует ряд проблем социально-экономического развития, связанных с нерелевантными методами и инструментами их разрешения в течение длительного времени. Среди них:

- износ системы водоснабжения (более 70%);
- износ канализационной сети (более 70%);
- отсутствие твердого покрытия дорог протяженностью более 112 км;
- нехватка мест в детских садах, школах;
- дефицит кадров в медицинских учреждениях.

В современных условиях ресурсы муниципального бюджета являются недостаточными для преодоления указанных сложностей, в том числе, в силу изменения его доходной части в результате:

- отмены с 2015 г. передачи в муниципальный бюджет налога на прибыль 5,5%;
- отмены с 2016 г. передачи в муниципальный бюджет налогов, взимаемых по упрощенной системе налогообложения (33,75%);
- снижения кадастровой стоимости земельных участков отдельных видов;
- снижения норматива отчислений НДФЛ с 30% до 25%,

Динамика производства и отчислений по г. Волгодонску представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Динамика производства и налоговых отчислений по г. Волгодонску (в % к 2010 г.) [13]
[Dynamics of production and tax deductions for the city of Volgogradsk (as% of 2010)]

В числе проблем отмечена и неблагоустроенность территории города, несмотря на размещение достаточно крупных предприятий ГК «Росатом» и регионального машиностроительного кластера, на которых трудоустроено значительное число горожан. Отсутствие современных инфраструктурных объектов, зон организации досуга и отдыха существенным образом снижает ее привлекательность для молодых,

перспективных специалистов, а также для инвесторов. В этих условиях необходимым является объединение усилий всех групп заинтересованных лиц, например, в формате соучастного проектирования. В данной статье будет рассмотрен предложенный авторами алгоритм его реализации на примере отдельного инфраструктурного объекта, который, при его успешной реализации, может быть тиражирован для других социальных проектов.

На территории города длительное время существует необустроенный участок, выделенный в генеральном плане для детского парка. Однако, в силу ряда обстоятельств, вызванных финансовыми сложностями, характерными для многих муниципалитетов, его освоение идет крайне медленными темпами. В то же время, проектный и ситуативный подход, реализуемый на федеральном уровне для стимулирования и поддержки перспективных территорий, позволяет задействовать эффективные инструменты в рамках муниципального менеджмента. Так, Правительством РФ создана российская автономная некоммерческая организация «Агентство стратегических инициатив» (далее – АСИ) для осуществления комплекса мер в экономической и социальной сферах. В частности, для продвижения приоритетных проектов, реализации мероприятий по улучшению предпринимательской среды в стране, развитию профессиональных кадров и т.п. [14]. АСИ оказывает поддержку городским лидерам в работе над инициативными проектами на конкурсной основе, ориентировано на объединение усилий общества, бизнеса и государства.

Инициативная группа общественных деятелей г. Волгодонска, включающая представителей Волгодонского инженерно-технического института – филиала ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», сотрудников администрации г. Волгодонска, приняла решение об участии в конкурсе АСИ по целевому отбору в программу акселерации городских инициатив в 2020 г. с проектом создания детского парка на территории города.

Для участия были выполнены следующие требования:

- разработан проект в направлении функционального наполнения городских территорий присутствия ГК «Росатом»;
- сформирована команда из представителей различных сфер (муниципальной власти, бизнеса и общества);
- записано мотивационное видео [15].

Выполнение базовых критериев отбора (востребованность, новизна и оригинальность, охват населения, оптимальность бюджетных затрат) позволило включить проект в программу акселерации и сопровождения АСИ совместно с ГК «Росатом», которая предполагает следующие формы поддержки:

- сбор идей и их оценка в рамках специализированного экспертного сообщества;
- предоставление доступа в публичные и актуализируемые базы знаний;
- разработка концепций системных документов и их доработка;
- организация голосования за проекты и проведение опросов среди жителей города (опрос по предлагаемому инициативной группой проекту запущен на краудплатформе «100 городов» [16];
- проведение конкурсных процедур с открытой и закрытой подачей заявок;
- помощь с экспертизой заявок, поданных на конкурсы.

В результате проведенного с представителями АСИ экспертного питчинга, инициативной группой было принято решение об использовании механизмов соучастного проектирования для целей разработки и реализации проекта создания детского парка. Для этого были определены целевая аудитория и основные проблемы,

которые будет призван разрешить данный проект, поставлена цель и выявлены группы стейкхолдеров.

Кризисный период, характерный для многих российских городов, привел к формированию «болевых точек» для различных заинтересованных групп, таких как:

- местная власть (взаимное отчуждение и недоверие между местной властью и населением; нехватка финансовых ресурсов для благоустройства территории города; низкий уровень инвестиционной привлекательности города);
- местные жители (отсутствие комфортной среды для отдыха и самореализации);
- местный бизнес (нехватка квалифицированных кадров; низкий уровень рентабельности инвестиций; снижение емкости рынка сбыта).

Отсутствие действенных механизмов для решения указанных проблем обусловлено нехваткой финансовых ресурсов в местном бюджете, достаточно низким уровнем инициативы со стороны всех стейкхолдеров, апатией и неразвитой гражданской позицией у населения. В подобных условиях, взаимная работа над рассматриваемым в статье проектом позволит получить территорию, адаптированную для организации досуга и отдыха горожан с разнообразными зонами активности, пригодная для проведения общегородских и корпоративных мероприятий. Активность, организованная на основе паритета интересов, будет способствовать развитию согласованности действий бизнеса, населения и власти, а рост уровня взаимного доверия приведет к снижению расходов на контролирующие и правоохранительные мероприятия. Расширение рынка труда, снижение «кадрового голода» будет стимулировать повышение конкурентоспособности предприятий города, повышая тем самым инвестиционную привлекательность территории.

Идентификация проблемы позволила сформулировать цель проекта – разработка проекта создания парка на территории города Волгодонска с целью интеграции интересов горожан, местной власти и бизнеса на принципах консолидации интересов, эффективности и ответственности, что позволит снизить уровень социальной напряженности в городе, обеспечить инвестиционную привлекательность территории и рост благосостояния местного населения.

Задачами вовлечения местных жителей явились следующие:

- снижение оттока молодежи из города, преодоление «кадрового голода» предприятий;
- снижение социальной напряженности в городе относительно использования муниципальной земли не по назначению;
- развитие рекреационной инфраструктуры;
- создание единой коммуникационной социальной среды, преодоление апатии и дистанцирования горожан;
- выявление проблем, запросов и интересов всех групп потребителей продукта.

Темами и идеями, которые могут объединить население в рамках проекта, отмечены следующие:

- организация места для семейного и молодежного отдыха;
- интерактивные площадки для реализации творческих проектов горожан (лекториум, коворкинг-зона, «город мастеров», молодежные региональные фестивали («Фестиваль народов Дона», «Южный Ветер» и т.п.);
- создание высокотехнологичной экозоны;
- возможность реализации бизнес-инициатив в сфере досуга и отдыха.

Далее представим выявленные в г. Волгодонске группы интересантов и партнеров проекта, отметив их мотивацию и способы участия в реализации. Именно эти представители стейкхолдеров в дальнейшем будут движущей силой реализации данного проекта.

Таблица 1 – Интересанты и партнеры проекта создания детского парка [Interesters and partners of the project for creating a children park]

Кто это может быть? (конкретные люди, сообщества, объединения, организации и т.п.)	Мотивация В чем может быть его интерес и личная ценность участия в проекте?	Участие и вклад как этот субъект может участвовать в проекте? (конкретные действия и мероприятия)
Сообщества (активисты лидеры мнений, территориальные, творческие, спортивные, экологические, сообщества по интересам и т.п.)		
Волгодонский инженерно-технический институт «МИФИ»	профориентация и обеспечение контингента, организация досуга и отдыха студентов, предотвращение развития асоциальных привычек и инициатив	личное участие в разработке проекта, участие в опросах, волонтерство
Молодежный парламент	самореализация, наполнение портфолио	личное участие в разработке проекта, в привлечении и объединении молодежи города, креативные идеи, волонтерство
Советы микрорайонов	облагораживание территорий, прилегающих к их микрорайонам	инициирование перемен и вовлечение жителей для их личного участия в волонтерских мероприятиях
Экономические субъекты (предприниматели (коммерческие и социальные), предприятия (малые, средние, крупные), градообразующие предприятия)		
Предприятия ГК «Росатом»	имиджевые составляющие, внешняя корпоративная социальная ответственность	участие в разработке и финансировании проекта
Предприятия МСБ	контракты на выполнение заказов, реклама и увеличение числа клиентов	выполнение работ по озеленению и благоустройству, пожертвования
Политические субъекты (муниципалитет, район, область, депутаты)		
Администрация г.Волгодонска и Волгодонского района, руководители экономических департаментов, архитектуры и строительства, PR-службы	снижение социальной напряженности, решение демографической проблемы города, имидж действующей власти, актуализация генплана города в соответствие с современными тенденциями градостроительства	предоставление нормативно-справочной и организационно-распорядительной информации, вовлечение сотрудников ключевых подразделений администрации в подготовку проекта
Депутаты Законодательного Собрания Ростовской области и городских округов	активная гражданская позиция, высокий уровень социальной ответственности, поддержание имиджа «атомграда» в регионе, репутационная составляющая, подготовка к выборам в городскую думу	коммуникации с Росатомом, предприятиями МСБ, главами администраций районов, консультативная помощь, трансляция интересов горожан команде проекта и финансовая поддержка в рамках депутатских бюджетов
Департамент городского хозяйства г.Волгодонска	выполнение требований по благоустройству территории в соответствии с СанПиН	технические возможности, специалисты управления городского хозяйства

Продолжение таблицы 1

Эксперты и профессионалы архитекторы, социологи, краеведы, историки, представители вузов, организаторы событий, экологи, IT-специалисты и т.п.		
Кафедры экономики и социально-гуманитарных дисциплин, строительных производств, информационных и управляющих систем ВИТИ НИЯУ МИФИ	подготовка и реализация проектов в рамках курсовых и выпускных работ, подготовка научных публикаций на основе прикладных исследований	топографическая съемка, замеры, разработка 3Д-моделей, экономическое обоснование проекта, подготовка, проведение и обработка результатов социологических опросов, реализация инструментов вовлечения населения в проект
отдел архитектуры и градостроительства г. Волгодонска, архитектурные бюро города	развитие городской среды	подготовка проектно-сметной документации
Агентство Стратегических инициатив, г. Москва	реализация программы «100 городов»	обучение команды проекта, экспертиза проекта, помощь в поиске инвесторов, информационное сопровождение проекта
Национальная палата инженеров, г. Москва	личное участие отдельных экспертов, выходцев из г. Волгодонска, эмоциональная связь с городом	экспертиза проекта, консультативная помощь
Пользователи (местные жители, различные социальные группы, представители общественных зданий, объектов социальной и культурной инфраструктуры вблизи места реализации проекта)		
Городские сообщества	ощущение сопричастности к разработке социально значимых проектов и мероприятий города, патриотизм, гордость от вовлеченности	участие в общественных слушаниях, поддержка, волонтерство
Молодежь и студенты	получение нового, интересного места для организации встреч, досуга, отдыха, культурно-творческих мероприятий	активность в соцсетях, продвижение проекта с интернет-сообществах, участие в общественных слушаниях, поддержка, волонтерство

Вовлечение указанных групп стейкхолдеров в разработку и реализацию проекта позволит обеспечить не просто инициативу, но и реальные действия, направленные на формирование нового качества проведения времени в городе, способного решить проблемы и удовлетворить потребности горожан. Запуск процедуры тактического урбанизма будет ориентировано на быстрое и качественное изменение городской среды с минимальными затратами, не связанными с капитальным строительством, но позволяющее, в свою очередь, создать атмосферу партнерства и сотрудничества местной власти, населения и бизнеса в конкретном муниципальном образовании [17-18]. Это создаст предпосылки социально-экономической безопасности территории размещения предприятий атомной энергетики, что, в свою очередь, повысит уровень доверия населения к потенциально опасным производственным объектам, ляжет в основу технологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Василенко, И. С.* Лидерство в культуре безопасности и вопросы его формирования в вузе, ориентированном на подготовку специалистов для атомной отрасли / И. С. Василенко, Ю. А. Евдошкина, В. А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 3. – С. 127-136.
2. *Головко, М. В.* Факторы инновационного развития в системе экономической безопасности территорий: статистический подход / М. В. Головко, О. Ф. Цуверкалова // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2019. – № 1. – С. 5-10.
3. *Golovko, M.V., Kuznetsova V.P.* Compliance risks of industrial enterprises as a result of inefficiency of the institutional environment of the macro-region / Proceedings of the international scientific conference competitive, sustainable and secure development of the regional economy: response to global challenges (CSSDRE 2018) / AEBMR-Advances in Economics Business and Management Research. 2018. T. 39. P. 36-41.
4. *Golovko, M.V., Agapova S.P., Antsibor A.V., Sukhoveeva. A.A., Andreeva O.V.* Social entrepreneurship as a promising way to economic security. Dilemmas contemporáneos: Educación, Política y Valores. 2019. T. 6. № S7. P. 33.
5. В Москве завершил работу III Форум городов атомной энергетики и промышленности. – URL : <https://www.rosatom.ru/v-moskve-zavershil-rabotu-iii-forum-gorodov-atomnoy-energetiki-i-promyshlennosti/> (дата обращения: 29.02.2020).
6. *Желтов, А.* Почему городским активистам, чиновникам и проектировщикам в России сложно понять друг друга / А. Желтов // UrbanUrban. 21 марта 2014 года. – URL : <http://urbanurban.ru/blog/reflection/381/Pochemu-gorodskim-aktivistam-chinovnikam-i-proektirovshikam-v-Rossii-slozhno-ponyat-drug-druga> (дата обращения: 29.02.2020).
7. *Зимильдинова, С. К.* От публичных слушаний к соучаствующему проектированию / С. К. Зимильдинова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 3. – С. 166-170.
8. *Санофф, Г.* Соучаствующее проектирование. Практики общественного участия в формировании среды больших и малых городов / Г. Санофф; пер. с англ.; [ред.: Н. Снигирева, Д. Смирнов]. – Вологда : Проектная группа 8, 2015. – С. 7.
9. *Грибер, Ю. А.* – Тактический урбанизм как форма модернизации повседневности / Ю. А. Грибер, А. Г. Егоров // Социодинамика. – 2015. – № 9. – С. 1-79.
10. *Муштей, Н. А.* Партиципативное взаимодействие и социальная стигмергия как процессы социальной самоорганизации в современном обществе / Н. А. Муштей // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Философия. Психология. Педагогика. – 2018. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 270-274.
11. *Бахарев, В. В.* Участие сетевых сообществ в формировании социального капитала в процессе партиципативного проектирования архитектурно-ландшафтного пространства / В. В. Бахарев, В. А. Демина // Регионология. – Т. 27. – № 2. – 2019. – С. 354-381.
12. *Руденко, В. А.* К вопросу об эффективных практиках подготовки кадров для реализации экспортоориентированной стратегии ГК «Росатом» / В. А. Руденко, М. В. Головко, Ю. А. Евдошкина, Н. П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 1(30) – С. 124-135.
13. Депутаты донского парламента уделяют особое внимание безопасности функционирования Ростовской АЭС. – URL : http://zsro.ru/press_center/news/1/20583/ (дата обращения: 29.02.2020).
14. Распоряжение Правительства РФ от 11 августа 2011 г. № 1393-р «Об учреждении автономной некоммерческой организации «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов». – Правительство РФ. Дата обращения 21 июля 2012. Архивировано 4 сентября 2012 года. – URL : <http://government.ru/gov/results/16183/> (дата обращения: 29.02.2020).
15. Мотивационное видео по проекту «Детский парк «Молодежный». – URL : https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=C5DchzEb4ek&feature=emb_logo (дата обращения: 29.02.2020).
16. Опрос по проекту «Детский парк «Молодежный». – URL : <https://100gorodov.ru/improject-4851> (дата обращения: 19.05.2020).
17. *Lydon M., Garcia A.* Tactical Urbanism. Short-term Action for Long-term Change. Washington: Island Press, 2015. 256 p.
18. *Вахштайн В. С.* Пересборка города: между языком и пространством / В. С. Вахштайн // Социология власти. – 2014. – № 2. – С. 9-38.

REFERENCES

- [1] Vasilenko I.S., Evdoshkina Yu.A., Rudenko V.A. Liderstvo v kul'ture bezopasnosti i voprosy yego formirovaniya v vuze, oriyentirovannom na podgotovku spetsialistov dlya atomnoy otrasli [Leadership in Safety Culture and the Issues of its Formation in University Focused on Training Specialists for the Nuclear Industry]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. No. 3. P. 127-136 (in Russian).
- [2] Golovko M.V., Tsuverkalova O.F. Faktory innovatsionnogo razvitiya v sisteme ekonomicheskoy bezopasnosti territorii: statisticheskiy podkhod [Factors of Innovative Development in the System of Economic Security of Territories: Statistical Approach]. Teoriya i praktika servisa: ekonomika, sotsial'naya sfera, tekhnologii [Theory and Practice of Service: Economics, Social Sphere, Technology]. 2019. No.1. P. 5-10 (in Russian).
- [3] Golovko M.V., Kuznetsova V.P. Compliance Risks of Industrial Enterprises as a Result of Inefficiency of the Institutional Environment of the Macro-Region / Proceedings of the International Scientific Conference Competitive, Sustainable and Secure Development of the Regional Economy: Response to Global Challenges (CSSDRE 2018) / AEBMR-Advances in Economics Business and Management Research. 2018. T. 39. P. 36-41.
- [4] Golovko M.V., Agapova S.P., Antsibor A.V., Sukhoveeva. A.A., Andreeva O.V. Social Entrepreneurship as a Promising Way to Economic Security. Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores. 2019. T. 6. № S7. P. 33.
- [5] V Moskve zavershil rabotu III Forum gorodov atomnoy energetiki i promyshlennosti [In Moscow, the III Forum of the Cities of Nuclear Energy and Industry Ended]. URL: <https://www.rosatom.ru/v-moskve-zavershil-rabotu-iii-forum-gorodov-atomnoy-energetiki-i-promyshlennosti/> (in Russian).
- [6] Zheltov A. Pochemu gorodskim aktivistam, chinovnikam i proyektirovshchikam v Rossii slozhno ponyat' drug druga [Why Is it Difficult for Urban Activists, Officials and Designers in Russia to Understand Each Other]. UrbanUrban. 21 marta 2014 goda [UrbanUrban. March 21, 2014]. URL: <http://urbanurban.ru/blog/reflection/381/Pochemu-gorodskim-aktivistam-chinovnikam-i-proektirovshchikam-v-Rossii-slozhno-ponyat-drug-druga> (accessed: 02/29/2020) (in Russian).
- [7] Zimuldinova S.K. Ot publichnykh slushaniy k souchastvuyushchemu proyektirovaniyu [From Public Hearings to Participatory Design]. Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk [International Journal of Humanities and Natural Sciences]. 2018. No 3. P. 166-170 (in Russian).
- [8] Sanoff Henry. Souchastvuyushcheye proyektirovaniye. Praktiki obshchestvennogo uchastiya v formirovanii sredy bol'shikh i mal'kh gorodov [Collaborative Design. The Practice of Public Participation in Shaping the Environment of Cities and Towns]. Per. s angl.; (red.: N.Snigireva, D.Smirnov) [Trans. from English; [Ed.: N. Snigireva, D. Smirnov]. Vologda: Proyekt'naya gruppa 8 [Vologda: Project Team 8]. 2015. P. 7 (in Russian).
- [9] Griber Yu.A., Takticheskiy urbanizm kak forma modernizatsii povsednevnosti [Egorov A.G. Tactical Urbanism as a Form of Modernization of Everyday Life]. Sotsiodinamika [Sociodynamics]. 2015. No 9. P. 1-79 (in Russian).
- [10] Mushtey N.A. Partisipativnoye vzaimodeystviye i sotsial'naya stigmergiya kak protsessy sotsial'noy samoorganizatsii v sovremennom obshchestve [Participative Interaction and Social Stigmergy as Processes of Social Self-Organization in Modern Society]. Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Filosofiya. Psikhologiya. Pedagogika [News of Saratov University. New episode. Philosophy Series. Psychology. Pedagogy]. 2018. Vol.18. Issue 3. P. 270-274 (in Russian).
- [11] Bakharev V.V., Demina V.A. Uchastiye setevykh soobshchestv v formirovanii sotsial'nogo kapitala v protsesse partisipativnogo proyektirovaniya arkhitekturno-landshaftnogo prostranstva [The Participation of Network Communities in the Formation of Social Capital in the Participatory Design of Architectural and Landscape Space]. Regionologiya [Regionology]. T.27. No.2. 2019. P. 354-381 (in Russian).
- [12] Rudenko V.A., Golovko M.V., Evdoshkina Yu.A., Vasilenko N.P. K voprosu ob effektivnykh praktikakh podgotovki kadrov dlya realizatsii eksportooryentirovannoy strategii GK «Rosatom» [Issue of Effective Training Practices for Implementing the Export-Oriented Strategy of Rosatom]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. No.1(30). P. 124-135 (in Russian).
- [13] Deputaty donskogo parlamenta udelyayut osoboye vnimaniye bezopasnosti funktsionirovaniya Rostovskoy AES [Deputies of the Don Parliament Pay Special Attention to the Safety of the Functioning of the Rostov NPP]. URL: http://zsro.ru/press_center/news/1/20583/ (in Russian).
- [14] Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 11 avgusta 2011 g. № 1393-r «Ob uchrezhdenii avtonomnoy nekommercheskoy organizatsii «Agentstvo strategicheskikh initsiativ po prodvizheniyu novykh proyektov» [Order of the Government of the Russian Federation of August 11, 2011 No. 1393-r «Establishment of Autonomous Non-Profit Organization» Agency for Strategic Initiatives to

- Promote New Projects»]. Pravitel'stvo RF. Data obrashcheniya 21 iyulya 2012. Arkhivirovano 4 sentyabrya 2012 goda [Government of the Russian Federation. Date of treatment July 21, 2012. Archived on September 4, 2012]. URL: <http://government.ru/gov/results/16183/> (in Russian).
- [15] Motivatsionnoye video po projektu «Detskiy park «Molodezhnyy» [Motivational Video for the Project "Youth Park" Youth]. URL: https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=C5DchzEb4ek&feature=emb_logo (in Russian).
- [16] Opros projektu «Detskiy park «Molodezhnyy» [A Survey of «Children's Park» Youth Project. URL: <https://100gorodov.ru/improject-4851> (in Russian).
- [17] Lydon M., Garcia A. Tactical Urbanism. Short-term Action for Long-term Change. Washington: Island Press, 2015. 256 p.
- [18] Vakhstein V.S. Peresborka goroda: mezhdru yazykom i prostranstvom [Reassembly of the City: between Language and Space]. Sotsiologiya vlasti [Sociology of Power]. 2014. No.2. P. 9-38 (in Russian).

Cooperative Design in Marketing of NPP Location Territories as a Factor of Social and Economic Security

V.A. Rudenko^{*1}, M.V. Golovko^{*2}, S.P. Agapova^{*3}, J.S. Rogacheva⁴,
V.G. Tkachev^{*5}, A.V. Antsibor^{*6}, A.N. Setrakov^{**7}

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

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

¹ORCID iD: 0000-0002-6698-5469

WoS Researcher ID: B-7730-2016

e-mail: VARudenko@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0002-4835-9800

WoS Researcher ID: J-2461-2016

e-mail: MVGolovko@mephi.ru

³ORCID iD: 0000-0002-8484-2912

WoS Researcher ID: E-4842-2017

e-mail: svetlana-1164@mail.ru

⁴ORCID iD: 0000-0002-3363-2691

e-mail: ZSRogacheva@mephi.ru

⁵ORCID iD: 0000-0001-5599-440X

WoS Researcher ID: AAP-73782020

e-mail: VGTkachov@mephi.ru

⁶ORCID iD: 0000-0002-1192-4554

WoS Researcher ID: K-6051-2018

e-mail: AVAntsibor@mephi.ru

⁷ORCID iD: 0000-0001-5599-440X

WoS Researcher ID: AAP-73782020

e-mail: aleksandr-maior@inbox.ru

Abstract – The article discusses some problems of providing the socio-economic security of the territories where nuclear facilities are located using the example of Volgodonsk, their dynamics are presented. The authors present the starting results of the project work of the initiative community of the city focused on the improvement of the territory. The importance of adhering to the principles of marketing, collaborative design, and tactical urbanism in the development of territorial development strategies is noted. Target and motivational guidelines for all groups of stakeholders are defined. The tasks and main directions of complicity in the project are set. The role of the key partner and project expert, the Agency for Strategic Initiatives, is outlined.

Keywords: nuclear energy facilities, nuclear power plants, social and economic security, territory, Rosatom State Corporation, stakeholders, Agency for Strategic Initiatives, involving residents.

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

УДК 338.2

**ИНСТИТУЦИОНАЛЬНО-СТРАТЕГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

© 2020 В.А. Плотников*, А.В. Пролубников**, М.В. Рукинов***

**Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия*

***Военная академия материально-технического обеспечения, Санкт-Петербург, Россия*

****Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина, Санкт-Петербург, Россия*

Сфера обеспечения национальной безопасности – важный объект государственной политики. При управлении ею выделяются стратегический и тактический уровни, каждый из которых имеет свое институциональное закрепление. Помимо этого, могут быть выделены функциональные области национальной безопасности, например, ядерная и радиационная безопасность. В статье проанализированы тексты Стратегии национальной безопасности Российской Федерации и Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации с позиций анализа потенциала стратегического регулирующего воздействия этих документов. Отмечена противоречивость и непоследовательность их текстов, отсутствие комплексности к регламентации институциональных рамок реализации государственной политики в сфере национальной безопасности. Также показано, что между этими важными документами стратегического управления отсутствует какая-либо взаимосвязь. Проведенное исследование позволило авторам сделать вывод, что стратегические документы в сфере обеспечения национальной безопасности Российской Федерации требуют его переработки и корректировки.

Ключевые слова: государственная политика, национальная безопасность, экономическая безопасность, ядерная и радиационная безопасность, «Росатом», экономика России, стратегическое управление.

Поступила в редакцию 06.05.2020

После доработки 04.06.2020

Принята к публикации 08.06.2020

Введение

В системе государственного управления, как и в системе менеджмента организаций, принято выделять стратегический и тактический уровни [1-5 и др.]. При этом, стратегический уровень является, по мнению авторов, определяющим, т.к. именно он задает рамки и направленность действий на уровне тактическом. Если ошибки тактические достаточно легко устранимы, то ошибки стратегические для организаций могут иметь фатальные последствия, а более крупные институциональные образования – государства и регионы – приводить к кризису [6, 7 и др.], выход из которого может потребовать существенных ресурсных затрат.

В этой связи, стратегический уровень в реализации государственной политики является определяющим, более важным. Это требует его четкого институционального закрепления в документах стратегического управления (стратегиях, концепциях, программах, доктринах и т.п.). Важное требование к этим документам – их логичность и непротиворечивость. Несмотря на кажущуюся очевидность этих требований, на практике, к сожалению, они не всегда соблюдаются.

Анализ стратегической компоненты государственной политики обеспечения национальной безопасности России

Ключевым стратегическим документом, регламентирующим процессы обеспечения национальной безопасности России, является Стратегия национальной безопасности Российской Федерации, которая введена в действие Указом Президента Российской Федерации от 31.12.2015 г. № 683. Безусловно, указанная Стратегия – рамочный документ, что определяется ее достаточно общим характером, а также тем, что предметное поле национальной безопасности является довольно широким, оно охватывает множество разнообразных вопросов и направлений, которые, в рамках иерархической логики организации управления «стратегия → тактика», в дальнейшем должны быть раскрыты и детализированно представлены в документах и решениях тактического уровня.

Согласно тексту Стратегии, национальная безопасность страны определяется как «состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав и свобод граждан Российской Федерации..., достойные качество и уровень их жизни, суверенитет, независимость, государственная и территориальная целостность, устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации. Национальная безопасность включает в себя оборону страны и все виды безопасности, предусмотренные Конституцией Российской Федерации и законодательством Российской Федерации, прежде всего государственную, общественную, информационную, экологическую, экономическую, транспортную, энергетическую безопасность, безопасность личности».

Таким образом, анализ вышеприведенной цитаты позволяет сделать вывод, что Стратегия определяет 9 видов безопасности (хотя сделанная в тексте документа оговорка «прежде всего», по нашему мнению, позволяет трактовать этот список расширительно):

- военная безопасность (в документе указана «оборона страны»);
- государственная безопасность;
- общественная безопасность;
- информационная безопасность;
- экологическая безопасность;
- экономическая безопасность;
- транспортная безопасность;
- энергетическая безопасность;
- безопасность личности.

Казалось бы, спектр видов безопасности, представленных в Стратегии, довольно обширен, что позволяет надеяться на комплексный охват реализуемой государственной политикой всех имеющихся в этой сфере проблем, вызовов и угроз. Попробуем оценить: так ли это на самом деле.

В тексте Стратегии также рассмотрены направления обеспечения национальной безопасности Российской Федерации в разрезе национальных интересов, которые не имеют полного структурного соответствия приведенному выше перечню (ниже приводятся цитаты из текста Стратегии, если иное не обговорено специально):

1. Военная безопасность в Стратегии в явном виде не определяется. В то же время, в тексте документа дана отсылка к отраслевому стратегическому документу – Военной доктрине Российской Федерации (утв. Президентом РФ 25.12.2014 г. № Пр-2976), где она определена как «состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внешних и внутренних военных угроз, связанных с применением военной силы или угрозой ее применения, характеризующееся отсутствием военной угрозы либо способностью ей противостоять». Такая трактовка

является противоречивой и по своей сути – тавтологичной, т.к. в Стратегии военная безопасность, а также входящие (согласно Доктрине) в нее государственная, общественная и безопасность личности, определены как одноуровневые категории. Возникает логический парадокс: военная безопасность, с одной стороны, согласно Стратегии, является одноуровневым понятием с безопасностью, например, государственной. С другой стороны, согласно положениям Военной доктрины, она призвана обеспечивать защиту интересов государства, т.е. обеспечивать достижение некоего заданного уровня государственной безопасности, что свидетельствует о разных иерархических уровнях этих категорий в системе национальной безопасности.

2. Государственная и общественная безопасность, это – «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». Такая трактовка, как и ранее отмеченная, противоречива, т.к. не содержит никакого разграничения государственной и общественной безопасности, они рассматриваются как единое целое, что вызывает непонимание – зачем тогда они разграничены в Стратегии при перечислении видов безопасности, если они не рассматриваются в отрыве друг от друга. По нашему мнению, следовало дать им либо полную содержательную трактовку по отдельности, либо объединить в один вид безопасности, например, назвав эту категорию «общественно-государственная безопасность» или как-то иначе. В то же время, как нам представляется, объединение государственной и общественной безопасности в один вид не вполне корректно, т.к. различаются их объекты. В первом случае, объектом выступает государство, в виде совокупности органов власти и управления, а также находящихся в их ведении организаций, а во втором – общество, представленное социальной структурой (страты, классы, демографические, профессиональные, этнические и другие группы, общественные институты).

3. Информационная безопасность в Стратегии вовсе не выделена. В то же время, в России действует Доктрина информационной безопасности Российской Федерации, которая была утверждена Указом Президента Российской Федерации от 5 декабря 2016 г. № 646. В ней информационная безопасность раскрыта достаточно детально. Вероятно, по аналогии с военной безопасностью (см. выше) следовало в Стратегии дать ссылку на эту Доктрину, что придало бы Стратегии концептуальную цельность. Но этого по какой-то причине не сделано. Можно было бы предположить, что Доктрина информационной безопасности утверждена в 2016 году, а Стратегия – ранее, в 2015 году. И этим объяснить описываемую нами нестыковку. Но и этот предположение не является корректным, т.к. на момент утверждения Стратегии действовала предыдущая версия Доктрины, утвержденная Президентом Российской Федерации 9 сентября 2000 г. № Пр-1895.

4. Экологическая безопасность в тексте Стратегии рассматривается в тесной связи с рациональным природопользованием, т.е. с отдельным направлением хозяйственной деятельности. Это направление определяется как «сохранение и восстановление природных систем, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для жизни человека и устойчивого развития экономики; ликвидация экологического ущерба от хозяйственной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата». С позиций современной экономической науки, а также международно признанной Концепции устойчивого развития, рекомендованной ООН как основа для реализации национальной политики в странах мира, совместное рассмотрение экологических и хозяйственных вопросов, конечно, может быть оправданным [8-10 и др.]. Проблематике устойчивого развития социально-

экономической системе и обеспечения зеленого экономического роста посвящено множество исследований и прикладных разработок. Но в рассматриваемом случае возникает неоправданное «пересечение» экологической безопасности с предметным полем экономической безопасности, что, с позиций сугубо классификационных, не вполне корректно, т.к. ставит множество новых вопросов о соотношении указанных категорий, аналогично тому, как это было рассмотрено нами выше при рассмотрении соотношения военной безопасности с другими видами национальной безопасности.

5. Экономическая безопасность. Это направление в тексте Стратегии, несмотря на системообразующий характер этого вида безопасности [11-13 и др.], не получило, на наш взгляд, должного отражения. В Стратегии определена лишь национальная безопасность в области экономического роста. Это – «развитие экономики страны, обеспечение экономической безопасности и создание условий для развития личности, перехода экономики на новый уровень технологического развития, вхождения России в число стран-лидеров по объему валового внутреннего продукта и успешного противостояния влиянию внутренних и внешних угроз». Как следует из этой трактовки, «национальная безопасность в области экономического роста», не являясь видом национальной безопасности, в то же время, включает в себя в качестве одного из элементов экономическую безопасность. Между тем, экономическая безопасность – это структурный элемент национальной безопасности. Разумного объяснения такой путанице авторы дать не смогли. И опять же неясно, почему нет ссылки на Стратегию экономической безопасности Российской Федерации (введена Указом Президента РФ от 13 мая 2017 г. № 208; на момент подписания анализируемой Стратегии действовал Указ Президента Российской Федерации от 29 апреля 1996 г. № 608 «О Государственной стратегии экономической безопасности Российской Федерации (Основные положения)»).

6. Транспортная безопасность, как и информационная (см. выше), в Стратегии не рассматривается, хотя и заявлена как вид национальной безопасности. При этом, в России действует Федеральный закон от 09.02.2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» – акт более высокой юридической силы, чем указ президента, но ссылки на него в Стратегии отсутствуют. Имеется в законе и определение рассматриваемой категории, надо отметить – довольно общее: «Транспортная безопасность – состояние защищенности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства». То есть, в законе транспортная безопасность рассматривается на тактическом, объективном уровне. Получается, что в институциональном поле стратегического управления и государственной политики транспортная безопасность вообще не имеет никакой трактовки.

7. Энергетическая безопасность также не имеет описания в тексте Стратегии. Ей посвящается отдельный документ: Указ Президента РФ от 13.05.2019 г. № 216 «Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации» (на момент подписания Стратегии действовала его предыдущая версия – Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации, утвержденная Президентом Российской Федерации 29 ноября 2012 г. Пр-3167). Но ни расшифровки данной категории (в Доктрине дано определение: «Энергетическая безопасность – состояние защищенности экономики и населения страны от угроз национальной безопасности в сфере энергетики, при котором обеспечивается выполнение предусмотренных законодательством Российской Федерации требований к топливо- и энергоснабжению потребителей, а также выполнение экспортных контрактов и международных обязательств Российской Федерации»), ни ссылок на Доктрину в Стратегии почему-то нет. То есть повторяется ситуация, неоднократно рассмотренная нами выше.

8. Безопасность личности. Эта категория также в Стратегии не имеет внятной трактовки и объяснения. При этом, вводится ряд других категорий, которые имеют к ней, по мнению авторов, довольно-таки непосредственное отношение:

- национальная безопасность в области качества жизни, которая понимается как «развитие человеческого потенциала, удовлетворение материальных, социальных и духовных потребностей граждан, снижение уровня социального и имущественного неравенства населения прежде всего за счет роста его доходов»;

- национальная безопасность в области культуры. Это – «сохранение и приумножение традиционных российских духовно-нравственных ценностей как основы российского общества, воспитание детей и молодежи в духе гражданственности; сохранение и развитие общероссийской идентичности народов Российской Федерации, единого культурного пространства страны; повышение роли России в мировом гуманитарном и культурном пространстве»;

- национальная безопасность в области науки, технологий и образования. Она подразумевает «развитие системы научных, проектных и научно-технологических организаций, способной обеспечить модернизацию национальной экономики, реализацию конкурентных преимуществ Российской Федерации, оборону страны, государственную и общественную безопасность, а также формирование научно-технических заделов на перспективу; повышение социальной мобильности, качества общего, профессионального и высшего образования, его доступности для всех категорий граждан, а также развитие фундаментальных научных исследований»;

- здравоохранение, которое ориентировано на: «увеличение продолжительности жизни, снижение уровня инвалидности и смертности населения, увеличение численности населения; повышение доступности и качества медицинской помощи; совершенствование вертикальной системы контроля качества, эффективности и безопасности лекарственных средств; соблюдение прав граждан в сфере охраны здоровья и обеспечение связанных с этими правами государственных гарантий».

Кроме того, выделена такая область обеспечения национальной безопасности, как стратегическая стабильность и равноправное стратегическое партнерство. Она подразумевает «создание стабильной и устойчивой системы международных отношений, опирающейся на международное право и основанной на принципах равноправия, взаимного уважения, невмешательства во внутренние дела государств, взаимовыгодного сотрудничества, политического урегулирования глобальных и региональных кризисных ситуаций». Как эта область соотносится с видами национальной безопасности, непонятно, из текста Стратегии ответа на данный вопрос не вытекает.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что структура разделов «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» ни по составу, ни по содержанию не соответствует перечню видов национальной безопасности, перечисленных в начале этого документа. Т.е. блоки национальной безопасности, регламентируемые Стратегией и соответствующие установленным ей национальным стратегическим интересам, не соответствует видам национальной безопасности, выделяемым в этом документе, а сам состав этих блоков «остался вынесен за скобки», он нигде не описывается с достаточной полнотой (подобные выводы делают и другие специалисты [14]).

Указанные недостатки данного документа, к сожалению, приводят к его путанности и противоречивости, превращают его не в стратегию, как генеральную программу практических действий, а в стратегию, как публичное заявление с декларацией намерений. Из-за этого сложно определить, при помощи каких инструментов государственной политики предполагается реализовывать различные виды национальной безопасности, какие конкретные шаги должны предпринимать

должностные лица государственных и муниципальных органов, как они должны взаимодействовать между собой, а также с бизнесом и населением [15] при обеспечении национальной безопасности России.

Подтверждение этому мы находим в современных условиях, когда, вследствие распространения пандемии Covid-19 на Российскую Федерацию, с марта 2020 года властями всех уровней (федерального, регионального, муниципального) предпринимаются активные действия, направленные на ликвидацию и противодействие этой угрозе национальной безопасности. Но ни в публичных заявлениях, ни в нормативных и ненормативных правовых актах, принимаемых в рамках этой деятельности, Стратегия национальной безопасности Российской Федерации даже не упоминается. Хотя, казалось бы, столь важный документ должен был сыграть системообразующую роль в структуризации и упорядочении действий властей.

Анализ стратегической компоненты государственной политики регулирования функциональных подсистем обеспечения национальной безопасности России (на примере ядерной и радиационной безопасности)

Как мы указывали выше, в России принято множество стратегических документов, регламентирующих обеспечения безопасности в различных функциональных областях. Как было показано на конкретных примерах, эти документы не создают единого институционального поля, но, зачастую, запутывают ситуацию, т.к. противоречат друг другу, дают различные трактовки одинаковым категориям. Такова ситуация с обеспечением национальной безопасности страны в целом.

Далее исследуем ее применительно к функциональным областям обеспечения национальной безопасности, что будет выполнено на примере изучения содержания Указа Президента Российской Федерации от 13.10.2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» (в дальнейшем рассмотрении – Основы). Этот документ призван определить «цели, задачи, основные направления и инструменты реализации государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации» (цитируется по тексту Основ, в дальнейшем, если не оговорено специально, приводятся цитаты из этого документа).

Несмотря на то, что «Основы являются документом стратегического планирования в области обеспечения национальной безопасности Российской Федерации», т.е. должны, исходя из иерархической логики построения государственных документов стратегического управления, опираться на Стратегию, это не так. «Нормативно-правовую базу настоящих Основ составляют Конституция Российской Федерации, международные договоры Российской Федерации, федеральные законы и иные нормативные правовые акты Российской Федерации в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности».

То есть, налицо логическое противоречие: Основы относятся к сфере обеспечения национальной безопасности, но игнорируют требования национальной Стратегии в этой области. Такое противоречие формально-институционального плана, безусловно, негативно сказывается на практической деятельности в рассматриваемой сфере, т.к. затрудняет реализацию таких функций менеджмента, как целеполагание и координация.

При этом, в Стратегии категория ядерной и радиационной безопасности попросту отсутствует. Ее как бы не существует, что вызывает непонимание и недоумение у авторов данной статьи. Проведенный контент-анализ текста Стратегии показал, что в ней есть упоминания рисков, связанных с ядерными технологиями (например, в п. 19

указано, что имеется «риск увеличения числа стран – обладателей ядерного оружия», а в п. 43 среди угроз государственной и общественной безопасности упомянута возможность использования «ядерного терроризма»), но эти упоминания весьма косвенные (всего их 10) и не затрагивают проблематику собственно ядерной безопасности. То же касается и радиационной безопасности, в косвенном ключе она упоминается (не сама безопасность, а некоторые аспекты, связанные с обращением радиоактивных веществ) лишь 3 раза (например, в том же п. 43 среди угроз государственной и общественной безопасности отмечается риск того, что террористы «завладеют радиоактивными веществами»).

Далее рассмотрим сущность государственной политики в исследуемой области, вновь обратившись к тексту Основ. «Государственная политика в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации представляет собой совокупность мер направленных на обеспечение национальных интересов, реализацию стратегических национальных приоритетов Российской Федерации, защиту жизни и здоровья граждан, собственности, а также на охрану окружающей среды». Приведенное определение является, если можно так выразиться, классическим. Аналогичные по содержанию определения широко представлены в литературе [16-18 и др.], где под политикой понимается система мер (мероприятий), направленных на достижение той или иной цели.

С субъектом этой политики все ясно – это государственные и муниципальные власти, «Росатом», а также заинтересованные граждане и организации. Объект, казалось бы, четко определен в вышеприведенной цитате, где есть указание на стратегические национальные приоритеты, защиту граждан от вредных факторов и т.д. То есть, речь идет о Российской Федерации в целом. Это естественно, т.к. Основы – документ стратегического уровня.

К сожалению, он тоже не лишен недостатков и противоречий. В п. 6 Основ указано, что «в Российской Федерации обеспечивается ядерная и радиационная безопасность» объектов использования атомной энергии в мирных и оборонных целях, объектов ядерного наследия и материалов с повышенным содержанием природных радионуклидов. Но это – частности, речь, по сути, идет об объектах не макро-, а микроуровня, уровня тактического, но никак не стратегического. Получается, что стратегический характер Основ, которые, исходя из логики стратегического управления, должны задавать общие «правила игры», институциональные рамки реализации государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности страны, выхолащивается.

Подобные логические нестыковки достаточно распространены в тексте Основ, что делает этот документ, как и ранее рассмотренную Стратегию, декларативным, недейственным. Например, во втором разделе Основ заявлено, что будут описаны «тенденции в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности и возможные сценарии развития ситуации». Но никаких тенденций на самом деле в тексте не представлено, перечислены лишь обуславливающие их факторы. Каковы же тенденции в этой сфере – остается лишь предполагать и догадываться.

Сложно назвать качественным документ управления, который вместо четкого предписания содержит в себе посыл для размышлений исполнителю. То же касается и сценарного моделирования, результаты которого в Основах заявлены, но не представлены, за исключением самоочевидной для любого здравомыслящего человека констатации того факта, что «если ничего не делать, то всё будет плохо». Управленческая ценность у такого рода констатации, по нашему мнению, отсутствует.

Ключевой компонент любого документа стратегического управления – это формулировки целей и задач. К ним предъявляются два основных требования [19-21 и др.]: непротиворечивость (если это требование не выполнено, система практических

действий также будет противоречивой, что неизбежно приведет к неэффективности этих действий и невозможности достижения сформулированных целей и поставленных задач) и иерархичность (имеется в виду, что должно быть четкое иерархическое соответствие между целями и задачами, каждая цель, исходя из принципов программно-целевого подхода, должна быть декомпозирована в совокупность задач).

Цели государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности перечислены в п. 11 Основ, при этом они неоднократно повторяют друг друга, что не позволяет говорить об их непротиворечивости и логичности изложения. Чтобы не быть голословными, приведем конкретный пример. Среди целей указаны: «г) обеспечение соответствующей современным требованиям защиты населения и окружающей среды от радиационного воздействия»; «з) минимизация радиационных рисков для населения Российской Федерации, возникающих вследствие радиационных аварий и катастроф, испытаний ядерного оружия на территориях иностранных государств»; «и) уменьшение опасного воздействия радиационных факторов на население, проживающее на территориях с повышенным уровнем естественного радиационного фона».

Очевидно, что цели з) и и) полностью поглощаются целью г). Действительно, если мы обеспечим достижение цели г), то есть добьемся эффективной защиты населения от радиационного воздействия без всяких условий и ограничений, то это значит, что эта защита будет обеспечена и в случае реализации рисков из-за радиационных аварий и катастроф, испытаний ядерного оружия – цель з), и на территориях с повышенным уровнем естественного радиационного фона – цель и).

Исходя из логики действий в рассмотренной сфере, правильно было бы оставить среди целей в тексте Основ лишь г), а з) и и) рассматривать как задачи, конкретизирующие достижение этой, безусловно, важной цели в особых условиях и обстоятельствах. При этом, конечно же, необходимо было бы сформулировать добавочную задачу, которая раскрывает достижение указанной цели в обычной обстановке. Однако такая структуризация, направленная на выделение иерархической соподчиненности, в основах почему-то отсутствует.

Следует отметить, что в целом в Основах, при переходе от целей к задачам принцип иерархичности и соответствия задач целям не соблюдается. Эти категории существуют сами по себе, без всякой связи, что блокирует эффективное стратегическое управление в рассматриваемой области. Наше мнение подтверждается простейшим наблюдением. В Основах присутствуют 9 целей, которые раскрыты в 15 задачах. То есть, некоторые из целей ($9 \times 2 = 18 > 15$) вообще не декомпозированы в задачи, то есть, в принципе, не идет речь о принятии каких-либо шагов по их достижению. Это не «цели – руководства к действию», а «цели – декларации».

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что «Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации», как документ стратегического управления, весьма несовершенны, противоречивы и вместо упорядочивания усилий при реализации соответствующей политики, лишь запутывают ситуацию. Они не только не встроены в систему стратегического управления в сфере национальной безопасности, но и содержат некоторые нелогичные и, формально говоря, ошибочные положения.

Заключение

Подводя итог, отметим, что, исходя из результатов проведенного анализа, отраженных в статье, можно указать на несовершенство институционального обеспечения государственной политики, реализуемой в Российской Федерации в сфере национальной безопасности. Это касается и ситуации в целом, и отдельных функциональных областей ее обеспечения (в частности, углубленный анализ проводился нами на примере сферы ядерной и радиационной безопасности).

По мнению авторов, которое аргументировано в статье, и «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации», и «Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации» требуют серьезной переработки с привлечением широкого круга специалистов, прежде всего – квалифицированных управленцев. В существующем виде, к сожалению, ни Стратегия, ни Основы не могут являться фундаментом для реализации последовательной и непротиворечивой государственной политики Российской Федерации в сфере обеспечения безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочуров, А. А. Сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения экономической безопасности оборонно-промышленного комплекса / А. А. Бочуров, А. Х. Курбанов, А. Н. Литвиненко // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2018. – № 3 (111). – С. 99-106.
2. Вертакова, Ю. В. Оценка эффективности публичного управления в России на региональном уровне: проблема выбора индикаторов развития / Ю. В. Вертакова, М. С. Борисова, А. М. Борисов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – № 4(55). – С. 27-38.
3. Вертакова, Ю. В. Оценка влияния конкурентной среды на эффективность стратегического управления развитием малого предприятия: методология и практика / Ю. В. Вертакова, Е. Д. Леонтьев, В. А. Плотников // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2015. – № 2(15). – С. 30-36.
4. Мантуров, Д. В. Подходы к реализации и инструменты промышленной политики в зарубежных странах: возможен ли трансфер опыта / Д. В. Мантуров // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2018. – № 4(112). – С. 7-15.
5. Сигов, В. И. Современный контекст корпоративного управления / В. И. Сигов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2018. – № 2(110). – С. 175-178.
6. Головкин, М. В. Развитие публичного управления как фактор оптимизации антимонопольной политики государства / М. В. Головкин // Вопросы экономики и права. – 2010. – № 27. – С. 31-35.
7. Плотников, В. А. Управление социально-экономическим развитием регионов в посткризисных условиях / В. А. Плотников // Известия Курского государственного технического университета. – 2010. – № 3(32). – С. 93-100.
8. Барсукова, М. А. Управление экономической устойчивостью в условиях инновационного развития / М. А. Барсукова, Е. А. Боркова, Л. В. Ватлина // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2019. – № 2(116). – С. 54-57.
9. Казанцева, А. Н. Вопросы разработки и реализации государственной политики в сфере производства и обращения экологически чистой продукции / А. Н. Казанцева // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2018. – № 2. – С. 16-20.
10. Рукинов, М. В. Социальные аспекты экономической безопасности / М. В. Рукинов // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2018. – № 3(37). – С. 21-24.
11. Головкин, М. В. Определение факторов инновационного развития региональных промышленных комплексов / М. В. Головкин, О. Ф. Пуверкалова, В. В. Рябцун // Региональная экономика: теория и практика. – 2017. – Т. 15. – № 3(438). – С. 579-591.
12. Пролубников, А. В. К вопросу о факторах экономического развития / А. В. Пролубников // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2019. – № 3(41). – С. 5-8.
13. Рукинов, М. В. Модернизация и экономическая безопасность / М. В. Рукинов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2019. – № 3(117). – С. 45-49.
14. Серебренников, С. С. О стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года / С. С. Серебренников, Е. В. Моргунов, С. М. Мамаев, И. А. Шерварли // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2018. – № 41. – С. 20-28.
15. Акобиров, С. О. Механизмы партнерства государства и бизнеса в интересах стимулирования социально-экономического развития (по материалам России и Узбекистана) / С. О. Акобиров, А. В. Пролубников // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2019. – № 5-1. – С. 65-69.

16. Алексеева, Д. А. Проведение согласованной денежно-кредитной политики в условиях евразийской интеграции / Д. А. Алексеева // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2019. – № 2 (40). – С. 23-26.
17. Публичное управление в условиях цифровой глобализации: монография / под ред. А. В. Полянина. – Орел, 2020. – 268 с.
18. Рисин, И. Е. Региональная кластерная политика: содержание и механизм реализации / И. Е. Рисин. – Воронеж: Издательство ВГПУ, 2014. – 112 с.
19. Вертакова, Ю. В. Целеполагание в управлении социально-экономическим развитием региона / Ю. В. Вертакова, И. Г. Ершова, Э. Н. Кузьбожев // Известия Курского государственного технического университета. – 2001. – № 6. – С. 152-162.
20. Мескон, М. Основы менеджмента / М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – Москва : Вильямс, 2019. – 672 с.
21. Федотова, Г.В. Развитие национальной системы стратегического контроля / Г. В. Федотова, В. А. Плотников // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2015. – № 4(94). – С. 31-36.

REFERENCES

- [1] Bochurov A.A., Kurbanov A.Kh., Litvinenko A.N. Sravnitelnyy analiz otechestvennogo i zarubezhnogo opyta obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti oboronno-promyshlennogo kompleksa [A Comparative Analysis of Domestic and Foreign Experience in Ensuring the Economic Security of the Military-Industrial Complex] Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Bulletin of the St. Petersburg State University of Economics]. 2018. No 3(111). P. 99-106 (in Russian).
- [2] Vertakova Yu.V., Borisova M.S., Borisov A.M. Otsenka effektivnosti publichnogo upravleniya v Rossii na regionalnom urovne: problema vybora indikatorov razvitiya [Evaluation of the Effectiveness of Public Administration in Russia at the Regional Level: the Problem of Choosing Development Indicators] Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta [News of the South-West State University]. 2014. No 4(55). P. 27-38 (in Russian).
- [3] Vertakova Yu.V., Leontiev E.D., Plotnikov V.A. Otsenka vliyaniya konkurentnoy sredy na effektivnost strategicheskogo upravleniya razvitiyem malogo predpriyatiya: metodologiya i praktika [Evaluation of the Impact of the Competitive Environment on the Effectiveness of Strategic Management of the Development of a Small Enterprise: Methodology and Practice] Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment [Bulletin of the South-West State University. Series: Economics. Sociology. Management]. 2015. No 2(15). P. 30-36 (in Russian).
- [4] Manturov D.V. Podkhody k realizatsii i instrumenty promyshlennoy politiki v zarubezhnykh stranakh: vozmozen li transfer opyta [Implementation Approaches and Industrial Policy Instruments in Foreign Countries: is it Possible to Transfer Experience] Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Bulletin of the St. Petersburg State University of Economics]. 2018. No 4(112). P. 7-15 (in Russian).
- [5] Sigov V.I. Sovremennyy kontekst korporativnogo upravleniya [The Modern Context of Corporate Governance] Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [News of St. Petersburg State University of Economics]. 2018. No 2(110). P. 175-178 (in Russian).
- [6] Golovko M.V. Razvitiye publichnogo upravleniya kak faktor optimizatsii antitenevoy politiki gosudarstva [The development of Public Administration as a Factor in Optimizing the Antithesis Policy of the State] Voprosy ekonomiki i prava [Issues of Economics and Law]. 2010. No 27. P. 31-35 (in Russian).
- [7] Plotnikov V.A. Upravleniye sotsialno-ekonomicheskim razvitiyem regionov v postkrizisnykh usloviyakh [Management of Socio-Economic Development of Regions in Post-Crisis Conditions] Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kursk State Technical University]. 2010. No 3(32). P. 93-100 (in Russian).
- [8] Barsukova M.A., Borkova E.A., Vatlina L.V. Upravleniye ekonomicheskoy ustoychivostyu v usloviyakh innovatsionnogo razvitiya [Management of Economic Sustainability in the Conditions of Innovative Development] Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Bulletin of St. Petersburg State University of Economics]. 2019. No 2(116). P. 54-57 (in Russian).
- [9] Kazantseva A.N. Voprosy razrabotki i realizatsii gosudarstvennoy politiki v sfere proizvodstva i obrashcheniya ekologicheskii chistoy produktsii [Issues of Development and Implementation of State Policy in the Field of Production and Circulation of Environmentally Friendly Products] Teoriya i praktika servisa: ekonomika, sotsialnaya sfera, tekhnologii [Theory and Practice of Service: Economics, Social Sphere, Technologies]. 2018. No 2. P. 16-20 (in Russian).

- [10] Rukinov M.V. Sotsialnyye aspekty ekonomicheskoy bezopasnosti [Social Aspects of Economic Security] Teoriya i praktika servisa: ekonomika, sotsialnaya sfera, tekhnologii [Theory and Practice of Service: Economics, Social Sphere, Technologies]. 2018. No 3(37). P. 21-24 (in Russian).
- [11] Golovko M.V., Tsuverkalova O.F., Ryabtsun V.V. Opredeleniye faktorov innovatsionnogo razvitiya regionalnykh promyshlennykh kompleksov [Determination of Factors of Innovative Development of Regional Industrial Complexes] Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika [Regional Economics: Theory and Practice]. 2017. Vol. 15. No 3(438). P. 579-591 (in Russian).
- [12] Prolubnikov A.V. K voprosu o faktorakh ekonomicheskogo razvitiya [Factors of Economic Development] Teoriya i praktika servisa: ekonomika, sotsialnaya sfera, tekhnologii [Theory and Practice of Service: Economics, Social Sphere, Technologies]. 2019. No 3(41). P. 5-8 (in Russian).
- [13] Rukinov M.V. Modernizatsiya i ekonomicheskaya bezopasnost [Modernization and Economic Security] Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [News of St. Petersburg State University of Economics]. 2019. No 3(117). P. 45-49 (in Russian).
- [14] Serebrennikov S.S., Morgunov E.V., Mamaev S.M., Shervarli I.A. O strategii ekonomicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Economic Security Strategy of the Russian Federation for the Period until 2030] Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika [Bulletin of Tomsk State University. Economy]. 2018. No 41. P. 20-28 (in Russian).
- [15] Akobirov S.O., Prolubnikov A.V. Mekhanizmy partnerstva gosudarstva i biznesa v interesakh stimulirovaniya sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya (po materialam Rossii i Uzbekistana) [Partnership Mechanisms between Government and Business in the Interests of Stimulating Socio-Economic Development (based on materials from Russia and Uzbekistan)] Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [News of St. Petersburg State University of Economics]. 2019. No 5-1. P. 65-69 (in Russian).
- [16] Alekseeva D.A. Provedeniye soglasovannoy denezhno-kreditnoy politiki v usloviyakh evraziyskoy integratsii [Carrying out a Coordinated Monetary Policy in the Conditions of Eurasian Integration] Teoriya i praktika servisa: ekonomika, sotsialnaya sfera, tekhnologii [Theory and Practice of Service: Economics, Social Sphere, Technologies]. 2019. No 2(40). P. 23-26 (in Russian).
- [17] Polyani A.V. (ed.) Publichnoye upravleniye v usloviyakh tsifrovoy globalizatsii: monografiya [Public Administration in the Context of Digital Globalization] Orel, 2020. 268 p. (in Russian).
- [18] Risin I.E. Regionalnaya klasternaya politika: soderzhaniye i mekhanizm realizatsii [Regional Cluster Policy: Content and Implementation Mechanism]. Voronezh: VSPU Publishing House, 2014. 112 p. (in Russian).
- [19] Vertakova Yu.V., Ershova I.G., Kuzbozhev E.N. Tselepolaganiye v upravlenii sotsialno-ekonomicheskimi razvitiyem regiona [Goal Setting in the Management of the Socio-Economic Development of the Region] Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kursk State Technical University]. 2001. No 6. P. 152-162 (in Russian).
- [20] Mescon M., Albert M., Hedouri F. Osnovy menedzhmenta [Fundamentals of Management]. Moscow: Williams, 2019. 672 p. (in Russian).
- [21] Fedotova G.V., Plotnikov V.A. Razvitiye natsionalnoy sistemy strategicheskogo kontrolya [The Development of the National Strategic Control System] Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [News of St. Petersburg State University of Economics]. 2015. No 4(94). P. 31-36 (in Russian).

Institutional and Strategic Aspects State Policy in the Field of the Russian Federation National Security

V.A. Plotnikov^{*1}, A.V. Prolubnikov^{}, M.V. Rukinov^{***}**

^{*}*St. Petersburg State University of Economics, Sadovaya str., 21, St. Petersburg, Russia 191023*

^{**}*Military Academy of Logistics, Makarova emb., 8, St. Petersburg, Russia 190000*

^{***}*A.S. Pushkin Leningrad State University, Peterburgskoe road, 10, St. Petersburg, Russia 196605*

¹*ORCID iD: 0000-0002-3784-6195*

Wos Researcher ID: A-4854-2014

e-mail: plotnikov_2000@mail.ru

Abstract – The sphere of ensuring national security is an important object of state policy. When managing this sphere, strategic and tactical levels are distinguished, each of which has its own institutional consolidation. In addition, functional areas of national security, such as nuclear and radiation safety, can be distinguished. The article analyzes the texts of the National Security

Strategy of the Russian Federation and the Fundamentals of State Policy in the Field of Nuclear and Radiation Safety of the Russian Federation from the perspective of analyzing the potential of the strategic regulatory impact of these documents. The inconsistency of their texts, the lack of complexity in regulating the institutional framework for the implementation of state policy in the field of national security is noted. It is also shown that there is no correlation between these important documents of strategic management. The study allowed the authors to conclude that strategic documents in the field of ensuring the national security of the Russian Federation require its processing and adjustment.

Keywords: state policy, national security, economic security, nuclear and radiation safety, «Rosatom», Russian economy, strategic management.

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

УДК 621.039:659.3

**ВЫСТРАИВАНИЕ ПАРТНЕРСКИХ ОТНОШЕНИЙ АТОМНОЙ
ОТРАСЛИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ: ИСТОРИЯ ВОПРОСА И
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

© 2020 В.А. Руденко, Т.С. Попова, Ю.А. Евдошкина

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

Энергопотребление в современном обществе растет с каждым днем, но перспективы развития и конкурентоспособность атомной отрасли сегодня и в долгосрочной перспективе во многом связаны с отношением к ней общественности. С учетом особенностей ядерной энергетики становится очевидным, что успешное развитие атомной отрасли не удастся в полной мере реализовать без преодоления отрицательного к ней отношения общественности. Для атомной отрасли все более актуальным становится налаживание активного диалога с широкими массами с целью формирования у них адекватного отношения к отрасли.

Ключевые слова: общественное мнение, лояльность, доверие, радиоактивность, социокультурный аспект, работа с населением, управление информации и общественных связей Ростовской АЭС.

Поступила в редакцию 06.03.2020
После доработки 23.03.2020
Принята к публикации 26.03.2020

В разных источниках можно встретить разные фамилии ученых, которых считают пионерами в области открытия и изучения явления радиоактивности. Большинство же исследователей придерживается той точки зрения, согласно которой считается, что открыл ее в 1896 г. потомственный профессор Антуан Анри Беккерель, за что и получил в 1903 г. Нобелевскую премию по физике за «открытие спонтанной радиоактивности». Д.И. Менделеев считал открытие радиоактивности «...одним из блистательнейших и наиболее загадочных открытий конца XIX – начала XX столетий». Но это открытие было лишь первым шагом на пути к пониманию колоссальных возможностей атомной энергии [1].

Долгое время считалось, что к промышленному использованию радиоактивности человечество перейдет нескоро. Всего за пять лет до запуска первого в истории ядерного реактора великий физик Эрнест Резерфорд говорил, что атомная энергия никогда не найдет своего практического применения. Переосмыслить свое отношение к энергии, заключенной в ядре атома, специалистам удалось в 1939 году, когда немецкие ученые Лиза Мейтнер и Отто Ган обнаружили, что ядра урана при облучении их нейтронами делятся на две части с выделением огромного количества энергии – ядерной энергии.

Исторически основной причиной зарождения ядерной отрасли в нашей стране было создание ядерного оружия. Была ли в этом существенная необходимость? Скорее да, чем нет. В 1945 г., сбросив ядерные боезаряды на Хиросиму и Нагасаки, Соединенные Штаты ясно дали понять, кто главный в «Табеле о рангах». Города СССР

вполне могли разделить участь японских, хотя сейчас это может и показаться преувеличением. В кратчайшие сроки наши ученые смогли создать собственное ядерное оружие и восстановить равновесие сил на мировой арене, но практически параллельно с ядерной оборонной сферой начала развиваться ядерная энергетика, стали строиться первые атомные станции, предназначенные для выработки электричества за счет цепной реакции деления.

«Мирный атом» в Советском Союзе был идеей, объединяющей тысячи людей. Всерьез разрабатывались проекты поездов, кораблей, гигантских самолетов и даже автомобилей с ядерными двигателями и прочих устройств, использующих ядерную энергию в мирных целях. Энтузиазм атомщиков не знал границ [2]. В 1954 г., когда СССР запустил в эксплуатацию первый в мире ядерный реактор, будущее новой отрасли казалось безоблачным. В ту пору почти половину электроэнергии в мире получали из угля, а то, что это очень грязное топливо, было ясно уже в ту далекую эпоху. За четыре дня лондонского Великого смога 1952 г. от него погибли 12 тысяч лондонцев, что сравнимо с количеством жертв эпидемии холеры 1866 г., и все прекрасно знали, что множество угольных ТЭС города связаны с этими неприятными событиями.

На протяжении десятков лет атомная энергетика оставалась самой безопасной среди всех, а топливо для нее распространено достаточно, чтобы ряд ученых прямо называли энергию атома возобновляемой. До семидесятых годов «атомное электричество» было еще и очень дешевым. Несмотря на все это страх перед новой отраслью с самого начала был чрезвычайно сильным, а после Чернобыля и порожденных им мифов он оказался и вовсе необорим.

Постепенно «мирный» атом вытеснил «военный», и в настоящий момент у нашей страны нет необходимости нарабатывать ядерные заряды для оружия. Поэтому сейчас важнейшей задачей отрасли является обеспечение российских потребителей электроэнергией в условиях растущего энергетического дефицита. Среди явных преимуществ АЭС было то, что они могли использовать реакторы на быстрых нейтронах и даже уран, добываемый из морской воды. Экономически это было вполне возможным, потому что цена топлива в атомном киловатт-часе играет не главную роль, в отличие от цены топлива на ТЭС. Поэтому даже серьезный рост цен на источники урана сам по себе не делает «урановое» электричество слишком дорогим. Согласно расчетам, человечество может обеспечивать свои текущие потребности таким «океанским» ураном не менее шести миллиардов лет, то есть до самого конца существования нынешней Солнечной системы – и при этом концентрация урановых изотопов в морской воде все равно снизится только на четверть. Поэтому многие специалисты предлагали считать атомную энергию возобновляемой – ведь ее фактический ресурс равен ресурсу нашего Солнца, то есть явно не ниже, чем у солнечной или ветровой энергетики.

Но «беда» пришла откуда не ждали. С самого начала развертывания атомной энергетики в США ее непрерывно атаковали серьезные протесты, и чем быстрее строили АЭС, тем более жесткими становились такие протесты. Первые выступления против строительства атомных реакторов там начались в 1958 году. Причем шли они вовсе не от магнатов тепловой энергетики – те тогда просто еще не ощущали угрозы от полужэкспериментальных новых установок. Как показывает детальное изучение вопроса, источником протестов было исключительно местное население, воспринимавшее атомную энергетику как опасную (в силу радиации) с самого начала – с пятидесятых годов. Может показаться удивительным, откуда в ту пору возникали волнения масс, ведь тогда в принципе у публики не было заметных знаний о реальном устройстве реакторов. Тогда возникает вопрос: что они критиковали, на какой основе, откуда у людей вообще появились идеи, что атомная энергетика опасна? Но, как ни странно, к

1958 г. это была уже довольно избитая тема. А объяснения были довольно банальны: в 1940 г. фантаст Роберт Хайнлайн, почтавав доступную на тот момент информацию о ядерных реакциях, написал рассказ «Взрыв всегда возможен». В произведении – еще до запуска самого первого реального реактора – описывается будущее, где оказывается, что атомный реактор, уже давно играющий главную роль в энергетическом снабжении планеты, рассчитан слегка неверно. По уточненным расчетам автора-фантаста, этот взрыв может нанести серьезнейший удар по всей планете. Герои рассказа начинают массовую антиатомную пиар-кампанию, в ходе которой сторонники реактора становятся изгоями. В конце реактор на Земле закрывают и выносят на Луну [3]. Это далеко не всё, Хайнлайн после этого выпустил еще не один рассказ, которые внесли в массы страхи перед словом «атом». Сам Хайнлайн впоследствии отказался от своих взглядов и невежественного страха атомной энергетики, утверждая, что все это были страшилки, а не нечто, имеющее предсказательную силу.

Хоть Хайнлайна тогда читали не так много, но вот интеллектуалы быстро ознакомились с его концепциями. Когда 1945 г. показал реальные удары по Хиросиме и Нагасаки, поп-культура стала штамповать различные вариации хоррор-историй. К концу пятидесятых тему основательно истрепал Голливуд: фильм «На берегу» показал смерть практически всего человечества от радиоактивных осадков после ядерной войны. В 1957 г. Акира Куросава снимает еще один фильм «Я живу в страхе», описывающий жертву атомной истерии в его терминальной стадии. Иными словами, к 1958 г., ко времени начала «антиатомных» протестов в США, радиофобия уже была до такой степени массовой, что такие протесты были просто неизбежны. А отголоски этой темы продолжают гулять по масс-культуре и сегодня.

Антиатомные настроения общественности имели последствия оглушительных масштабов. Мобилизованные индустрией грез лица, полагающие себя экологами, стали подавать в суд невероятное количество групповых исков против строительства АЭС – уже после выдачи разрешения на их строительство. Электростанции строят в кредит, потому что незаемных денег в таких объемах у энергетиков никогда не было. Итак, компании атомной индустрии в США брали кредит на строительство, начинали его выплачивать, но... годами не могли толком начать строить станцию. Все это время они продолжали платить проценты, зарплату персоналу и прочее, отчего их затраты начали нарастать катастрофически быстро. Стоимость строительства атомных станций на протяжении семидесятых годов выросла в несколько раз, почти достигнув современного уровня.

Контрольным выстрелом в американскую атомную энергетику стал Три-Майл-Айленд, где произошла авария, вызвавшая в США панику и взрыв популярности «зеленых» идей. В реальности случившееся нельзя описывать словосочетанием «американский Чернобыль», периодически встречающимся в прессе. Прежде всего потому, что никто не погиб и даже не пострадал не только при аварии на Три-Майл-Айленд, но и от ее последствий. Зато она оказала разрушительное воздействие на развитие ядерной энергетики и мозг простых американцев. Общество было ввергнуто во всеобщую панику, сопровождавшуюся скачкообразным ростом антиядерного движения. И так вышло, что всего за несколько дней до аварии на Три-Майл-Айленд Голливуд выпустил фильм «Китайский синдром». В нем сценаристы «показали» как расплавленное ядерное топливо в случае аварии прожигает Землю насквозь от США до Китая. Стоит отметить, что людей увлекают не холодные сухие (хоть и верные, реальные) рассуждения, а то, что обращается к их эмоциям, на что и был сделан акцент кинематографами. Мало что обращается к эмоциям сильнее, чем страх – каким бы глупым и иррациональным он ни был.

Итоги 1979 года в США были предсказуемы: ни одной АЭС с тех пор там не построили. Новые проекты бесконечно затягивались, их цена за счет этого росла, пока

они не потеряли любой экономический смысл. Да, до сих пор Штаты – мировой лидер по количеству вырабатываемых атомных киловатт-часов, но лишь за счет наследия эпохи до 1979 г., до окончательной победы Голливуда над здравым энергетическим смыслом. В США действуют 56 атомных электростанций (построенных больше полувека назад), на которых в общей сложности эксплуатируются 96 энергоблоков [4].

Может показаться, это всё проблемы американцев, а не человечества. Значительная его часть более иммунна к концепциям американской поп-культуры. Возьмем, к примеру, СССР 70-80-х: за счет мощной защиты от импорта западного кино, а также недоступности американской прессы, фантастические идеи с Запада приходили к советским гражданам крайне ослабленными и никак не влияли на решение руководства этих стран. Советская атомная энергетика действительно не испытывала влияния антиатомных настроений: вплоть до 1986 г. ее считали крайне перспективной заменой всем угольным электростанциям, и проблема была только в том, что строительство АЭС не успевало за потребностью в новых станциях. Все изменилось 26 апреля 1986 г., при взрыве в четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС. Вопреки распространенным мифам, взрыв не был итогом «эксперимента» с отключением аварийной защиты реактора. Напротив, в ту ночь там велся планово-предупредительный ремонт, и при каждом таком ремонте защиту реактора отключали – потому что без этого нельзя было проверить его работу во внештатных режимах. То есть само отключение было плановым, но никак не «экспериментальным» [5].

Вскоре после Чернобыля СССР фактически остановил дальнейшее развитие атомной энергетики, свернув целый ряд проектов, находившихся в высокой степени готовности. Дело в том, что сам по себе факт аварии – это далеко не приговор тому или иному виду энергетики. Непосредственно среди работавших на ЧАЭС умер 31 человек (28 – от лучевой болезни). Стоит отметить, что, к примеру, от случившейся в 2008 году аварии на Саяно-Шушенской ГЭС умерло 75 человек, а от безаварийной работы угольных и газовых ТЭС в США умирает по полсотни тысяч человек в год. То есть, чтобы понять истинное значение Чернобыля, важна не только авария, но и ее последствия.

Сегодня атомная отрасль России представляет собой мощный комплекс из около 350 предприятий и организаций, в которых занято свыше 250 тыс. человек. Динамичное развитие отрасли является одним из основных условий обеспечения энергонезависимости государства и стабильного роста экономики страны. В современных условиях атомная энергетика – один из важнейших секторов экономики России. Размещение опасного производства, к которому, несомненно, относится атомная энергетика, является важной и одной из ключевых проблем, лежащих в основе благополучия государства и вектора социального настроения общества.

Сфера атомной энергетики напрямую зависит от экономической и политической ситуации на мировой арене. Так, различные события провоцируют всплеск и падение интереса к технологии получения электроэнергии за счет ядерного топлива. На данную отрасль серьезно повлияли несколько событий:

- авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. (из-за катастрофы ряд проектов был полностью свернут, рост числа новых предприятий замедлился);
- топливные кризисы 1973-1974 гг. и 1978-1979 гг. с резким ростом цены на нефть (из-за высокой стоимости энергоносителей интерес к атомной энергетике резко возрастает);
- авария на японской станции Фукусима-1 (подобные события приводят к росту опасений и замедляют развитие прогресса) [6].

Несмотря на тот факт, что экономические преимущества АЭС по сравнению с другими видами генерации очевидны, во многих странах, в том числе и в России, среди населения распространена «обеспокоенность по поводу риска аварий и нерешённостью

проблемы с отходами» [7]. По мнению Пола Спенса – директора по стратегии и внутрикорпоративным делам EDF Energy, «риски, связанные с безопасностью, зачастую переоценены». Заместитель директора Центра ядерных технологий Бен Бриттон, комментируя опасения относительно радиоактивных отходов, отметил: «Всё относительно. Атомная энергетика не так опасна, как изменение климата...» [8].

С другой же стороны, в силу возрастающих энергетических потребностей населения, люди осознают необходимость создания и развития АЭС, как одного из способов обеспечения страны энергоресурсами.

В связи с вышеизложенным, актуальность изучения доверия людей к ядерным технологиям становится очевидной, особенно в отношении граждан, проживающих в непосредственной близости к АЭС.

Ростовская АЭС является одним из самых крупных предприятий энергетической отрасли Ростовской области и Юга страны. Пуск энергоблока № 4 позволил устойчиво обеспечивать энергоснабжение всего южного региона России. Ростовская АЭС является филиалом АО «Концерн Росэнергоатом» (входит в крупнейший дивизион Госкорпорации «Росатом» «Электроэнергетический»). Предприятие расположено на берегу Цимлянского водохранилища в 13,5 км от г. Волгодонска. На АЭС эксплуатируются реакторы типа ВВЭР-1000 с установленной мощностью 1000 МВт. Энергоблок № 1 введен в промышленную эксплуатацию в 2001 г., энергоблок №2 – в 2010 г., энергоблок №3 принят в промышленную эксплуатацию в 2015 г., энергоблок №4 в 2018 году. Ростовская атомная станция пять раз была признана лучшей по культуре безопасности: в 2005, 2008, 2010, 2014, 2017 годах.

Нельзя не принять во внимание, что в г. Волгодонске работа с населением давно и успешно ведется. Мы имеем в виду деятельность Управления информации и общественных связей Ростовской АЭС. Данная структура была создана в качестве специального подразделения РоАЭС, направленного на обеспечение благоприятного восприятия атомной энергетики в глазах населения.

Целями деятельности Управления информации и общественных связей Ростовской АЭС (далее – УИОС Ростовской АЭС) является: повышение общественной приемлемости проектов АО «Концерн Росэнергоатом» (далее – Концерн) и Ростовской АЭС в регионе присутствия; обеспечение информирования работников о процессах и преобразованиях, происходящих на Ростовской АЭС, в Концерне и Госкорпорации «Росатом», с помощью выстроенной системы внутренних коммуникаций; эффективная реализация заявления о политике АО «Концерн Росэнергоатом» в области коммуникаций и публичной отчетности на территории расположения Ростовской АЭС.

Достижение поставленной цели связывается с решением нижеследующих в деятельности УИОС Ростовской АЭС задач:

- 1) организация и обеспечение эффективной деятельности Ростовской АЭС в области массовых коммуникаций;
- 2) организация и обеспечение эффективной деятельности Ростовской АЭС в области внутренних коммуникаций;
- 3) организация и обеспечение эффективной деятельности Ростовской АЭС в области маркетинговых коммуникаций;
- 4) взаимодействие с региональными органами власти, местными сообществами и общественными организациями;
- 5) антикризисное информационное реагирование.

Чтобы показать ресурсные возможности УИОС Ростовской АЭС, как специального структурного подразделения, обладающего потенциалом по сглаживанию противоречий между деятельностью атомной станции и населением

г. Волгодонска, рассмотрим более подробно выделенные задачи с точки зрения того, какой алгоритм деятельности имеет данная структура в обозначенном нами качестве.

Так, в части организации и обеспечения эффективной деятельности Ростовской АЭС в области массовых коммуникаций УИОС обладает следующими полномочиями и прерогативами:

- разрабатывать концепции визуализации деятельности РоАЭС и реализовывать ее при проведении выставок, презентаций, подготовке буклетов, информационных роликов, стендов, плакатов и др.;
- осуществлять мониторинг СМИ, блогосферы на предмет появления несанкционированной (негативной) информации о деятельности РоАЭС и Концерна в целом;
- подготавливать пресс-релизы и другие информационные материалы о работе РоАЭС и размещение их в СМИ;
- осуществлять информационное сопровождение и содержательное наполнение визитов официальных делегаций и экскурсий целевых аудиторий (групп) на РоАЭС по разработанным маршрутам. Оформление документов для прохода на АЭС и разрешений на организацию съемок;
- организовывать информационно-разъяснительную работу по вопросам деятельности РоАЭС и развития атомной энергетики в интернет-пространстве, в том числе в блогосфере и социальных медиа;
- содействовать в подготовке и проведении общественных обсуждений оценки воздействия на окружающую среду и материалов обоснования лицензий различных видов деятельности РоАЭС;
- проводить мониторинг и анализ публикаций местных и региональных СМИ в регионе присутствия;
- организовывать ответные действия на появление в информационном поле искаженной, либо не соответствующей действительности информации о работе Концерна и РоАЭС, а также действия, направленные против информационных атак;
- организовывать и проводить целевые и событийные PR-акции как отраслевого, так и станционного значения;
- организовывать конкурсы, викторины, включая пространство интернет, а также другие игровые формы работы с общественностью с целью повышения ее уровня знаний о техническом состоянии, экологической безопасности РоАЭС, ее роли и значении в экономике региона, а также в целях поддержания и укрепления дружелюбных отношений с различными категориями населения и СМИ;
- разрабатывать и изготавливать адаптированные презентации, информационные просветительские и рекламные материалы, брошюры, проспекты, буклеты по производственной, технологической, экологической и радиационной тематике, создавать и периодически пополнять банк данных по техническим, технологическим, экологическим аспектам работы РоАЭС;
- организовывать работу по повышению информированности местных и региональных СМИ, в том числе пресс-туров на РоАЭС, образовательных семинаров, конкурсов, с целью достоверного и объективного освещения деятельности экологической безопасности атомной станции, ее роли и значения в экономике региона.

Четвертая задача не столь масштабна, как вторая, но также имеет важное значение. Она ориентирована в своих коммуникативных интенциях не на индивидуального потребителя информационного продукта, предлагаемого УИОС, а на некие коллективные сообщества, представляющие собой части гражданского общества, способные занимать активную социальную позиции и оказывать влияние на ценности

населения прилегающей к РоАЭС территории. Гражданское общество может стать очень важной площадкой для организации гражданского диалога между различными организованными группами населения и представителями администрации РоАЭС. Такой диалог может быть основан только на доверии. Поэтому на УИОС возлагается крайне важная задача реализовывать коммуникацию таким образом, чтобы контакт между субъектами взаимодействия был прочным и устойчивым. В части коммуникации с местными сообществами и общественными организациями УИОС Ростовской АЭС имеет следующие полномочия:

- обеспечивать взаимодействие с местными сообществами на территории расположения РоАЭС;
- осуществлять мониторинг социального климата и общественно-политической ситуации на территории расположения РоАЭС. Мониторинг и анализ публичных выступлений и мнений органов власти в регионе присутствия;
- организовывать сотрудничество руководства АС с администрацией города и области, пресс-службами этих структур, отдельными депутатами, общественными и политическими организациями, деловым сообществом. Организация и проведение совместных мероприятий и проектов, в том числе благотворительных. Обеспечивать взаимодействие в сфере PR-коммуникаций, с выборными органами местного самоуправления, общественными объединениями, в т.ч. молодежными, профсоюзными, ветеранскими организациями предприятия;
- организовывать и координировать информационную и разъяснительную работу по вопросам атомной энергетики с различными целевыми аудиториями в регионе присутствия РоАЭС, а также в соседних регионах, разрабатывать информационно-просветительские программы;
- организовывать работу по повышению информированности неправительственных организаций, отдельных профессиональных групп населения (медики, педагоги, муниципальные служащие и пр.) с привлечением их к участию в семинарах, конференциях, экскурсиях и других мероприятиях. Взаимодействие и совместные проекты с информационными центрами по атомной энергии;
- участвовать в конференциях, семинарах, «круглых столах», выставках и т.п., направленных на обмен опытом, научной и практической информацией, развитие кооперации, укрепление связей, взаимодействие по вопросам формирования политики доверия к атомной энергетике и позитивного имиджа РоАЭС.

И, наконец, важнейшей – пятой задачей, является реализация политики в области антикризисного информационного реагирования. Она необходима потому, что есть мнение, и оно подтверждается социологическими опросами, согласно которому власти оставляют народ в неведении, когда предположительно (по слухам, информационным источникам или любым другим каналам) имеют место внештатные ситуации, и, выбирая между сохранением стабильности в регионе и здоровьем людей, власти неизменно выбирают стабильность. Именно это и приводит, в соответствии с выявленным стереотипом оценки поведения властей и администрации РоАЭС, к утаиванию информации о происходящих внештатных ситуациях. Подобного рода позиция не только подрывает веру в безопасность атомной энергетики, но и разрушает уже существующий фундамент единства культуры безопасности персонала РоАЭС и населения г. Волгодонска. Чтобы этого не происходило, необходима открытая, основанная на доверии и оперативности политика предоставления информации, коммуникативная деятельность. В этой части УИОС Ростовской АЭС обладает следующими полномочиями:

- участвовать в работе комиссии по чрезвычайным ситуациям и обеспечению пожарной безопасности объекта (КЧСПБО), в противопожарных и противоаварийных тренировках и учениях;

- организовывать оперативное информирование населения через СМИ о нештатной или чрезвычайной ситуации на РоАЭС;
- осуществлять оперативное взаимодействие с Функциональной группой по связям с общественностью и СМИ;
- организовывать пресс-конференции, брифинги, выступления с заявлениями для СМИ руководства РоАЭС по факту нештатных и чрезвычайных ситуаций на энергоблоках.

Далее проведем анализ реальных коммуникативных практик, связанных с практическим решением выделенных для УИОС задач.

Активный отклик среди общественных экологических организаций, научных и социальных институтов, а также населения г. Волгодонска и Ростовской области нашли следующие мероприятия [9]:

1. Общественные слушания. Последние общественные слушания проходили по предварительным материалам оценки воздействия на окружающую среду при эксплуатации энергоблока №1 на мощности реакторной установки 104% от номинальной в Волгодонске и общественные обсуждения по материалам обоснования лицензии на осуществление деятельности в области использования ядерной энергии «Эксплуатация энергоблока 33 №1 Ростовской АЭС в 18-месячном топливном цикле на мощности реакторной установки 104% от номинальной».

2. Ежегодная городская открытая научно-практическая конференция Академии юных исследователей. Традиционно Ростовская АЭС получает сертификат на право проведения направлений НПК АЮИ на базе Информационного центра. Конференция проходит по 6-ти направлениям, в 48 секциях, 9 из которых проводятся на базе Информационного центра Ростовской АЭС. В направлении «Экология и жизнь» (секции «Экологический мониторинг окружающей среды», «Юный исследователь природы») работники АЭС принимают участие в работе жюри.

3. Ежегодный фестиваль экологического туризма «Воспетая степь». Традиционно это масштабное экологическое мероприятие проходит на территории государственного природного биосферного заповедника «Ростовский». В рамках фестиваля работают около сотни эколого-просветительских площадок. На одной из них – в направлении «Наука и техника» – свою экспозицию представляет Ростовская атомная станция, высшим приоритетом которой является безопасное производство экологически чистой электроэнергии. Каждый, кто пожелает познакомиться с работой АЭС, получает в подарок книги и брошюры о деятельности Ростовской АЭС и её вкладе в развитие региона.

4. Международная научно-практическая конференция «Безопасность ядерной энергетики». Организована работа пяти секций, четыре из которых возглавляют руководители Ростовской АЭС. НПК имеет огромное значение и для научного сообщества, и для студентов, и для предприятий отрасли. Она позволяет вести заинтересованные дискуссии производителей, учёных, молодёжи, обмениваться наработками и идеями. В работе конференции в 2019 году приняли участие свыше 200 участников из России, Германии, Китая, Алжира и Белоруссии, заслушано более 70 научных докладов. Также в рамках НПК 2019 года в учебно-тренировочном подразделении Ростовской АЭС состоялся «круглый стол», посвящённый проблемам и перспективам практикоориентированной подготовки иностранных и российских студентов на базе Ресурсного центра НИЯУ МИФИ.

5. Проект «Атомный марафон», в рамках которого Ростовская атомная станция организует информационно-презентационные площадки в рамках праздничных мероприятий, посвящённых датам создания посёлков, городов и районов, соседствующих с АЭС. Жители с удовольствием отвечают на вопросы, участвуют в конкурсах, получают призы и приглашения посетить с экскурсией Информационный

центр атомной станции, фотографируются в фотозоне Ростовской АЭС. Фотографии размещаются в группах Ростовской АЭС в социальных сетях.

6. Всероссийский фестиваль энергосбережения #ВместеЯрче, в котором традиционно принимает участие Ростовская АЭС. В рамках фестиваля информационно-просветительские площадки Ростовской АЭС работали в Волгодонске и близлежащих районах (Цимлянском, Зимовниковском, Дубовском и Волгодонском). Специалисты управления информации и общественных связей Ростовской АЭС знакомят посетителей с устройством и спецификой работы атомной станции, отвечают на вопросы, проводят конкурсы и викторины, дарят подарки с символикой Ростовской АЭС.

7. Ежегодный открытый городской фотоконкурс «Моя малая Родина». В 2019 г. в фотоконкурсе приняли участие 145 юных фотохудожников. На суд жюри было представлено свыше 350 снимков.

8. Ежегодный открытый региональный конкурс рисунков «Рисуют дети атомграда». В 2019 г. в конкурсе приняли участие более двухсот юных художников из Волгодонска, Цимлянска, Новошахтинска, Морозовска, Пролетарска, станицы Романовская, села Дубовское.

9. Цикл уроков «атомных знаний». Проведено сотни уроков атомных знаний в информационном центре Ростовской АЭС и в школах г. Волгодонска.

10. Информационно-презентационная площадка Ростовской атомной станции на Межрегиональном фестивале авторской песни «Струны души».

11. Экологическая акция, приуроченная к Всемирному дню древонасаждения. В рамках акции производят посадку деревьев в микрорайонах г. Волгодонска.

12. Экологические субботники.

В выпусках информационного бюллетеня Ростовской АЭС «Энергия атома» регулярно публикуются материалы о положительных практиках атомной станции в области экологической культуры.

Можно отметить, что профессиональную деятельность УИОС РоАЭС необходимо оценить, как вполне удовлетворительную. В самом деле, по презентуемым материалам, которые представляются общественности можно увидеть масштаб реализуемых мероприятий, заметно, что работа проводится вполне основательная. Более того, мы убеждены, что на предприятии делается всё возможное, если отталкиваться именно от тех возможностей, которыми оно располагает. Персонал УИОС РоАЭС работает, используя весь свой ресурсный потенциал.

Атомная энергетика на протяжении длительного времени сохраняет социальную приемлемость на территории России. Темпы ее развития зависят не только от технической оснащенности, но и от преобладающих в обществе мнений в отношении атомной отрасли. В связи с этим, строительство и функционирование атомных станций в регионах страны не должны провоцировать рост негативных настроений среди населения. Говоря о социокультурном аспекте ядерной энергетике, следует отметить, что главный вопрос ее развития – это вопрос не только технологический, но и психологический, что необходимым условием развития «атомного техно» является создание необходимых мировоззренческих и социально-гуманитарных оснований [10-12], правовых норм [13] и мудрого развития общественности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морачевский, А. Г. Путь от лучей Беккереля к атомной бомбе / А. Г. Морачевский // Научно-технические ведомости СПбПУ. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 3. – С. 48-52
2. Лекция профессора колледжа Колби, США (Colby College, USA) Пола Р. Джозефсона (Paul R. Josephson), на тему: «Реальность или утопия: первые годы мирного атома в СССР и

- Америке». – URL : <https://myatom.ru/> мирный-атом-реальность-или-утопия (дата обращения 22.05.2020).
3. Хайнлайн, Р. Взрыв всегда возможен / Р. Хайнлайн. – Издательский дом : Эксмо, Terra Fantastica. – 2008. – 57 с.
 4. Информационный портал «Атомная энергия 2.0». – URL : <https://www.atomic-energy.ru/news/2020/04/17/103028> (дата обращения 04.03.2020).
 5. Березин, А. Чернобыль: как АЭС спасли миллионы, и почему страх перед ними убил еще больше / А. Березин. – URL : <https://naked-science.ru/article/nakedscience/chernobyl-kak-aes-spasli-milliony-i-pochemu-strah-pered-nimi-ubil-eshhe-bolshe> (дата обращения 04.03.2020)
 6. Атомная энергетика России: анализ отрасли // Информационно-аналитическое агентство «Деловые новости», 12.06.2018. – URL: <http://delonovosti.ru/business/4220-atomnaya-energetika-rossii.html> (дата обращения: 04.03.2020).
 7. ООН констатирует необходимость развития атомной энергетики для сохранения климата // Информационный портал «Атомная энергия 2.0», 09.10.2018. – URL : <http://www.atomic-energy.ru/news/2018/10/09/89468/> (дата обращения: 04.03.2020).
 8. Ученые: Атомная энергетика будет играть значительную роль в стремлении Великобритании уменьшить влияние изменения климата // Центр энергетической экспертизы, 31.07.2018. – URL : <http://www.energy-experts.ru/news24248.html> (дата обращения: 04.03.2020).
 9. Отчет по экологической безопасности за 2018 год. – URL : <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/d9b/d9baf251ef9093879591a59aa1873сес.pdf>.
 10. Степченко, Т. С. Аспекты восприятия общественностью процессов развития атомной энергетики (на примере «РоАЭС») / Т. С. Степченко // Практический маркетинг. – 2014. – № 7(209). – С. 35-40.
 11. Руденко, В. А. Социокультурные ориентиры современной молодежи по вопросам культуры безопасности в атомной отрасли / В. А. Руденко, Ю. А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – Спец. вып. (3). – С. 93-96.
 12. Руденко, В. А. Культура безопасности в контексте общечеловеческой культуры / В. А. Руденко, Ю. А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 4 (5). – С. 88-91.
 13. Грачев А. С. Становление и развитие радиационной безопасности в нормативных документах: история вопроса / А. С. Грачев, Д. В. Швец, Н. И. Лобковская // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2018. – № 5. – С. 255-258. – URL : <https://www.vaael.ru/ru/article/view?id=117> (дата обращения: 04.03.2020).

REFERENCES

- [1] Morachevsky A.G. Put' ot luchey Bekkerelya k atomnoj bombe [The Path from the Becquerel rays to the Atomic Bomb]. Nauchno-texnicheskie vedomosti SPbPU. Seriya: Estestvenny'e i inzhenerny'e nauki [Scientific and Technical Bulletin of SpBPU. Ser.: Natural and Engineering Sciences]. 2018. Vol. 24. No.3. P. 48-52 (in Russian).
- [2] Lekciya professora kolledzha Kolbi, SSHA Pola R. Dzhozefsona na temu: «Real'nost' ili utopiya: pervy'e gody mirnogo atoma v SSSR i Amerike» [Lecture by a Professor at Colby College, USA) Paul R. Josephson (Paul R. Josephson), on the topic: «Reality or Utopia: the First Years of Peaceful Atom in the USSR and America»]. URL: <https://myatom.ru/Mirny-atom-reality-or-utopia> (accessed 04.03.2020) (in Russian).
- [3] Heinlein R. Vzryv vsegdaвозможен [An Explosion is Always Possible]. Izdatel'skiy dom: Eksmo, Terra Fantastica [Publishing house: Eksmo, Terra Fantastica]. 2008. 57 p. (in Russian).
- [4] Informacionny'j portal «Atomnaya e'nergiya 2.0» [Information portal «Atomic Energy 2.0»]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2020/04/17/103028> (accessed 04.03.2020) (in Russian).
- [5] Berezin A. Chernoby'l': kak AE'S spasli milliony', i pochemu strax pered nimi ubil eshhe bol'she [Chernobyl: How Nuclear Power Plants Saved Millions, and Why the Fear of Them Killed Even More]. URL: <https://naked-science.ru/article/nakedscience/chernobyl-kak-aes-spasli-milliony-i-pochemu-strah-pered-nimi-ubil-eshhe-bolshe> (accessed 04.03.2020) (in Russian).
- [6] Atomnaya e'nergetika Rossii: analiz otrasli [Russian Nuclear Power Industry: Industry Analysis]. Information and analytical [Informacionno-analiticheskoe agentstvo «Delovy'e novosti» [Agency «Business News»]. 12.06.2018. URL: <http://delonovosti.ru/business/4220-atomnaya-energetika-rossii.html> (accessed: 04.03.2020) (in Russian).
- [7] OON konstatiruet neobxodimost' razvitiya atomnoj e'nergetiki dlya soxraneniya klimata [The UN States the Need to Develop Nuclear Energy to Preserve the Climate]. Informacionny'j portal «Atomnaya e'nergiya 2.0» [Information portal «Nuclear Energy 2.0»]. 09.10.2018-URL: <http://www.atomic-energy.ru/news/2018/10/09/89468/> (accessed: 04.03.2020) (in Russian).

- [8] Ucheny'e: Atomnaya e'nergetika budet igrat' znachitel'nyu rol' v stremlenii Velikobritanii umen'shit' vliyanie izmeneniya klimata [Scientists: Nuclear Power Will Play a Significant Role in the UK's Efforts to Reduce the Impact of Climate Change]. Centr e'nergeticheskoy e'kspertizy' [Center for Energy Expertise]. 31.07.2018-URL: <http://www.energy-experts.ru/news24248.html> (accessed: 04.03.2020). (in Russian).
- [9] Otchet po e'kologicheskoy bezopasnosti za 2018 god [Environmental Safety Report for 2018]. URL: <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/d9b/d9baf251ef9093879591a59aa1873cec.pdf> (in Russian).
- [10] Stepchenko T.S. Aspekty' vospriyatiya obshhestvennost'yu processov razvitiya atomnoj e'nergetiki (na primere «RoAE'S») [Aspects of Public Perception of Nuclear Power Development Processes (on the example of «RoNPP»)]. Prakticheskij marketing [Practical Marketing]. 2014. No.7(209). P. 35-40 (in Russian).
- [11] Rudenko V.A., Evdoshkina Yu.A. Sotsiokul'turnyye oriyentiry sovremennoy molodezhi po voprosam kul'tury bezopasnosti v atomnoy otrasli [Sociocultural Guidelines of Modern Youth on Safety Culture in the Nuclear Industry]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. Spetsial'nyy vypusk (3). [Special issue (3)]. 2012. P. 93-96 (in Russian).
- [12] Rudenko V.A., Evdoshkina Yu.A. Kul'tura bezopasnosti v kontekste obshchechelovecheskoy kul'tury [Safety Culture in the Context of Universal Culture]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2012. No. 4 (5). P. 88-91 (in Russian).
- [13] Grachev A.S., Shvets D.V., Lobkovskaya N.I. Stanovleniye i razvitiye radiatsionnoy bezopasnosti v normativnykh dokumentakh: istoriya voprosa [Formation and Development of Radiation Safety in Regulatory Documents: Background]. Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. 2018. No. 5. P. 255-258. URL: <https://www.vaael.ru/ru/article/view?id=117> (accessed 04.03.2020) (in Russian).

Building Partnerships Between the Nuclear Industry and the Public: Background and Development Prospects

V.A. Rudenko¹, T.S. Popova², Yu.A. Evdoshkina³

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

¹ORCID iD: 0000-0002-6698-5469

WoS Researcher ID: B-7730-2016

e-mail: VARudenko@mephi.ru

²ORCID: 0000-0002-0554-2672

e-mail: TSPopova@mephi.ru

³ORCID iD: 0000-0002-6704-0643

WoS Researcher ID: G-8379-2017

e-mail: YAEvdoshkina@mephi.ru

Abstract – Energy consumption in modern society is growing every day, but the prospects for development and competitiveness of the nuclear industry today and in the long term are largely related to the attitude of the public to it. Taking into account the specifics of nuclear power, it becomes obvious that the successful development of the nuclear industry will not be fully realized without overcoming the negative attitude of the public towards it. It is becoming more and more important for the nuclear industry to establish an active dialogue with the broad masses in order to form an adequate attitude to the industry.

Keywords: public opinion, loyalty, trust, radioactivity, socio-cultural aspect, work with the population, information and public relations Department of the Rostov NPP.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Агапова С.П.	109
Алвахеба А.И.	55
Альхагаиш И.Х.	100
Анисур Рахман С.К.	83
Анцибор А.В.	109
Бекетов В.Г.	55
Герасимов С.И.	7
Герасимова Р.В.	7
Глухов А.А.	7
Годунов С.Ф.	73
Головко М.В.	109
Гошкодеров В.А.	55
Евдошкина Ю.А.	131
Елохин А.П.	16
Ерофеев В.И.	7
Иванов О.В.	55
Иванова Т.Е.	55
Кикеев В.А.	7
Киселев А.С.	42
Киселев А.С.	42
Козоброд В.Н.	92
Костин В.И.	7
Кравчук А.И.	73
Кравчук А.С.	73
Кривошеев О.В.	7
Ксенофонтов А.И.	16
Медведев В.Н.	42
Мельников И.В.	92
Молошная Е.С.	92
Одзерихо И.А.	7
Орумо К.	16
Пимшин Ю.И.	42
Писецкий В.В.	7
Плотников В.А.	119
Попова Т.С.	131
Пролубников А.В.	119
Рогачева Ж.С.	109
Руденко В.А.	109, 131
Рукинов М.В.	119
Сахаров В.К.	100
Сетраков А.Н.	109
Скорикова М.И.	42
Стрижов В.Ф.	42
Сурин В.И.	55
Ткачев В.Г.	109
Томилин С.А.	73
Увакин М.А.	83
Ульянов А.Н.	42

AUTHOR INDEX OF VOL. 2, 2020

Agapova S.P.	109
Alhagaish I.K.	100
Alwaheba A.I.	55
Anisur R.S.K.	83
Antsibor A.V.	109
Beketov V.G.	55
Elokhin A.P.	16
Erofeev V.I.	7
Evdoshkina Yu.A.	131
Gerasimov S.I.	7
Gerasimova R.V.	7
Glukhov A.A.	7
Godunov S.F.	73
Golovko M.V.	109
Goshkoderov V.A.	55
Ivanov O.V.	55
Ivanova T.E.	55
Kikeev V.A.	7
Kiselev Aleksandr S.	42
Kiselev Aleksei S.	42
Kostin V.I.	7
Kozobrod V.N.	92
Kravchuk A.I.	73
Kravchuk A.S.	73
Krivosheev O.V.	7
Ksenofontov A.I.	16
Medvedev V.N.	42
Melnikov I.V.	92
Moloshnaya E.S.	92
Odzeriho I.A.	7
Orumo B.K.	16
Pimshin Yu.I.	42
Pisetskiy V.V.	7
Plotnikov V.A.	119
Popova T.S.	131
Prolubnikov A.V.	119
Rogacheva J.S.	109
Rudenko V.A.	109, 131
Rukinov M.V.	119
Sakharov V.K.	100
Setrakov A.N.	109
Skorikova M.I.	42
Strizhov V.F.	42
Surin V.I.	55
Tkachev V.G.	109
Tomilin S.A.	73
Ulyanov A.N.	42
Uvakin M.A.	83

NOTES FOR AUTHORS

(Dear authors, the editors of the journal draw your attention to some changes in the rules of the article preparation)

The full text of article intended for publication should be signed by authors, it has to be followed by application from the institution where the work is made, resolution on publication possibility. One file consists of one paper which has the following:

- UDC index;
- the title, the structured abstract (200-250 words) and 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, postal address, and E-mail address, contact phone; specify who to be corresponded with;
- a file with information about place of employment in Russian and English, including the postal address and index (specify the place of employment of each author);
- 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. It is necessary to check the articles through the Antiplagiat program, allowable borrowing and self-citation – no more than 20%.

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:

- an article file in Word format;
- the same file in pdf format signed by the author;
- separate files of all pictures in the bmp, jpeg or gif formats;
- application from the institution where the work is made;
- 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 dismantling during NPP unit taking out of operation] [Global nuclear safety]. 2014. № 1(10). P. 25-31 (in Russian).
- [2] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional'noe celepolaganie kak sostavlyayushhaya kul'tury' bezopasnosti budushhego specialista-atomshhika [Professional Goal-Setting as a Component of the Safety Culture of a Future Nuclear Specialist]. Sovremennoe obrazovanie [Modern Education]. 2017. № 1. P. 32-38. URL: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (in Russian).

For books:

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

For web-resources:

- [4] Strategiya 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, Nadezhda I. Lobkovskaya

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(уважаемые авторы, редакция журнала обращает ваше внимание на некоторые изменения правил оформления статей)

Полный текст статьи, предназначенной для опубликования, должен быть подписан авторами и сопровождаться представлением от учреждения, в котором выполнена работа, и экспертным заключением о возможности опубликования. В одном файле помещается одна статья, частью которой является:

- индекс УДК;
- название, структурированная аннотация (200-250 слов) и ключевые слова (не менее 10-и речевых единиц) на русском и английском языках;
- список литературы на русском и английском языках;
- сведения об авторах на русском и английском языках: ФИО, место работы, должность, ученая степень, звание, домашний, служебный и электронный адреса, телефон; указать, с кем вести переписку;
- 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 упоминаются 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. 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. Необходима проверка статей через программу антиплагиата, допустимые заимствования и самоцитирование – не более 20%.

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 2016 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:

- файл со статьей в формате Word;
- этот же файл в формате pdf с подписью авторов;
- отдельными файлами все рисунки из статьи в форматах bmp, jpeg или gif;
- 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 с одним автором:

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

Для журналов с двумя и более авторами:

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

Для диссертаций:

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

Для депонированных работ:

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

Описание архивных материалов:

Харитон, Ю. Б. Письмо Б.Л. Ванникову о лаборатории для разработки атомных бомб // ЧУ «Центратомархив». Фонд № 1, опись № 1/с, дело № 228, л. 76-79. – URL : http://elib.biblioatom.ru/text/carhiv_001-1s-228_076/go,0/ (дата обращения : 26.03.2019).

Список ученых, участвующих в работе по использованию атомной энергии. 17 января 1946 // Атомная программа СССР : архивные документы. – ж URL : http://elib.biblioatom.ru/text/arhiv_akademik-artsimovich_2009_386/go,0/ (дата обращения : 03.09.2019).

Материалы конференций:

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

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

Для патентов:

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

Для электронных ресурсов:

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

...

Адрес редакции журнала (для отправки печатной корреспонденции):

347360, Россия, Ростовская область, г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94

Редакция журнала «Глобальная ядерная безопасность»

E-mail: oni-viti@mephi.ru

Тел.: +79281883628, Надежда Ивановна Лобковская

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2020, 2(35)

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

Сдано в набор 05.06.2020 г.

Компьютерная верстка Казак Ю.Ю.

Подписано к печати 15.06.2020 г.

Бумага «SvetoCory» 80 г/м². Объем 10,25. печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ