

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2018, 4(29)

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*)

Y.S. Sysoev, Doctor of Technical sciences, 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*)

S.M. Burdakov, PhD (Technical sciences), associate professor (*Russia*)

I.A. Bublikova, PhD (Technical sciences), associate professor (*Russia*)

Founder:

National Research Nuclear University MEPhI

Editorial address:

Kashirskoe shosse 31, Moscow, 115409, Russia

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

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

Press address:

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

Moscow

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2018, 4(29)

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 (№504)

Группы научных специальностей:

05.14.00 – Энергетика;

05.26.00 – Безопасность деятельности человека;

05.04.00 – Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение;

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 Анджеей, 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)

Ю.С. Сысоев, д-р техн. 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)

С.М. Бурдаков, к-т техн. наук, доц. (Россия)

И.А. Бубликова, к-т техн. наук, доц. (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

2018, 4(29)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Issues of Radiation Security in the Republic of Chile <i>O.F. Yañez Quintanilla, A.I. Ksenofontov</i>	7
Assessment of Water Body State in Rostov NPP Area Using the Principal Components Method <i>E.A. Abidova, O.I. Bejsug, O.E. Draka, A.E. Dembickij, O.Yu. Pugachyova</i>	17
Express Assessment of Results of Independent Destructive Impacts on Nuclear and Radiation-Hazardous Object <i>O.A. Gubeladze, A.R. Gubeladze</i>	24

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

Analysis of Fully Developed Laminar Flow between Parallel Plates with UHF Using ANSYS CFD <i>Ch.J. Odii</i>	31
Contour Buildings in the Control of Geometrical Parameters of the Alignment Elements of the Processing Equipment <i>Yu.I. Pimshin, S.M. Burdakov, G.A. Naumenko, Yu.A. Psarev</i>	40
The Influence of Coolant Oscillation Damping Decrement of the NPP Primary Circuit with WWER during Service Life of Welded Joints <i>K.N. Proskuryakov</i>	47

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Development Practical Recommendations for the Institutions of the Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation on Justification of the Extension of the Term of Service of Nuclear Installations on the Example of the IRT MEPhI Research Reactor <i>A.A. Serebryakov, V.N. Fedoseev, L.I. Yakovlev, S.A. Ozherelev, Ye.M. Tyurin, M.I. Pisarevsky</i>	55
Influence of Lattice Resistance Transparency Coefficient on Aerodynamic Shadow Formation over Spray Ponds <i>I.N. Veselova, G.V. Domrina, O.L. Kolchenko, N.S. Buzalo, V.N. Burov</i>	62

Analysis of boundary conditions of stable ferroresonance process in circuits of 24 kV generator voltage of NPP power units <i>S.A. Baran, V.V. Nechitajlov, V.V. Krasnokutskij</i>	69
---	----

The Isotope Composition of Hydrogen and Its Transformation in the Fields of Thermal Neutrons in the Active Zones of the Vver-type Reactors <i>P.A. Ponomarenko, M.A. Frolova, I.G. Tananaev, Y.S. Chicherina</i>	80
---	----

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

The Formation of the Legal Basis of the National System of Control Over Nuclear Exports in the USSR as the Necessary Condition for Ensuring Physical Nuclear Safety <i>E.A. Bragina</i>	87
--	----

Early Professional Orientation as a Factor of Nuclear Industry Strategic Development <i>V.A. Rudenko, M.V. Golovko, N.V. Ermolaeva, N.I. Lobkovskaya</i>	97
---	----

The Main Tasks of Forming the Effective Behavioral Models of Employees in the Aspect of Human Resources Quality Management (by the Example of State Corporation «Rosatom») <i>I.E. Lyskova</i>	109
---	-----

Author Index of vol. 4, 2018.....	118
-----------------------------------	-----

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 4, 2018

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Вопросы радиационной безопасности в республике Чили <i>О.Ф. Яньес Кинтанилья, А.И. Ксенофонов</i>	7
Оценка состояния водного объекта в зоне размещения РоАЭС с использованием метода главных компонент <i>Е.А. Абидова, О.И. Бейсуг, А.Е. Дембицкий, О.Е. Драка, О.Ю. Пугачёва</i>	17
Экспресс-оценка результатов нерегламентированных деструктивных воздействий на ядерно- и радиационноопасный объект <i>О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе</i>	24

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

Анализ полностью разработанного ламинарного потока между параллельными УВЧ пластинами с использованием программы гидродинамического моделирования ANSYS <i>К.Дж. Одиш</i>	31
Контурные построения при контроле геометрических параметров соосности элементов технологического оборудования <i>Ю.И. Пимишин, С. М. Бурдаков, Г.А. Науменко, Ю.А. Псарёв</i>	40
Влияние декремента затухания колебаний теплоносителя в первом контуре АЭС с ВВЭР на срок службы сварных соединений <i>К.Н. Проскуряков</i>	47

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Разработка практических рекомендаций для учреждений Министерства науки и высшего образования РФ по обоснованию продления срока службы ядерных установок на примере исследовательского реактора ИРТ МИФИ <i>А.А. Серебряков, В.Н. Федосеев, Л.И. Яковлев, С.А. Ожерельев, Е.М. Тюрин, М.И. Писаревский</i>	55
Влияние коэффициента проницаемости решетчатых сопротивлений на формирование аэродинамической тени над брызгальными бассейнами <i>И.Н. Веселова, Г.В. Домрина, О.Л. Кольченко, Н.С. Бузало, В.Н. Буров</i>	62

Анализ граничных условий протекания устойчивого феррорезонансного процесса в цепях 24 кВ генераторного напряжения энергоблоков АЭС <i>С.А. Баран, В.В. Нечитайлов, В.В. Краснокутский</i>	69
--	----

Об изотопном составе водорода и его трансформации в полях тепловых нейтронов в активных зонах реакторов типа ВВЭР <i>П.А. Пономаренко, М.А. Фролова, И.Г. Тананаев, Ю.С. Чичерина</i>	80
--	----

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

Формирование нормативно-правовой базы национальной системы контроля над ядерным экспортом в СССР как необходимое условие обеспечения физической ядерной безопасности <i>Е.А. Брагина</i>	87
---	----

Ранняя профессиональная ориентация в сфере атомной энергетики как фактор стратегического развития атомной отрасли <i>В.А. Руденко, М.В. Головки, Н.В. Ермолаева, Н.И. Лобковская</i>	97
---	----

Основные задачи формирования эффективных поведенческих моделей сотрудников в аспекте менеджмента качества человеческих ресурсов (на примере госкорпорации «Росатом») <i>И.Е. Лыскова</i>	109
---	-----

Авторский указатель номера 4, 2018.....	118
---	-----

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК: 614.876. (83)

ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ ЧИЛИ

© 2018 О.Ф. Яньес Кинтанилья, А.И. Ксенофонов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Цель работы – установить методологию и критерии определения безопасных расстояний для эвакуации в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с радиоактивным или ядерным материалом. Текущая радиологическая/ядерная ситуация в Республике Чили взята за основу, однако, представленные здесь результаты позволяют адаптировать их к реальному радиологическому контексту, существующему в любой стране.

Ключевые слова: мощность дозы внешнего облучения, ионизирующее излучение, радиоактивное загрязнение окружающей среды, безопасные расстояния от источника радиации.

Поступила в редакцию: 12.07.2018

ВВЕДЕНИЕ

В Чили в настоящее время существуют около 8000 радиоактивных источников по всей стране, и почти 500 установок, в которых используется высокоактивный радиоактивный материал. Эти источники приносят неоценимую пользу обществу, так как служат для диагностики, медицинского лечения, стерилизации медицинских материалов, для целей промышленного инструментария, который используется, в частности, в горнодобывающих и нефтяных компаниях, а также находят много других применений.

Несмотря на то, что выгода от использования этих радиоактивных источников намного больше, чем опасность, которую они могут представлять, важнейшей обязанностью государственных служб является готовность надлежащим образом, скоординировано и эффективно, реагировать на любую ситуацию, когда эти источники могут представлять опасность для людей или окружающей среды.

Мировой опыт в отношении аварий с радиоактивным материалом, показал, что роль первых ответчиков¹ часто недооценивается, хотя в их обязанности входит правильно распознать чрезвычайную ситуацию и, следовательно, принять срочные превентивные меры, чтобы таким образом свести к минимуму последствия аварии. В некоторых случаях, произошедших в разных странах мира, первый ответчик тратил от нескольких часов до нескольких дней до начала аварийного реагирования, и, что еще хуже, ему требовалось много времени для принятия срочных мер, которые должны были быть предприняты незамедлительно, а во многих случаях просто не предпринималось вообще никаких действий [1], [2], [3]. Это приводило к

¹ Первый ответчик – ответственное лицо/лица, прибывшее первым при чрезвычайной ситуации (пожарные, бригада скорой помощи, представители администрации и др.)

распространению и росту аварийной ситуации, числу пораженных людей и области загрязнения, а также росту затраченных ресурсов, связанных с аварийной ситуацией. Коммуникативные и психологические последствия были бы намного меньше благодаря быстрой реакции и правильному применению начальных контрмер.

В рамках первоначальных мер [4], [5], [6], которые должны быть приняты первым ответчиком, есть одна, которая имеет наибольшее значение для защиты здоровья и жизни людей. Эта мера соответствует установлению периметров безопасности вокруг радиоактивного источника. Выбор этих расстояний на практике является компромиссом: они должны быть достаточными для адекватной защиты от радиации и одновременно быть небольшими, чтобы как можно меньше нарушать повседневную жизнь людей. Так, например, в Чили были случаи обнаружения радиоактивных источников на дорогах общего пользования, вне регулирующего контроля и в непосредственной близости от школы. Эта находка была сделана первым ответчиком (полицией), которая, правильно следуя международным нормам [6], касающимся установления безопасных расстояний, полностью эвакуировали людей из соседней школы с последующим психологическим воздействием на эвакуированных. Повышенное внимание региональных СМИ, а затем и общественного мнения граждан послужило росту ненужного страха перед использованием радиоактивных источников. Затем подробный анализ происшествия показал, что этот источник даже с учетом выхода его из защитной оболочки не представлял никакой угрозы на расстоянии более 10 м. Такие случаи не являются обособленными, а поэтому необходимо адаптировать расстояния безопасности в соответствии с фактическим наличием радиоактивных источников в каждой стране.

КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ

В данной работе мы предлагаем установить два периметра безопасности для случая чрезвычайных ситуаций с радиоактивными источниками. Назовем один периметр периметром безопасности, а второй – критическим периметром безопасности (рис. 1). Концептуальное определение таких периметров определяется следующим:



Рисунок 1 – Определение опасных зон вокруг источника излучений
[Identification of hazardous areas around radiation source]

Критический периметр безопасности окружает зону, в пределах которой можно подвергнуться серии *детерминированных последствий* облучения для здоровья людей, находящихся внутри нее. Официальные сотрудники, такие как пожарные, полиция, эксперты по радиации, жертвы или любое другое лицо в пределах этой зоны, могут подвергаться облучению радиацией и/или заражению всего организма, либо

определенных областей тела, кожи, дыхательных путей, пищеварительного тракта на уровнях, которые могут стать фатальными. Также в пределах этой зоны при некоторых обстоятельствах может произойти взрыв с рассеиванием радиоактивного вещества в окружающую среду.

В случаях взрывов рассматриваются не только случаи, когда это может происходить с обычными материалами, например, с газом, но и злонамеренное использование взрывчатых веществ, таких как тротил или устройств, предназначенных исключительно для рассеивания радиоактивного вещества в террористических целях, как это происходит с устройствами радиационного рассеяния (УРР).

Периметр безопасности предотвращает дозы, которые могут привести к росту *стохастических эффектов* облучения людей, находящихся в зоне между периметром критической безопасности и данным периметром. В случае взрывчатых веществ принимаются во внимание также последствия теплового воздействия и действие осколков, которые могут возникнуть, например, в результате детонации.

Показанный на рисунке 1 периметр сохранности соответствует периметру физической защиты, то есть периметру, который защищает население от действий, осуществляемых властями для контроля над аварийной ситуацией: обеспечение областей маневрирования, хранение зараженных материалов, морг, зона дезактивации, зона регистрации и т.д.

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЙ

Рассмотрим получение реальных расстояний безопасности, следуя следующим представленным пунктам:

А. Опасные источники радиации

Во-первых, необходимо определить различные уровни опасности существующих источников в стране. С этой целью Международным агентством по атомной энергии совместно с Международной комиссией по радиационной защите разработана обширная методология, позволяющая регулировать опасность всех существующих радиоактивных источников [7], [8]. В настоящей работе использованы результаты этих исследований с целью составить классификацию опасности существующих в стране источников.

Ключевой переменной для определения степени опасности радиоактивного источника является использование так называемых значений величины « D ». Величина D определяется как [7] количество радиоактивного материала, которое, если оно не находится под контролем, может привести к гибели лица, подвергшегося облучению, или к непоправимой травме, ухудшающей его качество жизни.

В свою очередь величина D подразделяется на активность (D_1) радионуклида из недисперсного (закрытого) и активность (D_2) из рассеиваемого (открытого) источника, которые по своим величинам в случае чрезвычайной ситуации могут генерировать детерминированные эффекты, опасные для здоровья человека. Сама величина D определяется как минимум (D_1 , D_2) для каждого радионуклида.

В отношении всех радиоактивных источников рассчитываются величины:

$$\frac{A}{D_1} = \sum_i \frac{A_i}{D_{1,i}}; \quad (1)$$

$$\frac{A}{D_2} = \sum_i \frac{A_i}{D_{2,i}}, \quad (2)$$

где A_i – активность в ТБк радиоактивного источника i ,

$D_{1,i}, D_{2,i}$ – значения D_1 и D_2 которых можно найти в работах [7] для каждого радиоактивного источника i , как для закрытых, так и для открытых источников соответственно.

Тогда наибольшая величина коэффициента $\frac{A}{D}$ показывает больший уровень опасности соответствующего радиоактивного источника.

В таблице 1 показаны уровни опасности радиоактивных источников, используемых в Республике Чили, откуда следует, что наиболее опасными источниками являются источники радиотерапии и менее опасные – в диагностической медицине и находящиеся в детекторах дыма. Эти данные определяют значения безопасного расстояния для нахождения периметра для определенного источника, поэтому данное расстояние достаточно и для других источников с меньшей или равной степенью опасности.

Таблица 1 – Радиоактивные источники, используемые в Республике Чили [Radioactive sources used in the Republic of Chile]

Радиоактивные источники, используемые в промышленности						
Практика	Радионуклид	Типичная активность	D_1 [ТБк]	D_2 [ТБк]	D [ТБк]	A/D
Промышленная радиография	Ir-192	5 ТБк	8,0E-02	2,0E+01	8,0E-02	62,5
	Co-60	5 ТБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	166,6
Зонд	Cs-137	100 ГБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	1,0
	Am-241/Be	800 ГБк	6,0E-02	8,0	6,0E-02	13,3
Детектор дыма	Am-241	3 МБк	6,0E-02	8,0	6,0E-02	5,0E-05
Ареометр	Am-241/Be	2 ГБк	6,0E-02	8,0	6,0E-02	3,3E-05
	Cs-137	400 МБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	4,0E-03
	Cf-252	3 ГБк	2,0E-02	1,0E-01	2,0E-02	0,2
Уровнемеры	Cs-137	20 ГБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	0,2
	Co-60	10 ГБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	0,3
	Am-241	4 ГБк	6,0E-02	8,0	6,0E-02	0,1
Радиоактивные источники, используемые в медицине						
Телетерапия	Co-60	1000 ТБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	3,3E+04
	Cs-137	500 ТБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	5000,0
Автоматическая брахитерапия	Co-60	10 ГБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	0,3
	Cs-137	10 МБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	1,0E-4
	Ir-192	400 ГБк	8,0E-02	2,0E+01	8,0E-02	5,0
Ручная брахитерапия	Cs-137	500 МБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	5,0E-03
	Ra-226	300 МБк	4,0E-02	7,0E-02	4,0E-02	7,5E-03
	Co-60	500 МБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	1,6E-02
	Sr-90	1500 МБк	1,0	4,0	1,0	1,5E-03
	Pd-103	1500 МБк	9,0E+01	1,0E+02	9,0E+01	1,6E-05
	I-125	1500 МБк	1,0E+1	2,0E-01	2,0E-01	7,5E-03
	Ir-192	1500 МБк	8,0E-02	2,0E+01	8,0E-02	1,9E-02
	Cf-252	1500 МБк	2,0E-02	1,0E-01	2,0E-02	7,5E-02
ПЭТ	F-18	500 МБк	6,0E-02	3,0E+01	6,0E-02	0,008
Диагностическая медицина	Tc-99m	1 ГБк	7,0E-01	7,0E+02	7,0E-01	0,001
	I-131	10 ГБк	2,0E-01	2,0E-01	2,0E-01	0,005

В. Периметры безопасности для закрытых источников

В случае закрытых источников уровни значений доз (ОБЭ-взвешенная доза, AD_T [10]) вмешательства для обеспечения радиационной критической безопасности являются следующими:

- $AD_{\text{туловище}}$: 1,0 [Гр-экв]; относится облучение органов красного костного мозга, легких, тонкого кишечника, гонад, щитовидной железы, глаз.
- $AD_{\text{плод}}$: 0,1 [Гр-экв]; для беременных женщин.
- $AD_{\text{ткань}}$: 0,1 [Гр-экв]; для 0,5 см глубины, обычно как следствие взятия в руки радиоактивного источника или помещения его в карман.
- $AD_{\text{ткань}}$: 10 [Гр-экв]; на площади 600 см².

В дальнейшем будем использовать величину дозы для туловища при моделировании существующих радиоактивных источников в Республике Чили и для расчета уровней облучения, которое оказывает каждый источник.

Время, в течение которого лицо подвергается воздействию радиоактивных источников, – это время, указанное в НРБ-99/2009 России [10], составляет максимум 2 суток для радиоактивных аварийных ситуаций. Учитывая эти два последних условия для величины дозы и времени, получим максимальную норму облучения за этот период времени – 20,80 мГр/ч.

С помощью программы Microshield 9.0 рассчитаны расстояния, обеспечивающие данную норму облучения для моделирования всех источников. Полученные окончательные результаты суммированы на рисунке 2.

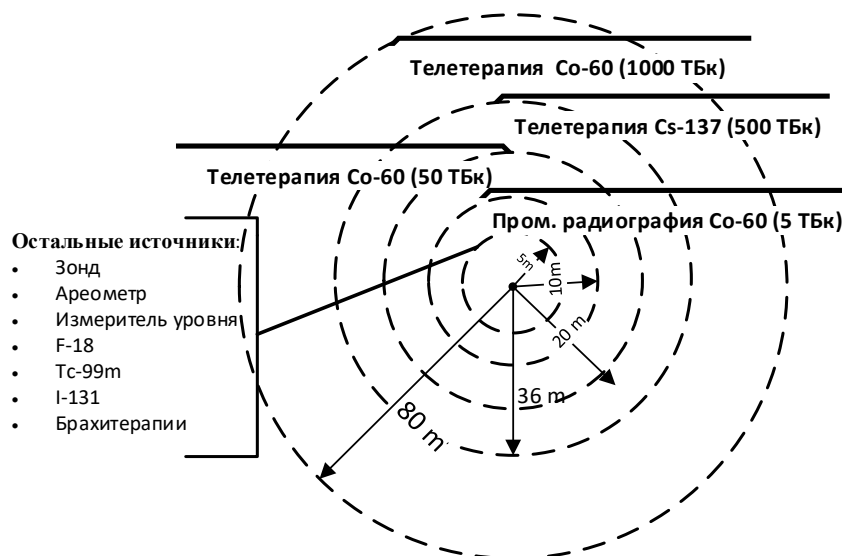


Рисунок 2 – Расстояния, обеспечивающие максимальную норму облучения 20,80 мГр/ч., для источников при различных видах деятельности (детерминированные эффекты) [Distances that provide a maximum exposure rate of 20.80 mGy / h for various activity sources (deterministic effects)]

Рассмотрим величину периметра безопасности, предотвращающую дозы, которые могут привести к росту *стохастических эффектов* облучения людей. Для этого критерия [9] используется величина эффективной дозы $E_T = 10$ мЗв, а временной период равен по-прежнему 2-м суткам.

Использование этого уровня вмешательства для значения этой дозы было оптимизировано с учетом населения в целом, при нормальных условиях на момент реализации. Следовательно, значение не нужно корректировать, если в группе населения имеются дети или беременные женщины.

Новый уровень мощности дозы в пределах периметра составляет 0,2 мЗв/ч, при котором осуществляется моделирование с целью получения безопасных расстояний в терминах стохастических эффектов. В результате всех симуляций для каждого источника получим окончательные периметры безопасности (рис. 3).

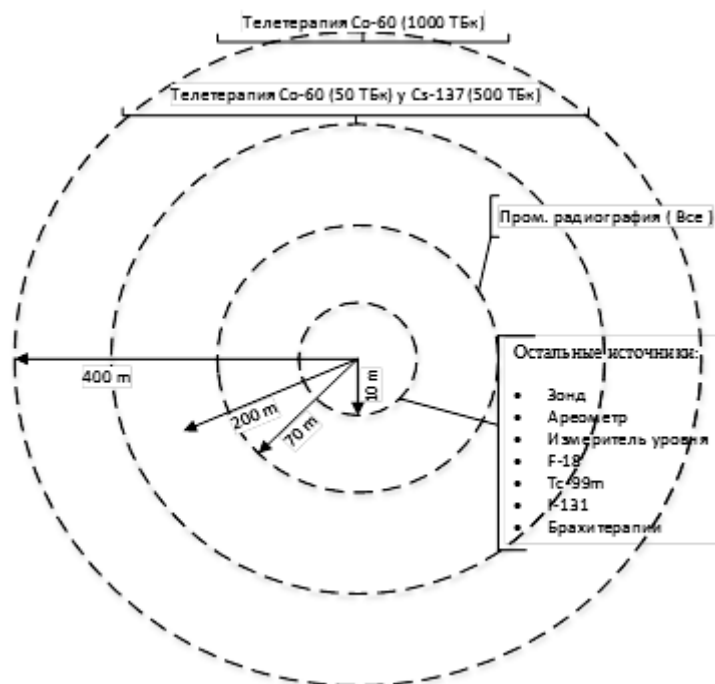


Рисунок 3 – Расстояния, обеспечивающие максимальную норму облучения 0,2 мЗв/ч., для источников при различных видах деятельности (стохастические эффекты) [Distances that provide a maximum exposure rate of 0.2 mSv / h, for various activity sources (stochastic effects)]

С. Расстояние безопасности для открытых источников

В отличие от закрытых источников, которые представляют риск внешнего облучения тела человека, для открытых радиоактивных источников рассматриваются внутренние пути облучения, то есть радиоактивное вещество может проникнуть в организм в основном при вдыхании или проглатывании, воздействуя на различные органы в зависимости от биологического метаболизма каждого радионуклида в организме.

Источником выброса радиоактивного вещества в атмосферу может быть:

а) **Пожар** в помещениях, лабораториях, складах и т.д., где имеется радиоактивное вещество. В этом случае токсическое радиоактивное облако может преодолеть барьеры безопасности конструкции упаковки источника, особенно теплового барьера.

б) **Взрыв**, в этом случае принимается во внимание сценарий терроризма, в котором используется устройства радиологического рассеяния (УРР), а также ситуации, в которых может произойти взрыв обычных материалов, таких как бензин или газ.

в) **Повторный переход во взвешенное состояние**, когда открытый или закрытый разгерметизированный радиоактивный источник диспергирован на землю и вторично перешел во взвешенное состояние в атмосферу и распространился на большие расстояния.

В настоящей работе рассмотрен первый из трёх сценариев, связанных с открытыми радиоактивными источниками для всех типов существующих источников в Республике Чили. Для каждого сценария определены Критические Периметры

Безопасности и Периметры Безопасности.

Значения доз вмешательства (ОБЭ-взвешенная доза AD_T , [9]) для расчета Критического Периметра Безопасности в случае открытых источников определяются, как:

- $AD(\Delta)_{\text{красный мозг}}$: 0,2 [Гр-экв]; для включения радионуклидов-актининов.
- $AD(\Delta)_{\text{красный мозг}}$: 2,0 [Гр-экв]; для включения радионуклидов, не являющиеся актинидами.
- $AD(\Delta)_{\text{щитовидная железа}}$: 30 [Гр-экв].
- $AD(\Delta)_{\text{ободочная кишка}}$: 20 [Гр-экв].
- $AD_{\text{плод}}$: 0,1 [Гр-экв]; для беременных женщин.

Эти ограничения исходят из предположения, что для населения, подверженного воздействию радиоактивного облака, будут затронуты 5% облученных людей, у которых возникнут какие-либо детерминированные эффекты за период включения $\Delta = 30$ дней.

Актиниды, в отличие от других радионуклидов, не являющихся актинидами, имеют заметное биокинетическое отличие при попадании в организм, поэтому доставка доз в красный мозг, обусловленная актинидами, обычно примерно в 50 раз выше, чем у не актиноидов.

В Республике Чили очень мало разновидностей радиоактивных источников промышленного использования, содержащих актиниды (Cf, Am), и они имеют низкую активность. Однако по причине своего существования в дальнейшем они будут учитываться при расчетах критического периметра. Кроме того, при определении предела дозы $AD(\Delta)_{\text{щитовидная железа}}$ следует учитывать только те радионуклиды, которые поглощаются в ней (в Чили находятся только йод и технеций).

Моделирование и последующие вычисления проводились с использованием программы HotSpot Health Physics v.3.0 [11], позволяющей создавать модели радиоактивного облака, взрыва, пожара в присутствии радиоактивного вещества и суспензии, осаждаемых в грунте.

Важно знать условия моделирования, в которых выполняются сценарии. Это связано с тем, что специалист по радиологической защите, зная эти условия, сможет приблизительно скорректировать результаты, полученные в соответствии с реальной ситуацией, которая складывается на месте аварии, в случае, если эти условия далеки от тех, которые используются в этом моделировании.

В качестве примера в таблице 2 приведены параметры моделирования для случая пожара с участием радиоактивного материала. Используемые метеорологические данные – температура, скорость и направление ветра, тип устойчивости, соответствуют среднемесячным значениям, имеющимся в городе Сантьяго-де-Чили, без дождливых дней. Полученные по этому сценарию результаты показаны на рисунке 4.

Таблица 2 – Параметры моделирования в случае пожара с участием радиоактивного материала
[Simulation parameters in case of fire involving radioactive material]

Количество и скорость всасывания радионуклида после вдыхания	Опасный материал	Коэффициент повреждения	Фактор утечки	Воздушная фракция	Скорость осадения, см/с	Вдыхаемая фракция
1	2	3	4	5	6	7
F*	100%	1	1	0,1	0,3	0,05

*F – быстрая 100% абсорбция со средним биологическим временем 10 мин

Продолжение таблицы 2

Радиус возгорания	Размер облака	Высота пламени	Температура воздуха	Тепловая эмиссия	Длительность пожара	Выделяемая энергия
8	9	10	11	12	13	14
20 м	10 м	0 м	28°C	$2,0 \times 10^7$, кал/с	4 час	12000 кал/г

Окончание таблицы 2

Скорость ветра на высоте 10 м	Направление ветра	Устойчивость атмосферы	Высота вдыхания человека	Тип местности	Время между возгоранием и выбросом	Скорость дыхания
15	16	17	18	19	20	21
2,4 м/с	315°	C**	1,5 м	стандарт	30 мин	0,0003 м ³ /с

**Атмосферная стабильность, C – слабо неустойчивая

Радиус критического периметра безопасности для всех источников составляет 10 м, а расчетные радиусы периметров безопасности с параметрами (табл. 2) показаны на рисунке 4.

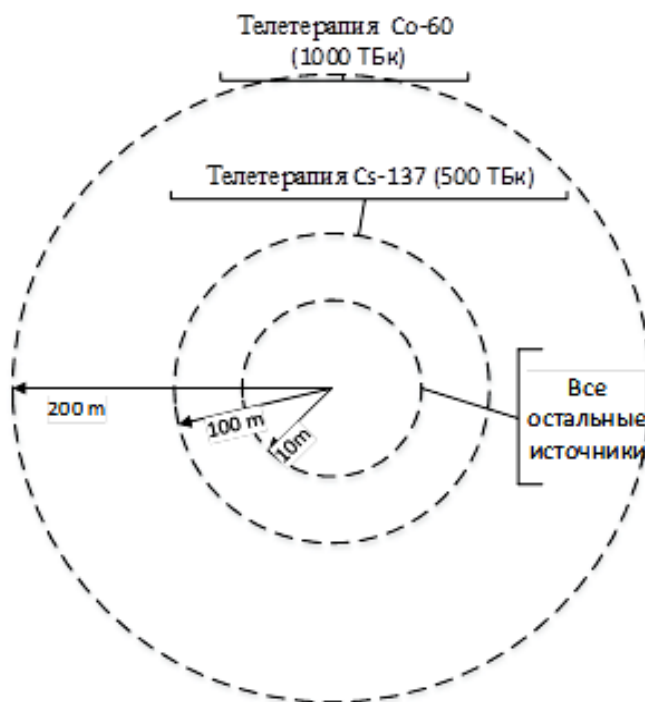


Рисунок 4 – Периметр безопасности источников в случае пожара с радиоактивным материалом (параметры сценария приведены в таблице 2) [Perimeter security of sources in case of a fire with radioactive material (scenario parameters are given in Table 2)]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложены процедуры и критерии с целью установления двух основных периметров безопасности для создания зон безопасности вокруг источника в случае чрезвычайных ситуаций. Разработаны необходимые предложения и скорректированы существующие потребности в Чили с точки зрения того, как действовать в чрезвычайных ситуациях с радиоактивными веществами.

Эти предложения в дальнейшем предполагается предоставить существующему органу по ядерному регулированию в Чили для его оценки и адаптации к нынешней системе реагирования в случае радиоактивных аварийных ситуаций в стране.

Последнее подразумевает его применение и внедрение не только специальными

органами, занимающимися реагированием на чрезвычайные ситуации, но и для всех тех учреждений, которые занимаются предупреждением и решением задач, связанных с чрезвычайными ситуациями в стране, в том числе: таможня, полиция, пожарные, морские власти, национальный разведывательный центр и прочие.

В работе за основу взята радиологическая ситуация в Республике Чили, однако, представленные здесь результаты позволяют адаптировать их к реальному радиологическому контексту, существующему в любой стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Nueva Aldea. STI/PUB/1389. Vienna. 2009.
2. International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Goiânia. STI/PUB/815. Vienna. 1988.
3. International Atomic Energy Agency. «Publications on Accident Response». 2018. Available at : https://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/publications_on_accident_response (дата обращения: 06.06.2018).
4. International Atomic Energy Agency, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, N GS-G-2.1, STI/PUB/1265, Vienna, 2006.
5. International Atomic Energy Agency, Generic Procedures for Assessment and Respond During a Radiological Emergency, N°. 1162, IAEA-TECDOC-1162, Vienna, 2000.
6. International Atomic Energy Agency, «Manual for First Responders to a Radiological Emergency», EPR-First Responders (2006), 2006. Available at : <http://www.iaea.org>.
7. International Atomic Energy Agency, Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-values), EPR-D-VALUES (2006), Vienna, 2006.
8. International Atomic Energy Agency, Categorization of Radioactive Sources. No. RS-G-1.9., STI/PUB/1227, Vienna, 2005.
9. International Atomic Energy Agency, Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria, No. 1432, IAEA-TECDOC-1432, Vienna, 2005.
10. Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009), Москва, 2009.
11. National Atmospheric Release Advisory Center. Available at: <https://narac.llnl.gov/> (дата обращения: 06.06.2018).

REFERENCES

- [1] International Atomic Energy Agency, The Radiological Accident in Nueva Aldea, STI/PUB/1389, Vienna, 2009.
- [2] International Atomic Energy Agency, The Radiological Accident in Goiânia, STI/PUB/815, Vienna, 1988.
- [3] International Atomic Energy Agency, «Publications on Accident Response,» 2018. Available at: https://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/publications_on_accident_response.
- [4] International Atomic Energy Agency, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, N GS-G-2.1, STI/PUB/1265, Vienna, 2006.
- [5] International Atomic Energy Agency, Generic Procedures for Assessment and Respond During a Radiological Emergency, N. 1162, IAEA-TECDOC-1162, Vienna, 2000.
- [6] International Atomic Energy Agency, «Manual for First Responders to a Radiological Emergency,» EPR-First Responders (2006). Available at: <http://www.iaea.org>
- [7] International Atomic Energy Agency, Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-values), EPR-D-VALUES (2006), Vienna, 2006.
- [8] International Atomic Energy Agency, Categorization of Radioactive Sources. No. RS-G-1.9, STI/PUB/1227, Vienna, 2005.
- [9] International Atomic Energy Agency, Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria, No. 1432, IAEA-TECDOC-1432, Vienna, 2005.
- [10] Gosudarstvennoe sanitarno-epidemiologicheskoe normirovanie Rossijskoj Federacii. Normy`radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009) [State Sanitary-Epidemiological Regulation of the Russian Federation. Radiation Safety Standards (RSS-99/2009)]. Moscow. 2009 (in Russian).
- [11] National Atmospheric Release Advisory Center. Available at: <https://narac.llnl.gov>.

Issues of Radiation Security in the Republic of Chile**O.F. Yañez Quintanilla¹, A.I. Ksenofontov²**

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

¹ *ORCID iD: 0000-0002-1707-1118*

WoS Researcher ID: N-2258-2018

e-mail: oscar.vaorsag@gmail.com

² *ORCID iD: 0000-0002-6864-9805*

WoS Researcher ID: H-1833-2017

e-mail: AIKsenofontov@mephi.ru

Abstract – The objective of the work is to establish a criteria and methodology to determine safe distances in the case of emergency situations involving radioactive or nuclear material. The current radiological/nuclear situation in the Republic of Chile is taken as a basis; however, the results presented here allow to adapt them to the real radiological context existing in any country.

Keywords: dose rate, external irradiation, ionizing radiation, radioactive contamination, safe distances, safety perimeters.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 504.4.054

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО ОБЪЕКТА В ЗОНЕ
РАЗМЕЩЕНИЯ РОАЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ**

© 2018 Е.А. Абидова, О.И. Бейсуг, А.Е. Дембицкий, О.Е. Драка, О.Ю. Пугачёва

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

Метод главных компонент был применен для анализа данных экологического мониторинга р. Дон. Метод позволил произвести оценку большого числа разнородных и быстро меняющихся параметров. Результаты указывают на возможность автоматической классификации состояния водного объекта на основании наблюдения его химических, биологических и физических параметров. Предложенная модель классификации может быть применена для обработки данных мониторинга водных экосистем, в том числе Цимлянского водохранилища и водоема-охладителя Ростовской АЭС. Работа выполнена по материалам, полученным в комплексных совместных экспедициях с Донской устьевой станцией Росгидромета в нижнем течении р. Дон на участке от г. Аксай до г. Ростов-на-Дону. Пробы воды отбирались на стационарных пунктах и створах гидрохимической сети мониторинга поверхностных вод суши.

Ключевые слова: метод главных компонент, спектр собственных значений, матрица счетов, матрица нагрузок, активность внеклеточных эстераз, щелочная фосфатаза сестона.

Поступила в редакцию: 24.07.2018

Загрязнение водных экосистем в настоящее время приобрело глобальные масштабы. Для поверхностных вод оно имеет особенное значение, так как запасы пресных вод на земле ограничены. Дон является основным источником питьевого водоснабжения и является объектом непосредственного воздействия Ростовской АЭС. При определении экологического состояния дельты р. Дон учитывается достаточно большое количество гидрохимических характеристик, полученных в результате отбора и обработки проб. В настоящем исследовании рассматриваются химические параметры, такие как рН, концентрации кислорода, соединений азота, биологические, среди которых БПК, показатели активности внеклеточных эстераз (АЭ) и активности щелочной фосфатазы (АЩФ), температура.

Для повышения качества обработки данных экологического мониторинга необходим подход, позволяющий автоматически производить анализ данных экологического мониторинга и классифицировать состояние объекта наблюдения. Для решения аналогичных задач в различных областях деятельности (техническая диагностика, финансы) [1, 2, 3, 4] используются алгоритмы классификации. Существующие алгоритмы можно разделить на две группы: вероятностные (статистические) и признаковые. Статистический подход позволяет получить достоверные результаты, если исходные данные получены в результате многолетних, всесезонных, ежесуточных наблюдений, что возможно при работе стационарных экологических постов. В рамках настоящей работы данные получены путем мобильного мониторинга в отдельные моменты времени. Для извлечения информации из этих данных целесообразна реализация одного из признаковых подходов – метода главных компонент [5, 6].

Метод главных компонент позволяет произвести классификацию состояния объекта на определенные группы на основе признаков, полученных по измеренным данным, за счет того, что объекты в одной и той же группе похожи друг на друга с определенной точки зрения. Если классовые метки групп изначально неизвестны, то классификация становится задачей кластеризации. Кластеризация разбивает множество объектов на кластеры, так что объекты в одном кластере более похожи друг на друга, чем на другой кластер. Классификатор позволяет получить абсолютно достоверные результаты только для ситуаций, описанных обучающей выборкой. В нашем случае доступны только неразмеченные данные измерений. Для таких ситуаций были разработаны модели частичной классификации [7, 8].

В модели частичной классификации дополнительная информация по непомеченным данным извлекается из распределения данных и структуры множеств. Частичная классификация основывается на предположении, что соседние точки данных, скорее всего, принадлежат к одному и тому же классу, а также на предположении, что данные с одинаковой структурой, вероятно, будут в одном классе. Корреляции обычно существуют между различными параметрами состояния окружающей среды в связи с их химическим или биологическим взаимодействием. Таким образом, данные, соответствующие одному и тому же состоянию, как правило, соответствуют одному и тому же статистическому распределению или структуре множества.

Очевидно, все рассматриваемые в настоящей работе показатели экологического состояния водотока зависят друг от друга. Значения параметров, соответствующих состоянию объекта, определяются также географией (в отборах, взятых на расстоянии нескольких километров, результаты могут отличаться на порядки), зависят и от сезонной и суточной изменчивости.

Следует отметить, что высокие концентрации оксидов азота и аммиака сами по себе являются показателями экологического неблагополучия. А такие биологические показатели как АЩФ и АЭ показывают реакцию экосистемы на неблагоприятные факторы. Показано [9, 10], что АЩФ и АЭ возрастают в соответствии с ростом экологической нагрузки, их высокие значения сохраняются даже после снижения нагрузки, однако, под действием особо токсичных загрязнителей оба параметра снижаются. То есть нормативные значения АЩФ и АЭ лежат в определенном диапазоне.

Створ	Дата	Время	АЩФ	АЭ	t	C	pH	O2	БПК5	NH4	NO2	NO3	N общ	N вал	N орг	N взв
			мкмоль/лч	мкмоль/лч				мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
Выше г. Аксай	24.07.2002	12:20	0,562	4,25	25	8,1	7,9	1,67	0,003	0,003	0,012	0,562	1,03	0,544	0,463	30
Водозабор Ростов	24.07.2002	13:20	0,314	2,68	25	8,3	6,6	1,63	0,038	0,007	0,168	0,531	0,96	0,318	0,425	
Ниже р.Темерник	24.07.2002	14:28	1,136	4,6	25	8,2	7,3	2,26	0,003	0,009	0,207	0,643	1,16	0,424	0,514	
■ ■ ■																

13

13

Рисунок 1 – Вид исходных данных [Type of source data]

Данные для анализа представлены в удобной форме для применения метода главных компонент: в виде прямоугольной матрицы X , строки которой (их принято называть образцами) соответствуют времени и месту отбора проб, а столбцы (переменные) значениям параметров. Размерность матрицы $I \times J = 30, J = 13$. Возможно, часть данных является избыточной, не содержит нужной для классификации информации. Метод главных компонент позволяет понизить размерность, т.е. заменить исходную матрицу X двумя новыми T и P , размерность которой A , меньше числа столбцов исходной матрицы (число строк сохраняется):

$$X = TP^t + E = \sum_{a=1}^A t_a P_a^t + E \quad (1)$$

где T – матрица счетов, размерностью $I \times A$;
 P – матрица нагрузок, размерностью $J \times A$;
 E – матрица остатков, размерностью $I \times J$.

Если декомпозиция выполнена правильно, то матрица T несет в себе столько же информации, сколько ее было в начале, в матрице X . При этом матрица T меньше, и, стало быть, проще, чем X . Матрица счетов T дает проекции исходных образцов на подпространство главных компонент. Строки $t_1, \dots, t_I$ матрицы T – это координаты образцов в новой системе координат. Счета несут информацию, полезную для понимания того, как устроены данные. На графике счетов каждый образец изображается в координатах (t_i, t_j) , чаще всего – (t_1, t_2) , обозначаемых PC1 и PC2. Близость двух точек означает их схожесть, т.е. положительную корреляцию. Точки, расположенные под прямым углом, являются некоррелированными, а расположенные диаметрально противоположно – имеют отрицательную корреляцию.

Успех применения метода главных компонент зависит от выбора координат и их числа. Полезным инструментом для решения этой проблемы является график, на котором изображаются собственные значения λ_i в зависимости от числа PC_i [5]. Собственные значения получаются в результате сингулярного разложения, преобразования близкого к разложению на главные компоненты. В результате сингулярного разложения исходная матрица X разлагается в произведение трех матриц

$$X = USV^t \quad (2)$$

где U – матрица, образованная ортонормированными собственными векторами матрицы XX^t ;
 V – матрица, образованная ортонормированными собственными векторами матрицы X^tX ;
 S – диагональная матрица, элементами которой являются сингулярные значения равные квадратным корням из собственных значений λ_i .

Связь между двумя разложениями определяется следующим простым соотношением:

$$T = US$$

В настоящей работе выбираются главные компоненты, которым соответствуют наибольшие собственные значения.

Прежде чем подвергнуть анализируемые данные разложению на главные компоненты и сингулярному разложению к ним была применена процедура шкалирования с тем, чтобы привести матожидание всех параметров к нулю, а дисперсию к единице.

Створ	АЩФ	АЭ	t C	pH	O2	БПК5	NH4	NO2	NO3	N общ	N вал	N орг	N взв
	мкмоль	мкмоль/лч			мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
Выше г. Аксай	-0.16	1.04	1.37	-2.06	-0.53	-1.18	-1.08	-0.99	-1.22	-0.67	-0.35	0.74	-0.02
Водозабор Ростов	-0.90	-0.54	1.37	-0.24	-1.62	-1.24	-0.44	-0.71	-0.05	-0.85	-0.55	-0.72	-0.19
Ниже р. Темерник	1.56	1.39	1.37	-1.20	-1.03	-0.32	-1.08	-0.57	0.24	-0.23	0.02	-0.03	0.22
...													

30

13

Рисунок 2 – Вид данных после шкалирования [Type of data after scaling]

К подготовленным данным применялось сингулярное разложение (стандартная

процедура обработки сигналов, предусмотренная в пакете LabView). В результате разложения получился спектр собственных значений.

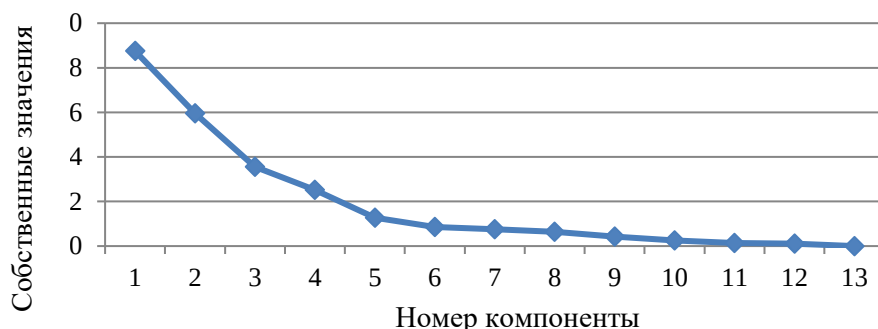


Рисунок 3 – Спектр собственных значений [Eigenvalue spectrum]

График показывает, что главными являются компоненты с номерами 1-4.

После разложения шкалированной матрицы на T и P (тоже стандартная процедура обработки сигналов, предусмотренная в пакете LabView) была получена матрица счетов. Первые два столбца этой матрицы (из тринадцати) соответствуют двум первым главным компонентам. Исходная матрица была спроецирована на первые главные компоненты. Результаты были представлены в виде тридцати точек на плоскости.

Для интерпретации полученных результатов замеры, соответствующие относительно высокой концентрации кислорода (более 8,5 мг/л) обозначены круглой формой маркера. Если замер соответствует относительно высокой концентрации аммиака (более 0,08 мг/л), маркер имеет форму ромба. Большая концентрация вещества обозначается большим размером.

Характерно, что концентрация аммиака возрастает, хоть и не вполне монотонно, по горизонтали вдоль первой главной компоненты PC1 вплоть до максимального значения данного параметра 0,293 мг/л, а концентрация кислорода в целом возрастает по вертикали вдоль второй главной компоненты PC2.

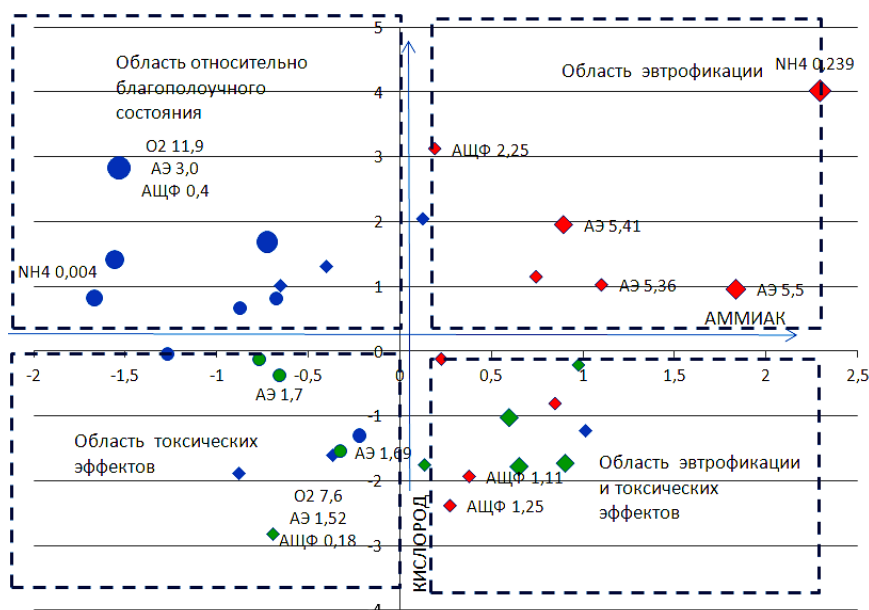


Рисунок 4 – График счетов (PC1 – PC2) [Chart of Accounts (RS1 - RS2)]

Легко видеть, что все круглые маркеры (одиннадцать из тридцати) находятся в

левой полуплоскости, а большинство ромбов в правой.

Можно отметить, что экстремальные значения АЩФ и АЭ наблюдаются везде, кроме левой верхней четверти плоскости, в которой сосредоточены замеры с высоким содержанием кислорода и низким содержанием аммиака. Можно считать, что замеры в этой части плоскости соответствуют относительному (по сравнению с другими замерами) экологическому благополучию. С другой стороны в правой верхней четверти сосредоточились замеры, соответствующие, судя по значениям АЩФ и АЭ, эвтрофикации объекта. В нижней полуплоскости преобладают замеры, которые на основании значений АЩФ и АЭ соответствуют токсическим эффектам.

Таким образом, в результате применения удалось классифицировать результаты замеров по четырем параметрам – концентрация кислорода, аммиака АЩФ и АЭ.

Теперь рассмотрим проекции на компоненты с номерами 3 и 4, которые также отражают существенную информацию о структуре данных. Исследовав новый график счетов совместно с таблицей исходных данных, можно сделать вывод о том, что РС3 отделяет относительно высокую концентрацию оксида азота NO_3 (более 0,17 мг/л) от более низкой. Высокая концентрация оксида азота обозначена здесь круглой формой маркера, низкая ромбами.

РС4 отделяет относительно низкий pH (менее 8,2) от высокого. Соответственно преимущественно слева оказываются пробы с щелочной реакцией, а справа с кислой. Отметим, что группы в данном случае менее отчетливы, чем на графике счетов первых двух компонент.

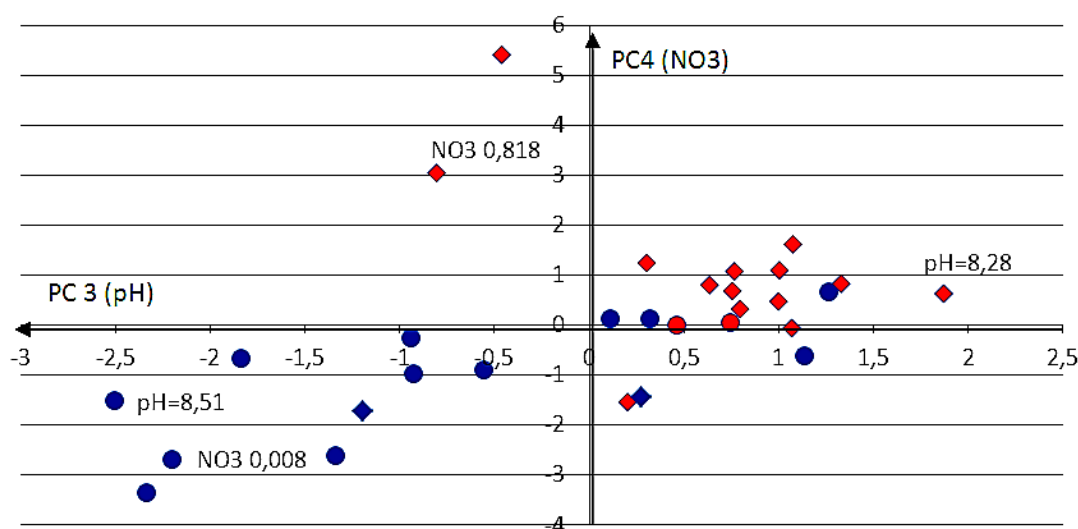


Рисунок 5 – График счетов (PC3 – PC4) [Chart of Accounts (RS3 – RS4)]

Таким образом, метод главных компонент был применен для анализа данных экологического мониторинга р. Дон. Метод позволил произвести оценку большого числа разнородных и быстро меняющихся параметров. Результаты указывают на возможность автоматической классификации состояния водного объекта на основании наблюдения его химических, биологических и физических параметров. Предложенная модель классификации может быть применена для обработки данных мониторинга различных экосистем, в том числе водоема-охладителя Ростовской АЭС. В качестве развития настоящего исследования планируется изучение нетривиальных зависимостей между параметрами состояния экосистем для их комплексной оценки и прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галиаскаров, М.Р.* Сравнительный анализ характеристик мониторинга технологического процесса с использованием линейного и нелинейного метода главных компонент [Текст] / М.Р. Галиаскаров, И.В. Рудакова, Л.А. Русинов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2013. – №22 (48). – С. 106-110.
2. *Галиаскаров, М.Р.* Система диагностики на базе нелинейного метода главных компонент и дискриминантного анализа Фишера [Текст] / М. Р. Галиаскаров, Л. А. Русинов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2016. – №33 (59). – С. 91-96.
3. *Захарова, А.А.* Информационная система управления риском банкротства предприятия. Юргинский технологический институт [Текст] / А.А. Захарова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013.
4. *Zakharova, A.A.* (2013). Fuzzy swot analysis for selection of bankruptcy risk factors. *Applied Mechanics and Materials*. 379 (2013). P. 207-213.
5. *Померанцев, А.* Метод главных компонент (PCA) [Текст] / А. Померанцев. – Российское хеометрическое общество [Электронный ресурс]. – URL : <http://rccs.chemometrics.ru/Tutorials/pca.htm> (дата обращения: 23.12. 2013).
6. *CUAHSI WaterOneFlow Workbook (version 1.1).* A guide to using CUAHSI's WaterOneFlow web services to retrieve hydrologic time series data. 2010 г. [Электронный ресурс]. – URL : http://his.cuahsi.org/documents/HISDoc5_UseWebServices11
7. *Pfahring, B.A.* semi-supervised spam mail detector. ECML-PKDD Discovery Challenge Workshop. 2006. – URL : <http://www.ecmlpkdd2006.org/pfahring>
8. *Anshul Bhargav, Munish Bhargav.* Pattern Discovery and Users Classification Through Web Usage Mining. – International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT). 2014. С. 12.
9. *Бейсуг, О.И.* Биоиндикация экологического состояния водных экосистем территории воздействия Ростовской АЭС с использованием ферментативных показателей / О.И. Бейсуг // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №1 (6). – С. 29-32.
10. *Предеина, Л.М.* Влияние повышенных концентраций цинка и железа на активность внеклеточных эстераз и щелочной фосфатазы в природных и модельных пресноводных экосистемах [Текст] / Л.М. Предеина, О.И. Бейсуг, М.Н. Предеин // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естественные науки. – 2006 – №7. – С. 69-81.

REFERENCES

- [1] *Galiaskarov M.R., Rudakov I.V., Rusinov L.A.* Sravnitel'ny`j analiz xarakteristik monitoringa texnologicheskogo processa s ispol'zovaniem linejnogo i nelinejnogo metoda glavny`x komponent [Comparative Analysis of Process Monitoring Performance Using Linear and Non-Linear Method of Principal Components]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo instituta (texnicheskogo universiteta)* [Proceedings of the St.Petersburg State Technological Institute (technical university)]. 2013. № 22 (48). P. 106-110 (in Russian).
- [2] *Galiaskarov M.R., Rusinov L.A.* Sistema diagnostiki na baze nelinejnogo metoda glavny`x komponent i diskriminantnogo analiza Fishera [Diagnostic System Based on Nonlinear Principal Components Method and Discriminant Analysis of Fisher]. *Proceedings of the St. Petersburg state technological Institute (technical University)*. 2016. № 33 (59). P. 91-96 (in Russian).
- [3] *Zaharova A.A.* Informacionnaya sistema upravleniya riskom bankrotstva predpriyatiya. Yurginskij texnologicheskij institut [Information System of Enterprise Bankruptcy Risk Management. Yurga technological Institute]. Tomsk. Publishing House of Tomsk Polytechnic University. 2013 (in Russian).
- [4] *Zakharova, A.A.* (2013). Fuzzy Swot Analysis for Selection of Bankruptcy Risk Factors. *Applied Mechanics and Materials*. 379 (2013). P. 207-213.
- [5] *Pomerantsev A.* Metod glavny`x komponent (PCA) [Principal Component Method (PCA)]. *Rossiyskoe xemometricheskoe obshhestvo* [Russian Chemometric Society]. URL: <http://rccs.chemometrics.ru/Tutorials/pca.htm> (in Russian).
- [6] *CUAHSI WaterOneFlow Workbook (version 1.1).* A guide to using CUAHSI's WaterOneFlow web services to retrieve hydrologic time series data. 2010 г. URL: http://his.cuahsi.org/documents/HISDoc5_UseWebServices11.

- [7] Pfahringer B.A. semi-supervised spam mail detector. ECML-PKDD Discovery Challenge Workshop. 2006. Available at: <http://www.ecmlpkdd2006.org/pfahringer>
- [8] Anshul Bhargav, Munish Bhargav. Pattern Discovery and Users Classification Through Web Usage Mining. – International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT). 2014. P. 12.
- [9] Beysug O.I. Bioindikaciya e`kologicheskogo sostoyaniya vodny`x e`kosistem territorii vozdejstviya Rostovskoj AE`S s ispol`zovaniem fermentativny`x pokazatelej [Bioindication of Ecological State of Aquatic Ecosystems of Rostov NPP Area with the Use of Enzymatic Indicators]. Global'naya yadernaya bezopasnost` [Global Nuclear Safety]. 2013. № 1 (6). P. 29-32 (in Russian).
- [10] Predeina, L.M., Beysug O.I., Predein M.N. Vliyanie povы`shenny`x koncentracij cinka i zheleza na aktivnost` vnekletochny`x e`steraz i shhelochnoj fosfatazy` v prirodny`x i model`ny`x presnovodny`x e`kosistemax [Effect of Elevated Concentrations of Zinc and Iron on the Activity of Extracellular Esterases and Alkaline Phosphatase in Natural and Model Freshwater Ecosystems]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Estestvenny`e nauki [News of Universities. North Caucasus region. Natural Sciences]. 2006. № 7. P. 69-81 (in Russian).

Assessment of Water Body State in Rostov NPP Area Using the Principal Components Method

E.A. Abidova¹, O.I. Bejsug², O.E. Draka³, A.E. Dembickij⁴, O.Yu. Pugachyova⁵

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

¹ORCID iD: 0000-0003-0258-5543

Wos Researcher ID: O-1870-2018

e-mail: nii_energomash@mail.ru

²ORCID iD: 0000-0001-9218-9354

Wos Researcher ID: O-6513-2018

e-mail: nii_energomash@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0002-3397-6830

Wos Researcher ID: O-2222-2018

e-mail: nii_energomash@mail.ru

⁴ORCID iD: 0000-0003-4616-621X

Wos Researcher ID: O-3133-2018

e-mail: nii_energomash@mail.ru

⁵ORCID iD: 0000-0002-9168-3008

Wos Researcher ID: O-2103-2018

e-mail: nii_energomash@mail.ru

Abstract – The principal component method is used to analyze the environmental monitoring data of the river Don. The method made it possible to estimate a large number of heterogeneous and rapidly changing parameters. The results indicate the possibility of automatic classification of the water body state on the basis of observation of its chemical, biological and physical parameters. The proposed classification model can be applied to the processing of monitoring data of various ecosystems, including Tsimlyansk reservoir and water-cooler of Rostov NPP. Water samples are taken at stationary points and sections of the hydrochemical network for monitoring surface land waters.

Keywords: principal components method, eigenvalue spectrum, a matrix of accounts, the matrix of loadings, extracellular esterases activity, alkaline phosphatase of zeston.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 532.5:539.5:623.45

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ
НЕРЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННООПАСНЫЙ ОБЪЕКТ**

© 2018 О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе

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

Рассматривается развитие аварийной ситуации после деструктивных воздействий на гипотетическую ракету с гипотетическим ядерным боеприпасом (ЯБП). Проведена оценка возможности ударно-волнового инициирования заряда обычного взрывчатого вещества, входящего в состав ЯБП.

Ключевые слова: твердое ракетное топливо, ударно-волновое инициирование, детонация, ядерный боеприпас, аварийный взрыв.

Поступила в редакцию: 29.05.2018

В обнародованном в США 2 февраля 2018 года документе, который носит название «Обзор ядерной политики» (2018 Nuclear Posture Review Final Report), говорится: «Учитывая существующий и разрабатываемый ядерный потенциал, существующий потенциал в области химических, биологических и обычных вооружений, а также исключительно провокационную риторику и действия, Северная Корея представляет собой неотложную и непредсказуемую угрозу». Подобные заявления повышают вероятность возникновения вооруженного конфликта на Корейском полуострове. Несмотря на грядущие изменения в ядерной доктрине США, основным видом предполагаемого воздействия США по ракетным комплексам КНДР следует ожидать поражение пусковых установок (ПУ) и ракет обычными средствами стратегической и тактической авиации, а также крылатыми ракетами (КР) морского базирования в рамках операции группы армий или стратегической операции на театре военных действий. Планируемое воздействие: по стационарным защищенным ПУ – управляемые ракеты (УР) / управляемые авиабомбы (УАБ) – 2 или 2÷3 КР в обычном снаряжении; по мобильным и незащищенным стационарным ПУ – КР с кассетной боевой частью или неуправляемые ракеты (НУР) [1, 2].

Существуют следующие виды опасности ядерного оружия (ЯО): опасность несанкционированного применения ЯО; опасность ядерного взрыва; опасность ядерных энерговыделений самоподдерживающейся цепной ядерной реакции (СЦЯР); опасность возникновения СЦЯР; опасность выброса радиоактивных и токсичных веществ в окружающую среду; опасность ионизирующего воздействия радиоактивных веществ составных частей ядерного боеприпаса. К настоящему времени широко известно о многочисленных авариях и катастрофах, связанных с ЯО, среди которых особый интерес представляют следующие: в августе 1966 года в шахте взорвалась межконтинентальная баллистическая ракета «Титан-2» (США); в сентябре 1980 года произошел взрыв такой же ракеты (взрывной волной из шахты была выброшена ядерная боеголовка); в 1985 году произошел взрыв твердотопливного двигателя ракеты «Першинг-2» (база США на территории ФРГ) [3]. Наличие твердого ракетного топлива

(ТРТ) в составе ядерноопасного объекта повышает вероятность возникновения аварийной ситуации с наиболее тяжелыми последствиями. ТРТ, по сути – взрывчатые вещества, при нерегламентированных деструктивных воздействиях (НДВ) сами являются источником вторичных воздействий на ядерный боеприпас (ЯБП).

Для исключения неконтролируемых взрывов ядерных боеприпасов используются ступени предохранения, хотя выделения ядерной энергии и рассеивание ядерного горючего в случае аварийного взрыва боеприпаса полностью исключить не удастся. Ядерное горючее не может стать источником пожара или взрыва. Однако в ядерных боеприпасах содержится значительное количество обычного взрывчатого вещества, в состав головных частей могут входить дополнительные устройства, содержащие пирозаряды и твердое топливо. Поэтому в аварийных случаях (АС) ядерное оснащение ракет следует рассматривать как взрывоопасный элемент.

Вероятность того, что аварийный взрыв ЯБП будет активным, составляет 0,3%. Само по себе деление на аварийный неактивный (АНВ) и аварийный активный взрыв (ААВ) довольно условно. Так ААВ считается взрыв, при котором энерговыделение превышает энерговыделение взрыва заряда обычного взрывчатого вещества (ВВ) ЯБП более чем на 10 кг в тротиловом эквиваленте (ТЭ) [4].

Из перечня возможных АС и этапов их развития [5] выбрана АС-III «Воздействие обычных средств поражения на агрегат» с параметром «Характеристики поражающих элементов». Этапы развития АС-III:

- Э-2 – пожар агрегата с ракеты (Э-2-1 – пожар (взрыв) топлива ракеты; Э-2-2 – срабатывание пожаро-взрывоопасных элементов ракеты и ЯБП);
- Э-5 – разрушение корпуса двигательной установки;
- Э-7 – воздействие обычных средств поражения;
- Э-8 – воздействие поражающих факторов взрыва элементов ракеты, ЯБП;
- Э-13 – взрыв, сгорание ЯБП.

Анализ возможных аварийных ситуаций (АС) при НДВ на твердотопливные двигательные установки ракет показал, что наиболее опасным для ЯБП, является ударное воздействие, создаваемое действием продуктов детонации и разгоняемыми элементами конструкции.

На рисунке 1 представлена логическая схема развития А-III (дерево событий) для наихудшего сценария (исход – Э-13).

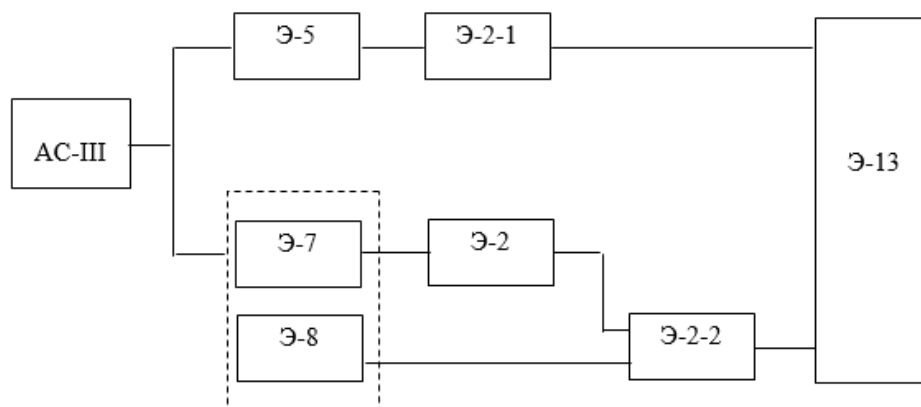


Рисунок 1 – Логическая схема развития А-III для наихудшего сценария (исход – Э-13) [The logical scheme of the development of A-III for the worst scenario (outcome - E-13)]

Рассмотрим развитие АС после НДВ на гипотетическую ракету с гипотетическим ЯБП. Так как достоверных сведений о ракетных топливах баллистических ракет КНДР

нет, то по материалам работ [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] был определен диапазон механических, теплофизических и химических свойств ракетных топлив. Для расчетных исследований механизма возбуждения и распространения взрывчатых превращений в зарядах ТРТ брались гипотетические образцы (№№ 1÷3). Некоторые их характеристики в сравнении с взрывчатыми веществами представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики гипотетических образцов с взрывчатыми веществами (Characteristics of hypothetical samples with explosives)

Взрывоопасные вещества	Плотность, кг/м ³	Критический диаметр, мм	Критическое давление инициирования, ГПа	Скорость детонации, м/с	Теплота взрыва, кДж/кг
Перхлорат аммония	1000	30	1,5	3750	2030
Гексоген	1800	1-3	10	8860	5610
Октоген	1870	1-2	10	8900	5400
Тротил	1600	5	2,2	6970	4120
Образец № 1	1830	34	2,0	6500	6600
Образец № 2	1740	36	2,0	6000	6600
Образец № 3	1790	27	7,2	5500	6600

Модельные испытания показали, что при определенном воздействии в образце № 1 может быть возбуждена детонация, в остальных случаях послойное или конвективное горение либо взрыв в низкоскоростном режиме (ТЭ ~ 20÷30% от ТЭ детонации).

При взрыве заряда ТРТ распределится по поверхности оболочки. Определения скорости метания конструкции подробно рассмотрено в работе [15]. Наибольший интерес для исследования воздействия на ЯБП представляет движение переднего днища и других элементов конструкции, разделяющих РДТТ и ЯБП (агрегатный, соединительный и переходной отсеки), которые будут вовлечены в движение. На рисунке 2 представлена расчетная схема конструкции гипотетической твердотопливной ракеты.

Приборный отсек ($m_{ПО}$), агрегатный отсек ($m_{АО}$), соединительный отсек ($m_{СО}$) и днище ($m_{кДН}$) как правило выполнены из АМг-6 и стеклопластика. При расчете следует учитывать их суммарную массу.

Для рассматриваемой гипотетической ракеты скорость метания определим по упрощенной формуле (1) [13]:

$$U = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\beta}{2\left(1 + \frac{\beta}{3}\right)}} \quad (1)$$

Приняв $\beta \sim 1,7$ и $D = 5500 \div 6500$ м/с, получим $U = 2230 \div 2630$ м/с.

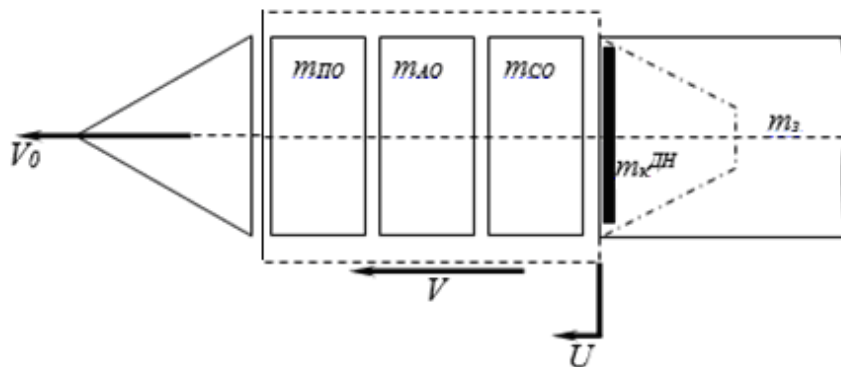


Рисунок 2 – Расчетная схема [Design scheme]

На рисунке 3 представлены результаты моделирования деформации рассматриваемой конструкции для различных моментов времени τ (сек).

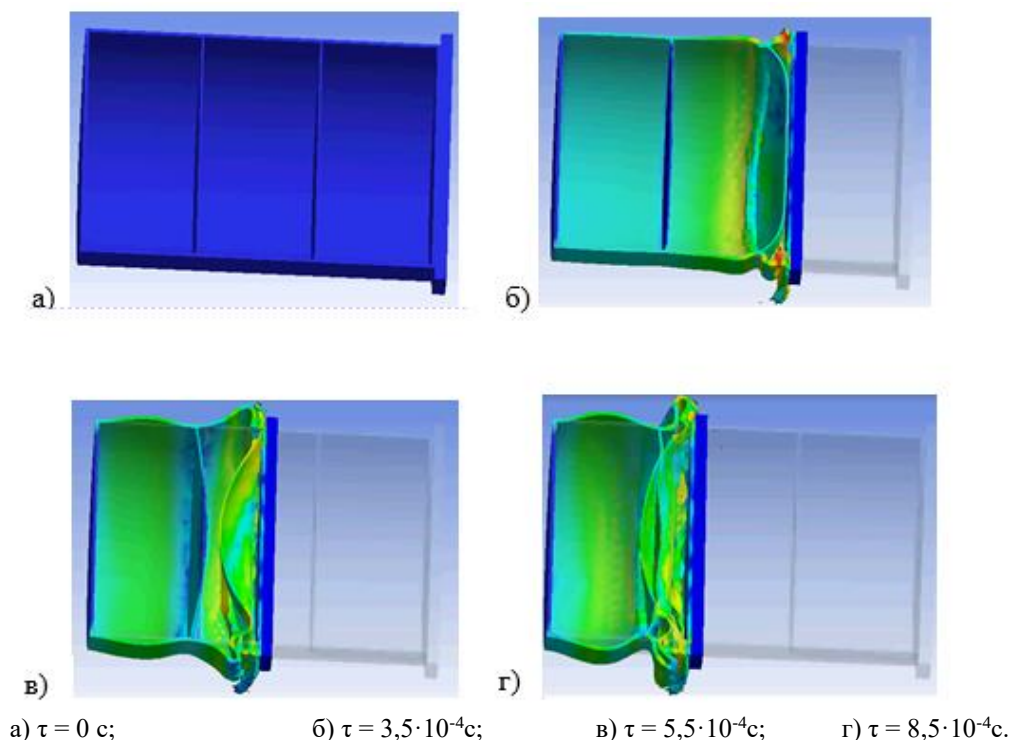


Рисунок 3 – Деформация элементов конструкции [Deformation of structural elements]

Проведенная оценка возможности ударно-волнового инициирования заряда ВВ ЯБП показала, что детонация обычного взрывчатого вещества рассматриваемого устройства возможна в диапазоне скорости $3000 \div 4500$ м/с. Поэтому ожидаемый исход развития этапов данной АС – аварийный неактивный взрыв (разрушение ЯБП) с возможным развитием пожара. Результаты математического моделирования подобной аварийной ситуации с гипотетическим ЯБП ($\sim 0,33$ Мт в ТЭ) представлены на рисунке 4 [4].

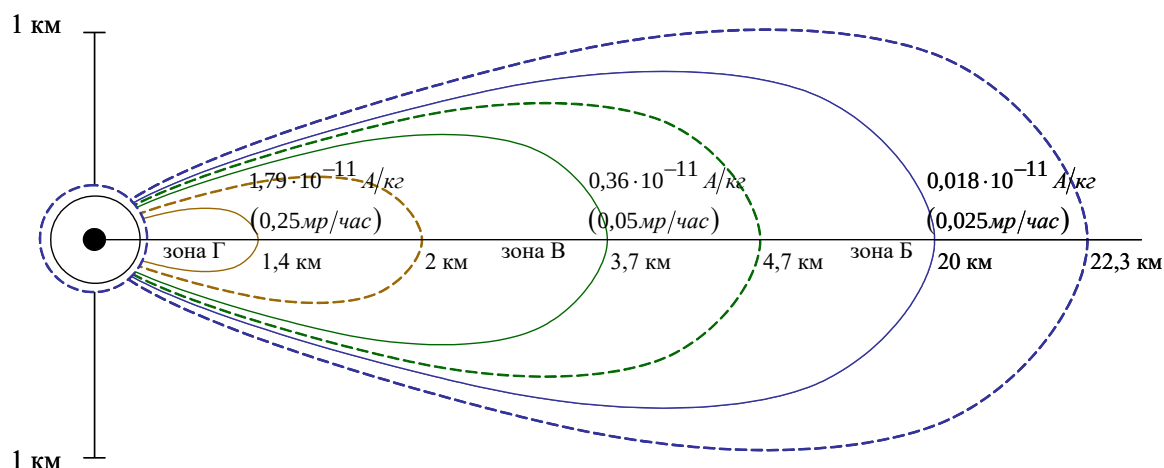


Рисунок 4 – Радиоактивное (α) заражение местности при АНВ (пожаре) гипотетического ЯБП (пунктиром показаны зоны при пожаре) [Radioactive (α) contamination of the area in case of fire of a hypothetical nuclear warhead (dotted lines indicate fire areas)]

При АНВ заражение будет только α -излучением, возможен пожар. При температурах на деталях радиоактивных веществ: 500^0 С – горит плутоний (α – фаза горения); 590^0 С – горит плутоний (δ – фаза горения); 680^0 С – воспламеняется уран и дейтерид лития. При сгорании урана и плутония происходит образование окислов металлов, сорбированных на частицах дыма. Облака дыма с диспергированными радиоактивными веществами ядерного боеприпаса ветром относит на значительные расстояния, вызывая радиоактивное заражение местности. Пожар гораздо опаснее, чем АНВ. При этом возможны заболевания человека: отек легких, склероз легких, отдельные поражения легких.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слипченко, В.И. Войны нового поколения: дистанционные бесконтактные. [Текст] / В.И. Слипченко. – Москва : ОЛМА-ПРЕСС Образование, 2004. – 382 с.
2. Кирьян, М.М. Внезапность в операциях вооруженных сил США [Текст] / М.М. Кирьян. – Москва : Воениздат, 1982. – 328 с.
3. Кириллов, В.М. Физические основы радиационной и ядерной безопасности. [Текст] / В.М. Кириллов – Москва : РВСН, 1992. – 212 с.
4. Денисов, О.В. Комплексная безопасность населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Проблемы и решения: моногр. [Текст] / О.В. Денисов, О.А. Губеладзе, Б.Ч. Месхи, Ю.И. Булыгин; под общ. ред. Ю.И. Булыгина. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2016. – 278 с.
5. Михайлов, В.Н. Безопасность ядерного оружия России. [Текст] / под ред. В.Н. Михайлова – Москва : Мин. по атомной энергии – 1998. – 148 с.
6. Жарков, А.С. Состояние, перспективы и проблемы утилизации ракетных топлив [Текст] / А.С. Жарков, В.И. Марьяш, С.М. Уткин // Проблемные вопросы методологии утилизации смесевых ракетных топлив, отходов и остатков жидких ракетных топлив в элементах ракетно-космической техники : сб. трудов научно-практической конференции. Бийск : ФНПЦ «Алтай», Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2003 г. – С. 5-10.
7. Маклаков, С.Ф. Ракеты стратегического назначения. Курсовое и дипломное проектирование: метод. пособие [Текст] / С.Ф. Маклаков, Л.Л. Маджугин, О.А. Губеладзе – Ростов-на-Дону : РВИ РВ, 2009. – 128 с.
8. Косточко, А.В. Пороха, ракетные твердые топлива и их свойства : учебное пособие Казан. гос. технол. ун-т. [Текст] / А.В. Косточко, Б.М. Кабзан – Москва : ИНФРА-М, 2014. – 399 с.
9. Соколовский, М.И. Опыт экологически чистой утилизации малогабаритных РДТТ [Текст] / М.И. Соколовский, В.З. Каримов, Ю.Н. Щербаков // Проблемные вопросы методологии утилизации смесевых ракетных топлив, отходов и остатков жидких ракетных топлив в элементах ракетно-космической техники : сб. трудов научно-практической конференции. Бийск: ФНПЦ «Алтай», Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2003. – С. 2-4.
10. Алемасов, В.Е. Теория ракетных двигателей: учебник для студентов ВТУЗов [Текст] / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегаллин, А.П. Тишин; под ред. В.П. Глушко. – Москва : Машиностроение, 1989. – 464 с.
11. Цуцуран, В.И. Военно-технический анализ состояния и перспективы развития ракетных топлив: Учеб. [Текст] / В.И. Цуцуран, Н.В. Петрухин, С.А. Гусев. – Москва : МО РФ, 1999. – 332 с.
12. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь [Текст] / под ред. Б.П. Жукова. – Москва : Янус К, 2000. – 483 с.
13. Орленко, Л.П. Физика взрыва и удара: учебное пособие для вузов. [Текст] / Л.П. Орленко – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 304 с.
14. Методы исследования взаимодействия кинетических ударников с тонкостенными конструкциями: научно-методические материалы. – МО РФ, 1999. – 217 с.
15. Губеладзе, О.А. Оценка результатов нерегламентированных воздействий на взрывоопасный объект [Текст] / О.А. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2011. – №1. – С. 61-63.

REFERENCES

- [1] Slipchenko V.I. Voyny novogo pokoleniya: distantsionnye beskontaktnye [Wars of New Generation: Remote Contactless]. Moscow. OLMA-PRESS Obrazovanie [OLMA-PRESS Education Publishing House]. 2004. 382 p. (in Russian).
- [2] Kir'yan M.M. Vnezapnost' v operatsiyakh vooruzhennykh sil SShA [Suddenness in Operations of Armed Forces of the USA]. Moscow. Voenizdat. 1982. 328 p. (in Russian).
- [3] Kirillov V.M. Fizicheskie osnovy radiatsionnoy i yadernoy bezopasnosti [Physical Bases of Radiation and Nuclear Safety]. Moscow. RVSN. 1992. 212 p. (in Russian).
- [4] Denisov O.V., Gubeladze O.A., Meskhi B.Ch., Bulygin Yu.I. Kompleksnaya bezopasnost' naseleniya i territorij v chrezvy`chajny`x situatsiyax. Problemy` i resheniya: monografiya [Complex Safety of the Population and Territories in Emergency Situations. Problems and Solutions.]. Rostov-on-Don. Publishing center Don State Technical University. 2016. 278 p. (in Russian).
- [5] Mikhaylov V.N. Bezopasnost' yadernogo oruzhiya Rossii [Safety of Nuclear Weapon of Russia]. Moscow. Min. po atomnoy energii [Ministry of Nuclear Energy]. 1998. 148 p. (in Russian).
- [6] Zharkov A.S., Mar'yash V.I., Utkin S.M. Sostoyanie, perspektivy i problemy utilizatsii raketnykh topliv [State, Prospects and Problems of Utilization of Rocket Fuels]. Problemny`e voprosy` metodologii utilizatsii smesevy`x raketny`x topliv, otkodov i ostatkov zhidkix raketny`x topliv v e`lementax raketno-kosmicheskoy tekhniki: sb. trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii [Problem Questions of the Methodology of Mixed Rocket Fuel Utilization, Waste and Residues of Liquid Rocket Fuels in the Elements of Rocket and Space Technology: Collection of the scientific-practical conference]. Biysk. Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. Federal research and production center «Altai». 2003. P. 5-10 (in Russian).
- [7] Maklakov S.F., Madzhugin L.L., Gubeladze O.A. Rakety strategicheskogo naznacheniya. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie. Metodicheskoe posobi [Rockets of Strategic Appointment. Course and Degree Design. Methodical Grant]. Rostov-on-Don. Rostov Military Institute of Rocket Troops. 2009. 128 p. (in Russian).
- [8] Kostochko A.V., Kabzan B.M. Porokha, raketnye tverдые topliva i ikh svoystva : uchebnoe posobie [Gunpowder, Rocket Solid Fuels and their Properties]. Moscow. INFRA-M. 2014. 399 p. (in Russian).
- [9] Sokolovskiy M.I., Karimov V.Z., Shcherbakov Yu.N. Opyt ekologicheskoy chistoy utilizatsii malogabaritnykh RDIT [Experience of Environmentally Friendly Utilization of Small-Sized RDIT]. Problemny`e voprosy` metodologii utilizatsii smesevy`x raketny`x topliv, otkodov i ostatkov zhidkix raketny`x topliv v e`lementax raketno-kosmicheskoy tekhniki : sb. trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii [Problem Questions of the Methodology of Mixed Rocket Fuel Utilization, Waste and Residues of Liquid Rocket Fuels in the Elements of Rocket and Space Technology: Collection of the scientific-practical conference]. Biysk. Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. Federal research and production center «Altai». 2003. P. 2-4 (in Russian).
- [10] Alemasov V.E., Dregalin A.F., Tishin A.P. Teoriya raketnykh dvigateley: uchebnik dlya studentov VTUZov [Theory of Rocket Engines]. Moskva. Mashinostroyeniye [Moscow. Mechanical Engineering]. 1989. 464 p. (in Russian).
- [11] Tsutsuran V.I., Petrukhin N.V., Gusev S. A. Voennno-tekhnicheskyy analiz sostoyaniya i perspektivy razvitiya raketnykh topliv [Military and Technical Analysis of a State and Prospect of Development of Rocket Fuels]. Moscow. MO RF. 1999. 332 p. (in Russian).
- [12] Energeticheskie kondensirovannyye sistemy. Kratkiy entsiklopedicheskiy slovar' [The Power Condensed Systems. Short Encyclopedic Dictionary]. Moscow. Yanus K. 2000. 483 p. (in Russian).
- [13] Orlenko L.P. Fizika vzryva i udara: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Physics of Explosion and Blow: Manual for Higher Education Institutions]. Moscow. FIZMATLIT [Moscow. PHIZMATLIT]. 2008. 304 p. (in Russian).
- [14] Metody issledovaniya vzaimodeystviya kineticheskikh udarnikov s tonkostennymi konstruktsiyami: Nauchno-metodicheskie materialy [Methods of Research of Interaction of Kinetic Drummers with Thin-Walled Designs: Scientific and Methodical Materials]. Moscow. MO RF. 1999. 217 p. (in Russian).
- [15] Gubeladze O.A. Otsenka rezul'tatov nereglementirovannykh vozdeystviy na vzryvoopasnyy ob'ekt [Estimating of Unregulated Influence Results on Explosive Object]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2011. №1 (1). P. 61-63 (in Russian).

Express Assessment of Results of Independent Destructive Impacts on Nuclear and Radiation-Hazardous Object

O.A. Gubeladze¹, A.R. Gubeladze²

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

¹ORCID iD: 0000-0001-6018-4989

WoS Researcher ID: F-6921-201

e-mail: buba26021966@yandex.ru

²ORCID iD: 0000-0002-6966-6391

WoS Researcher ID: F-7215-2017

e-mail: buba26021966@yandex.ru

Abstract – The paper considers the development of an emergency after destructive impacts on a hypothetical rocket with hypothetical nuclear ammunition. Assessment of a possibility of shock and wave initiation of usual explosive charge which is a part of hypothetical nuclear ammunition carried out.

Keywords: solid rocket fuel, shock and wave initiation, detonation, nuclear ammunition, emergency explosion.

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

УДК 621.039.5

**АНАЛИЗ ПОЛНОСТЬЮ РАЗРАБОТАННОГО ЛАМИНАРНОГО
ПОТОКА МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ УВЧ ПЛАСТИНАМИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ANSYS**

© 2018 К.Дж. Оди

Томский национальный исследовательский политехнический университет, Томск, Россия

Ламинарный поток между двумя параллельно расположенными твердыми пластинами с постоянным тепловым потоком на краях пластин является идеальным способом моделирования потока хладагента между параллельными топливными пластинами, обычно используемыми в исследовательских реакторах. В этой работе мы упростили модель, используя условия границ. Мы использовали уравнения переноса для генерации распределения скорости и температуры, градиента давления и других профилей контура. Затем мы использовали Программный модуль ANSYS FLUENT для создания профилей контура, результаты обоих методов сравнивались, и было отмечено, что распределение скоростей было параболическим, что соответствовало аналитическому результату, который предсказывал, что скорость полного ламинарного потока является параболической. Было также отмечено, что потеря давления и повышение температуры между впускным и выходным потоками очень малы.

Ключевые слова: ламинарный поток, форма, тепло, флюс, скорость, давление, температура, ANSYS, гидродинамическое моделирование, Нуссельт, число.

Поступила в редакцию: 14.08.2018

1.1 Introduction

In the model, we considered the flow between two parallel plates separated by a distance $2H$ with a uniform heat flux imposed on both plates [1]. The fluid is driven between the plates by an applied pressure gradient in the x -direction. Assume the fluid is laminar and fully developed:

$$\frac{du}{dx} = 0, v = 0 \text{ and } w = 0$$

Then we are to determine the fully developed velocity distribution and the fully developed temperature distribution, using ANSYS FLUENT CFD Simulation.

1.1.1 Input Parameters:

Inlet velocity = 0.005 m/s

Outlet Pressure = 5.00 Pa

Heat Flux = 20.00 W/m^2

Wall Thickness = 0.05 m

Inlet Temperature = 300.00 K

1.1.2 Basic Assumptions:

1. Steady flow
2. Constant properties
3. Newtonian fluid
4. Negligible radiation
5. Negligible gravity effects
6. Negligible viscous dissipation
7. Laminar flow
8. Fully developed
9. Negligible end effects
10. Conduction in y-direction much greater than that of x-direction

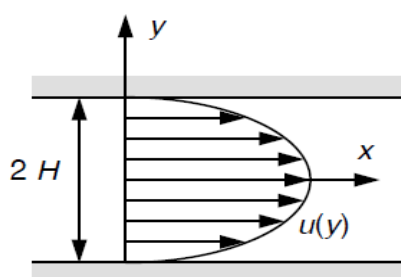


Fig. 1 – Laminar flow velocity distribution

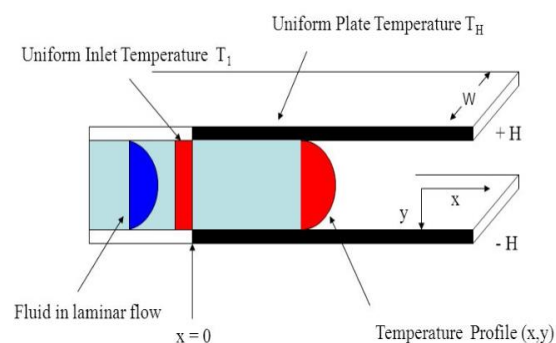


Fig. 2 – Diagram of Parallel plates Laminar flow

1.2 Analytical Model

1.2.1 Conservation of mass for constant property flow

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

For fully developed flow, $v = w = 0$, therefore

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

Momentum equation for constant property flow of a Newtonian fluid:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} \right) = \mu \nabla^2 \mathbf{V} - \nabla p + \rho \mathbf{g} \quad (3)$$

For this case the flow is independent of the z-direction, and the flow looks exactly the same at every position along the z-axis. Hence, all derivatives in the z-direction vanish [2].

x-component for 2-D steady flow in Cartesian coordinates:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + F_x \quad (4)$$

$$\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial p}{\partial x} \quad (5)$$

y-momentum reduces to

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0$$

Integrate twice to get:

$$u(y) = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \frac{y^2}{2} + A_1 y + A_2 \quad (6)$$

Impose boundary conditions: $u(-H) = 0$ and $u(H) = 0$ (no slip condition at the wall)

$$u(-H) = \frac{H^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} - HA_1 + A_2 = 0 \quad (7)$$

$$u(H) = \frac{H^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} + HA_1 + A_2 = 0 \quad (8)$$

Adding these equations we get:

$$A_2 = -\frac{H^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} \text{ and } A_1 = 0$$

$$u(H) = -\frac{H^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} \left(1 - \left(\frac{y}{H} \right)^2 \right) \quad (9)$$

Thus, the velocity profile is parabolic in nature.

Recalling the definition of mean velocity u_m and mass flow rate, $\dot{m}$:

$$\dot{m} = \rho u_m A = \int \rho u dA \quad (10)$$

$$u_m = \frac{1}{\rho A} \int \rho u dA \quad (11)$$

If the width of the flat plates perpendicular to the flow:

$$u_m = \frac{1}{\rho(2H)W} \int_0^H \int_{-H}^H \rho u dy dz = \frac{1}{H} \int_0^H \frac{H^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} \left(\left(\frac{y}{H} \right)^2 - 1 \right) dy \quad (12)$$

$$u_m = \frac{H^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} \left(\frac{y^3}{3H^2} - y \right)_0^H = \frac{H^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} \left(\frac{1}{3} - 1 \right) = -\frac{H^2}{3\mu} \frac{dp}{dx} \quad (13)$$

These observed trends of the pressure gradient can be intuitively interpreted as follows: [3]

$$\frac{dp}{dx} = \frac{3\mu}{H^2} u_m \quad (14)$$

Hence we can establish after substitution that the velocity distribution of the fluid flow is given by:

$$u(y) = \frac{3}{2} u_m \left(1 - \left(\frac{y}{H} \right)^2 \right) \quad (15)$$

It can be clearly seen that the velocity distribution of the flow is a parabolic curve and it is also a function of the mean velocity.

We will now decompose the Energy equation of fluid flow. We must say that the energy equation is needed for thermal analysis of the fluid [4]. The case where we do not need any thermal analysis, the energy equation is not used. This is also the case in our Simulation where we had to keep the energy equation on, to Simulate thermal properties.

1.2.2 Energy Equation for constant property flow of a Newtonian fluid:

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + V \cdot \nabla T \right) = k \nabla^2 T + \mu \phi + \dot{q} \quad (16)$$

For 2-D steady flow in Cartesian coordinates:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \mu \phi + \dot{q} \quad (17)$$

$$\frac{u}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (18)$$

Where we assume $\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \gg \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

The temperature gradient along the x-axis determines the temperature distribution along the y-axis [4]

Substitute (15) into (18)

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{3 u_m}{2 \alpha} \frac{dT}{dx} \left(1 - \left(\frac{y}{H} \right)^2 \right) \quad (19)$$

Boundary conditions for temperature can be set in any part of the calculation domain boundary to one of the following types: constant value of temperature, constant value of heat flux, heat transfer with constant value of ambient temperature and linear profile of temperature [5]:

For constant surface heat flux: $\frac{dT}{dx} = \frac{dT_m}{dx} = \text{const}$

Integrating (19) twice we obtain:

$$T(y) = \frac{3 u_m}{2 \alpha} \frac{dT_m}{dx} \left(\frac{y^2}{2} - \frac{y^4}{12 H^2} \right) + A_1 y + A_2 \quad (20)$$

Imposing boundary conditions $T(-H) = T(+H) = T_s$ (note that T_s is unknown):

$$T(H) = \frac{3 u_m}{2 \alpha} \frac{dT_m}{dx} \left(\frac{H^2}{2} - \frac{H^4}{12 H^2} \right) + A_1 H + A_2 = T_s \quad (21)$$

$$T(-H) = \frac{3 u_m}{2 \alpha} \frac{dT_m}{dx} \left(\frac{H^2}{2} - \frac{H^4}{12 H^2} \right) - A_1 H + A_2 = T_s \quad (22)$$

Which transforms to:

$$A_1 = T_s - \frac{3 H^2}{2} \frac{u_m}{\alpha} \frac{dT_m}{dx} \left(\frac{5}{12} \right) \text{ and } A_2 = 0$$

$$T_s - T(y) = \frac{3 H^2}{2} \frac{u_m}{\alpha} \frac{dT_m}{dx} \left(\frac{5}{12} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{H} \right)^2 - \frac{1}{12} \left(\frac{y}{H} \right)^4 \right) \quad (23)$$

But we know that the mean temperature is given as:

$$T_m = \frac{1}{\rho u_m A c_v} \int \rho u c_v T dA = \frac{1}{2 u_m H} \int_{-H}^H u T dy \quad (24)$$

$$T_m = \frac{1}{u_m H} \int_0^H \left[\frac{3}{2} u_m \left(1 - \left(\frac{y}{H} \right)^2 \right) \right] \left[T_s - \frac{3 H^2}{2} \frac{u_m}{\alpha} \frac{dT_m}{dx} \left(\frac{1}{12} \left(\frac{y}{H} \right)^4 - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{H} \right)^2 + \frac{5}{12} \right) \right] dy \quad (25)$$

After transformation:

$$T_s - T_m = \frac{17 H^2}{35} \frac{u_m}{\alpha} \frac{dT_m}{dx} \quad (26)$$

Dividing (23) by (26), we have:

$$\frac{T_s - T(y)}{T_s - T_m} = \frac{35}{136} \left[5 - 6 \left(\frac{y}{H} \right)^2 + \left(\frac{y}{H} \right)^4 \right] \quad (27)$$

From (27), we can see that the temperature distribution $T(y)$ is a function of the mean and surface temperatures. Limited comparison is made with data for flow in channels [6], this is because we are dealing with laminar flow which is a low Reynolds number flow.

Furthermore, we can theoretically calculate the Nusselt Number:

From heat transfer coefficient h :

$$h = \frac{k_f}{T_s - T_m} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=H} \quad (28)$$

$$N_u = \frac{h D_h}{k_f} = \frac{D_h}{T_s - T_m} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=H} \quad (29)$$

Due to the small hydraulic diameter used in micro-channel analysis [7], the hydraulic diameter in this case is just a measure of the distance between the plates.

Where

$$D_h = \frac{4A_s}{P} = \frac{4(2H)W}{2W} = 4H \quad (30)$$

$$N_u = \frac{4H}{T_s - T_m} \frac{\partial}{\partial y} \left(T_s - \frac{35}{136} (T_s - T_m) \left(\left(\frac{y}{H} \right)^4 - 6 \left(\frac{y}{H} \right)^2 + 5 \right) \right)_{y=H} \quad (31)$$

$$N_u = 4H \left(-\frac{35}{136} \right) \left(-\frac{8}{H} \right) = \frac{140}{17} = 8.2353 \quad (32)$$

D_h is called the hydraulic diameter, where w and H had been defined in the initial diagram.

After substituting the value of T in (27) into (29), the Nusselt number is calculated to be 8.2353.

1.3 Simulation results

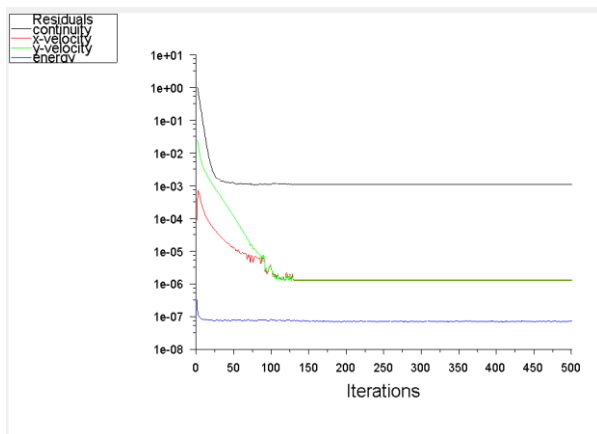


Fig. 3 – Iteration graph

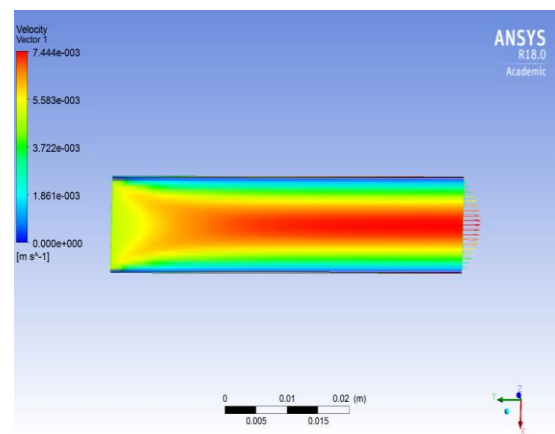


Fig. 4 – Velocity vector contour

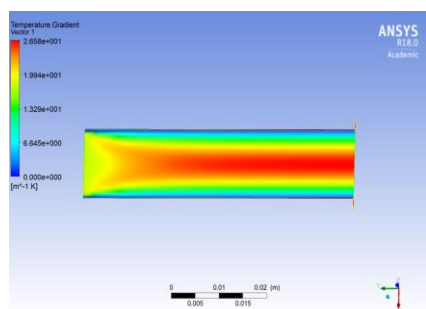


Fig. 5 – Temperature Gradient contour

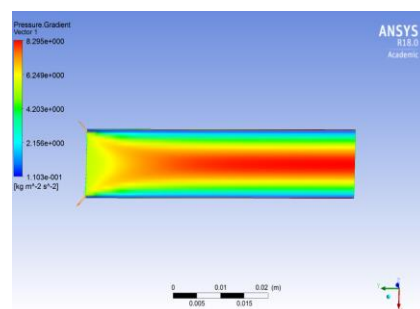


Fig. 6 – Pressure Gradient contour

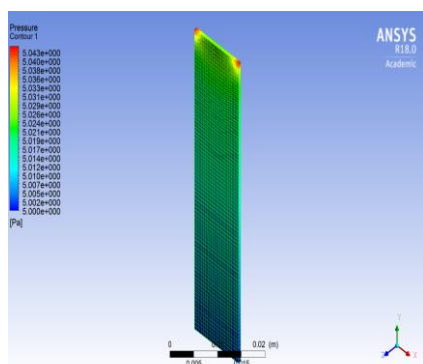


Fig.7 – Pressure contour

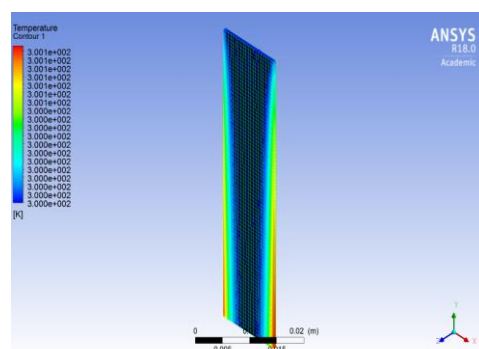


Fig.8 – Temperature contour

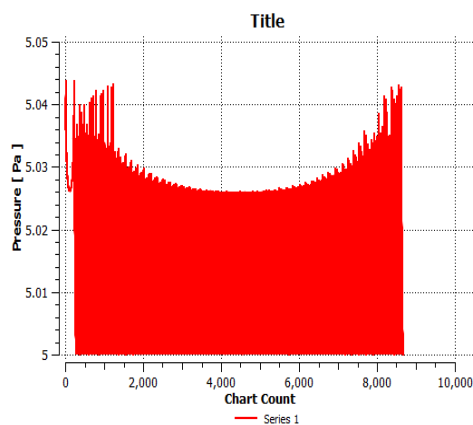


Fig. 9 – Pressure Distribution

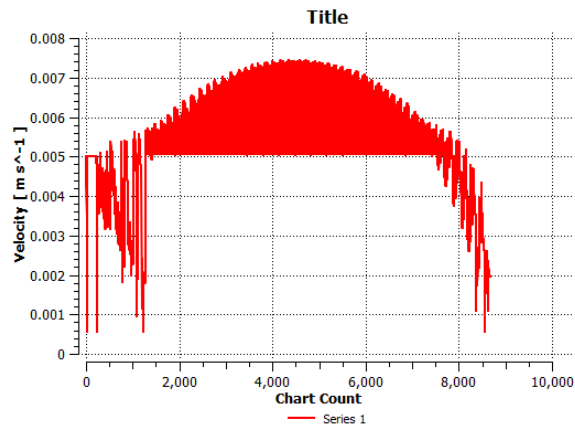


Fig. 10 – Velocity distribution

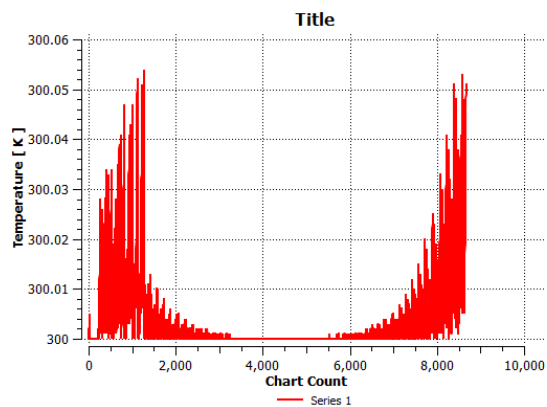


Fig. 11 – Temperature Distribution

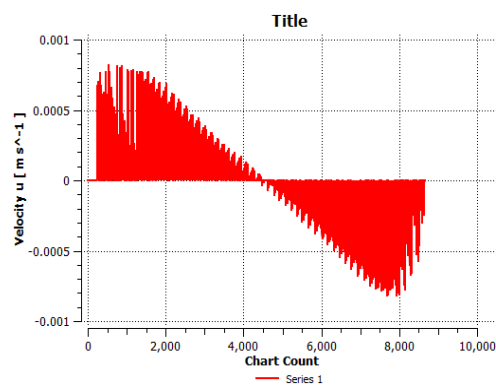


Fig. 12 – Velocity (u) Distribution

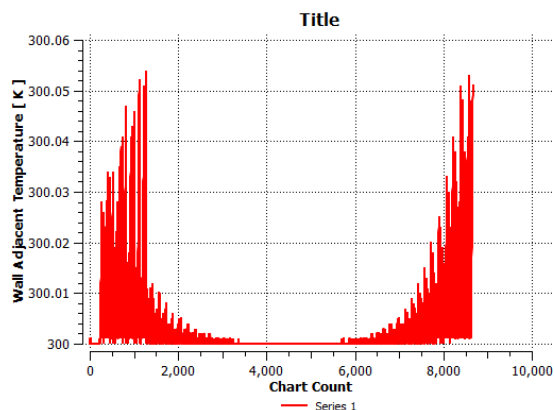


Fig. 13 – Wall adjacent Temperature Distribution

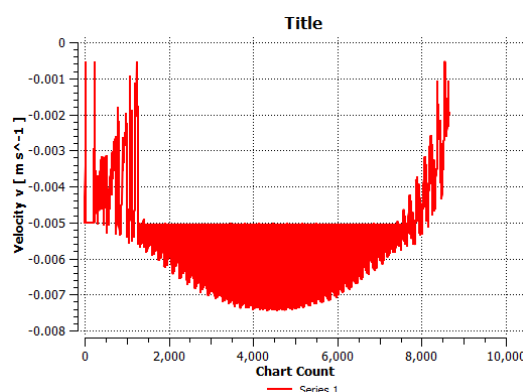


Fig. 14 – Velocity (v) Distribution

1.4 Analysis of Results

The following numerical results were obtained from the functional calculator of the ANSYS FLUENT CFD after Simulation.

Table 1 – Numerical

Parameters/values	Minimum	maximum	Average
Velocity (m/s)	0.000750	0.007500	0.005000
Temperature (K)	300.0000	300.0690	300.0180
Temperature gradient (K/m)	0.000000	26.58200	11.53400
Pressure gradient (Pa/m)	0.110000	8.295000	0.237000

From the table above, the minimum velocity is less than the inlet velocity, and this velocity was observed at the outlet.

The results of the table above can be directly interpreted from the various distribution contours in the Simulation results.

Thermal properties of water at 27°C are as follows:

$$\begin{aligned}\rho &= 996.5 \text{ kg/m}^3 \\ k &= 0.612 \text{ W/mK} \\ \mu &= 0.00088 \text{ kg/ms} \\ Pr &= 5.72\end{aligned}$$

Dimension of the Flat plate; Length = 60mm, Width = 14mm

To compare the analytical Nusselt number with the simulation Nusselt number, and hence to calculate the convective heat transfer coefficient and the heat flux and compare with the analytical heat flux.

The uniform surface heat flux of laminar flow in a parallel flat plate, we have the correlation formular for determining the Prandtl number as:

$$\begin{aligned}N_{u_x} &= 0.453 \text{Re}_x^{1/2} \text{Pr}^{1/3} \\ \text{Re}_x &= \frac{\rho u_m D_h}{\mu} = 113.23, \quad \text{Re}_x^{1/2} = 10.64 \\ N_{u_x} &= 0.453 \text{Re}_x^{1/2} \text{Pr}^{1/3} = 8.6\end{aligned}$$

Where $D_h = 20 \text{ mm}$

Also using the Churchill and Ozoe Correlation formular for laminar flow in parallel flat plate, we have:

$$N_{u_x} = \frac{0.886 \text{Re}_x^{1/2} \text{Pr}^{1/2}}{\left(1 + \left(\frac{\text{Pr}}{0.0207}\right)^{2/3}\right)^{1/4}} = 8.7$$

The heat transfer coefficient
$$h_x = \frac{N_{u_x} k}{x} = 376.38 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Therefore the numerical Heat flux is given thus:

$$q'' = h_x \Delta T = 376.38(0.055) = 20.70 \text{ W / m}^2$$

Where ΔT was read directly from fig-11 (Temperature against chart count)

Since the heat flux is known, the heat transfer coefficient can be used to determine the local surface temperature.

$$T_s(x) = T_{in} + \frac{q''}{h_x} = 300 + \frac{20.5}{376.38} = 300.0559 \text{ K}$$

Calculations of temperature distributions, average temperatures, and heat transfer coefficients are presented for a rectangular geometry [8]. The maximum velocity can be calculated from the velocity distribution formula, and the result compared to the one on the table above. Since we already know the mean velocity (average velocity), we also know that in this case, the velocity depends on the transverse coordinate y [9]. We can easily check the maximum velocity, which we know occurs at the central axis of the flow where $y = 0$. Using equation (15):

$$u(y) = \frac{3}{2} u_m \left(1 - \left(\frac{y}{H}\right)^2\right)$$

For $y = 0$, we have

$$u(0) = u_{\max} = \frac{3}{2} u_m = \frac{3}{2} (0.005) = 0.0075 \text{ m / s}$$

This is in good agreement with the CFD Numerical result in the table above.

The inlet pressure was also observed to be 5.05 Pa from the Simulation contour.

We can conclude that the Simulation distribution contours clearly described the temperature and velocity distribution formulae modeled in this research. This can be verified by comparing the distribution contours and the distribution formulae.

1.5 Conclusion

The Simulation result of Laminar flow between two parallel plates separated by a distance of $2H$, often referred to as Poiseuille flow [10], agreed with the analytical functional equations of Laminar flow between two parallel plates. The Simulated results produced distribution contours that describe the temperature and velocity distribution function of the standard Mass and Energy equations of Modeled Laminar Flow. Though there was slight difference between the analytical Nusselt number and the Numerical Nusselt number, the difference can be ascribed to error due to geometrical calculation in the Reynolds number, in particular the Hydraulic diameter (D_h). The slight temperature change in the flow is as a result of molecular interaction between water molecules during the flow, this is the reason why the outlet temperature is almost the same with the inlet temperature. The study does not consider heat source. In the case of heat source, the temperature difference would be higher.

REFERENCES

- [1] ME 350, Heat Transfer, Prof. Shollenberger lectures Mechanical Engineering Department California Polytechnic State University. 2017. URL: www.calpoly.edu/~kshollen/ME350/Examples/Example_14
- [2] MIT Course Notes Spring 2009. URL: mit.edu/snively/www/2_006%20Coursenotes.
- [3] Bonfanti F. et al (1979). Two Phase Pressure Drops in the Low Flow Rate Region. *Energia Nucleare*. 26 (10). pp 481-492.
- [4] Alina Filip et al. Comparison of Two Phase Pressure Drop Models for Condensing Flows in Horizontal Tubes. *Mathematical Modeling in Civil Engineering* Vol 10. N 4. 2014.
- [5] Jiri Brada. Mathematical Model of Two Phase Flows. WM, 01 Conference. Tucson. AZ. 2001.
- [6] Chisholm D. (1973). Pressure Gradients Due to Friction during the Flow Evaporating Two-Phase Mixtures in Smooth Tubes and Channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 16(2). pp 347-358.
- [7] Crowe C.T, (2006), *Multiphase Flow Handbook*, CRC: Taylor and Francis. Boca Raton. FL.
- [8] Duda J.L and Vrentas J.S (1971). Heat Transfer in a Cylindrical Cavity. *Journal of Fluid Mechanics*. 45. pp 261-279.
- [9] Satish Kandlikar et Al (2007). *Heat transfer and fluid Flow in Minichannels and Microchannels*. Elsevier publishers Oxford. UK. 576 p.
- [10] Brian D. Storey (2015). *Fluid dynamics and Heat Transfer. An Introduction to the Fundamentals*. Olin College. 286 p.

Analysis of Fully Developed Laminar Flow between Parallel Plates with UHF Using ANSYS CFD

Odii Ch. J.

*National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin St., 30, Tomsk, Russia, 634050
e-mail: monoexiton@yahoo.com*

Abstract – Laminar flow between two parallel placed solid plates with constant heat flux at the edges of the plates, is an idealize way of modelling the flow of coolant between parallel fuel plates commonly used in research Reactors. In this paper, we attempted to validate both the thermal and fluid properties of a fully developed laminar flow with uniform heat flux using ANSYS FLUENT. We used the transport equations to generate the velocity and temperature distribution, the pressure gradient and other profile contours. Then we used ANSYS FLUENT Simulation to generate profile contours, the results of both methods were compared and it was observed that the velocity distribution was parabolic from the Simulation, this was in agreement with the analytical result which predicted that the velocity of the fully developed Laminar flow is parabolic. Also the pressure loss and the temperature rise between the inlet and outlet flow were observed to be very small.

Keywords: Laminar, uniform, heat, flux, velocity, pressure, temperature, ANSYS, CFD, Nusselts, number

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

УДК 528.48

**КОНТУРНЫЕ ПОСТРОЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СООСНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Ю.И. Пимшин*, С.М. Бурдаков*, Г.А. Наumenко, Ю.А. Псарёв****

** Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета (МИФИ),*

*** Донской государственный технический университет (ДГТУ)*

В работе рассмотрены теоретические основы контроля соосности. При этом даны возможные принципы формирования референтных пространственных прямых и приведены технические решения, используемые при контроле соосности контурным способом. В том числе рассмотрены оптический, лазерный и дифракционный способы реализации референтных прямых. Даны точностные характеристики, полученные при реализации этих способов.

Ключевые слова: контрольные измерения, соосность, расположение, ошибка измерения, средство измерения.

Поступила в редакцию: 14.06.2018

Контурные построения являются одним из наиболее распространённых методов геодезического контроля геометрических параметров при монтаже технологического оборудования и машиностроительных изделий в области больших размеров [1].

К группе параметров расположения относятся: соосность, перпендикулярность, параллельность, симметричность, позиционное расположение, номинальный наклон.

Контроль соосности сводится к тому, что в некоторой пространственной системе координат задана референтная фигура в виде прямой; необходимо определить принадлежность частной оси, заданной, как правило, двумя конечными для неё точками, к данной прямой (рис.1) [2-10]. Контур в данной задаче, как правило, также задается двумя точками. Несоосность исследуемого объекта характеризуют проекции на координатные плоскости линейной величины, расположенной по перпендикуляру от референтной прямой до текущей точки, задающей частную ось.

По условию задачи контроля соосности и референтная прямая задана двумя точками 1(x_1, y_1, z_1) и 2(x'_2, y'_2, z'_2). Каноническое уравнение прямой, проходящей через две данные точки, имеет вид:

$$\frac{x_i - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_i - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z_i - z_1}{z_2 - z_1} \quad (1)$$

Анализируя выражение (1), отметим, что для решения задачи контроля соосности необходимо, чтобы система координат хуз была материализована некоторым средством измерений. Тогда в этой системе координат выполняют измерения (определение) координат x_i, y_i, z_i текущей точки i , по которым вычисляется параметр несоосности δ_i, h_i , тогда абсолютная величина несоосности определится согласно формуле:

$$\Delta_i = \sqrt{\delta_i^2 + h_i^2}, \quad (2)$$

где Δ_i – абсолютная величина несоосности выверяемого объекта;

δ_i – проекция Δ_i на координатную плоскость XOY ;

h_i – проекция Δ_i на координатную плоскость ZOY .

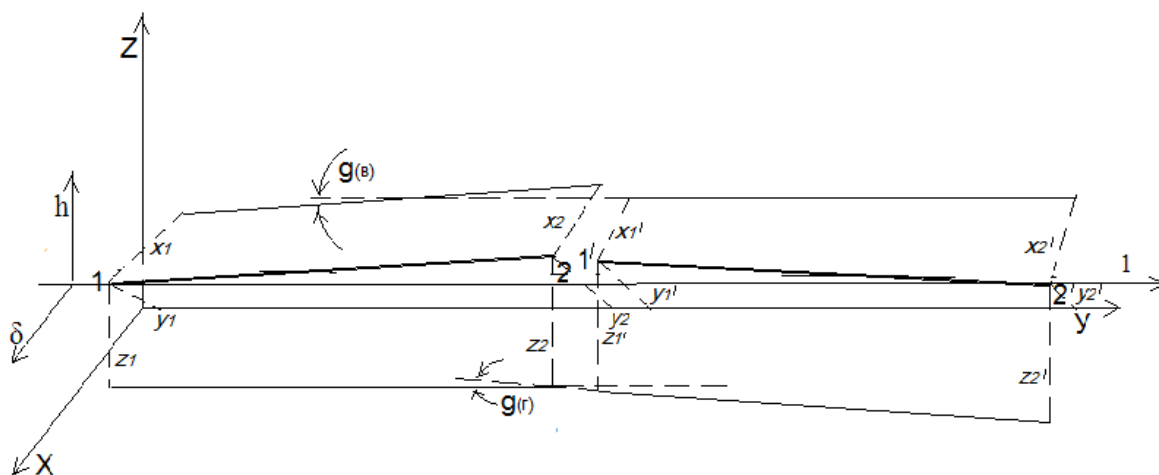


Рисунок 1 – Схема контроля соосности [Alignment control scheme]

При этом:

$$\delta_i = \frac{(x_2 - x_1) \cdot y_i - (y_2 - y_1) \cdot x_i + [(y_2 - y_1) \cdot x_1 - (x_2 - x_1) \cdot y_1]}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}, \quad (3)$$

$$h_i = \frac{(y_2 - y_1) \cdot z_i - (z_2 - z_1) \cdot y_i + [(z_2 - z_1) \cdot y_1 - (y_2 - y_1) \cdot z_1]}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}. \quad (4)$$

Ориентирование системы координат средства измерений xyz в системе координат измеряемого объекта δlh характеризуют коэффициенты:

$$\hat{E}_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad \hat{E}_2 = \frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1}.$$

При $K_1 \neq 0$, $K_2 \neq 0$ данное условие соответствует свободному ориентированию систем координат xyz и δlh , нестворность Δ_i в этом случае определяется из выражений (3)-(4). Если $K_1 = K_2 = 0$, то это условие определяет случай строгого ориентирования систем координат xyz и δlh и в этом варианте нестворность вычисляется по формуле:

$$\delta_i = y_i - y_1, \quad h_i = z_i - z_1, \quad (5)$$

(при параллельном переносе осей координат $xyz/\delta lh$ параметры y_1, z_1 характеризуют величину смещения координат xyz относительно δlh), и:

$$\delta_i = y_i, \quad h_i = z_i \quad (6)$$

(при совмещении осей координат $xyz = \delta lh$).

Рассмотрим практические способы реализации формул (5-6). Геодезический контроль соосности, как правило, осуществляется методом, общая суть которого заключается в идее выполнения измерений от некоторой идеальной пространственной прямой, материализуемой в пределах контролируемого участка. Качественное многообразие принципов формирования референтных прямых можно классифицировать (табл. 1).

Таблица 1 – Принципы формирования референтных пространственных прямых [Principles of the formation of reference spatial lines]

РЕФЕРЕНТНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПРЯМЫЕ		
Принципы формирования		
механический	оптический	лучевой
струнно-механический	оптического визирования	лазерный
струнно-оптический	коллиматорный	интерференционный (дифракционный)
струнно-электронный	автоколлимационный	

Из таблицы следует, что контроль соосности осуществляется механическим, оптическим, лучевым методами. Нами исследованы два последних метода.

В настоящее время известно большое количество вариантов реализации оптического контроля соосности. Данное направление геодезических измерений постоянно совершенствуется, при этом разрабатываются программы, адаптированные на конкретные производственные условия. Авторами предложены способы измерений, основанные на построении референтных пространственных прямых, строго ориентированных в системе координат выверяемого объекта. Ниже приведем оптимальную программу, характеризующую данные решения.

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ

В процессе контроля соосности референтная пространственная прямая задается двумя точками 1, 2 (рис. 2), материализуется визирным лучом геодезического прибора (например, нивелир), который строго ориентируется в системе координат δlh выверяемого объекта (т.е. $xuz \parallel \delta lh$). При этом может быть использован любой способ ориентирования системы координат средства измерений xuz в системе координат δlh . На выверяемые элементы конструкции (например, опорные части подшипников) устанавливают две взаимно перпендикулярные линейки, причем так, чтобы одна линейка была горизонтальна, вторая вертикальна. Данную установку позволяет осуществить цилиндрический уровень, скрепленный с линейкой. Далее берут отсчеты a_i , b_i по линейкам и вычисляют параметры несоосности по формулам:

$$\delta_i = a_i - a_0, \quad h_i = b_i - b_0, \quad (7)$$

где a_0, b_0 – параметры строгого ориентирования системы координат xuz в системе δlh .

Средняя квадратическая ошибка определения δ_i и h_i вычисляется по формуле:

$$m_{\delta i}^2 = m_{a i}^2 + m_{a 0}^2, \quad m_{h i}^2 = m_{b i}^2 + m_{b 0}^2, \quad (8)$$

где $m_{a i}$, $m_{b i}$ – средние квадратические ошибки отсчитывания по линейкам;

$m_{a 0}$, $m_{b 0}$ – средние квадратические ошибки ориентирования системы координат xuz в δlh .

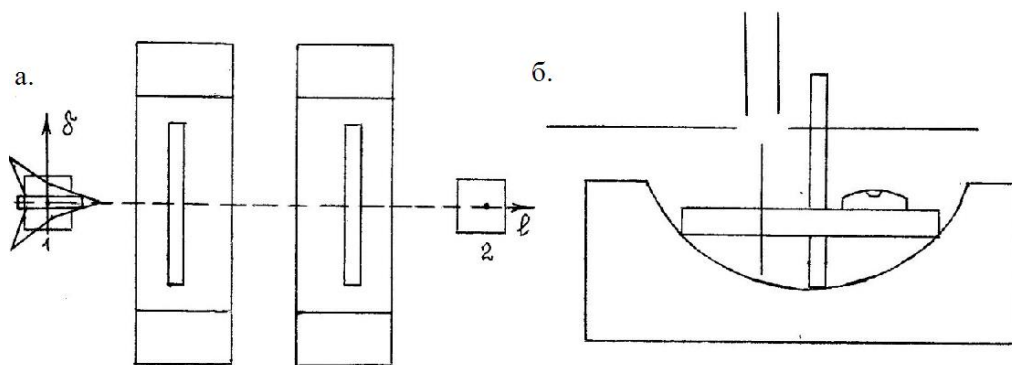


Рисунок 2 – Схема контроля соосности [Alignment control scheme]

Описанная методика контроля соосности была реализована при монтаже технологического мельничного оборудования (ММС и МШР) золото обогатительного комбината. Анализ результатов выполненных работ показал, что при использовании данной методики обеспечивается точность контроля, характеризуемая средними квадратическими ошибками, не превосходящими ± 0.1 мм.

ЛУЧЕВОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ

Авторами исследован способ контроля соосности с использованием лазерного указателя направлений. В этом случае референтная пространственная прямая материализуется осью симметрии сформированного лазерного пучка, который строго ориентирован в системе координат δlh выверяемого объекта (рис. 3).

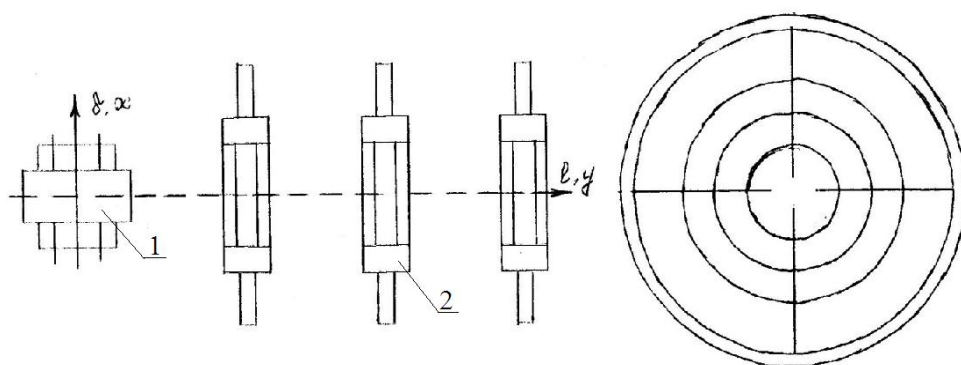


Рисунок 3 – Схема компоновки лазерной системы [Layout of laser system]

Ориентирование лазерного пучка может быть осуществлено следующим образом. При закреплении излучателя 1 совмещают его с начальной точкой контролируемой оси и проектируют луч на экран, расположенный на конечной (диаметральной) точке той же оси. Затем поворачивают источник на 180° относительно его продольной оси. При этом, в общем случае, лазерный луч будет проектироваться в другое место экрана (относительно первоначального положения). Юстировочными винтами крепления источника излучения перемещают пятно луча на половину линейной величины, заключенной между двумя проекциями этого луча. Повторив описанную операцию несколько раз, добиваются того, что при развороте источника на 180° его луч всегда проектируется в одну и ту же точку экрана. При этом обеспечивают строгое ориентирование системы координат xuz средства измерений в системе δlh выверяемого объекта, т.е. $xuz = \delta lh$.

На исследуемые точки устанавливают регистрационные устройства 2 (центроискатели), имеющие полупрозрачные экраны. Анализируя расположение

изображения источника излучения и биссектора экрана и совмещая их (используя микрометрические винты), берут отсчеты a_i , b_i . Имея ввиду, что a_0 и b_0 равны 0 (выполнено строгое ориентирование с совмещением осей координат $xuz = \delta I h$), то :

$$\delta_i = a_i, h_i = b_i. \quad (9)$$

Описанная методика может быть реализована дифракционным средством измерений, предложенным авторами. Данная система содержит источник света – лазер 1, светоприемник 2, спектральную марку, состоящую из зеркальных пластин 3 (рис. 4). На зеркальной поверхности последних нанесена непрозрачная зона 4. На обратной стороне пластины нанесен радиальный биссектор 5, в центре которого имеется прозрачная зона 6 в виде круга. Причем каждая последующая зеркальная пластина имеет радиус прозрачной зоны меньше, чем у предыдущего. При этом последняя зеркальная пластина не имеет прозрачной зоны. Каждая зеркальная пластина размещена в обойме 7, которая установлена при помощи микрометрических винтов 8 в центрирующее устройство 9.

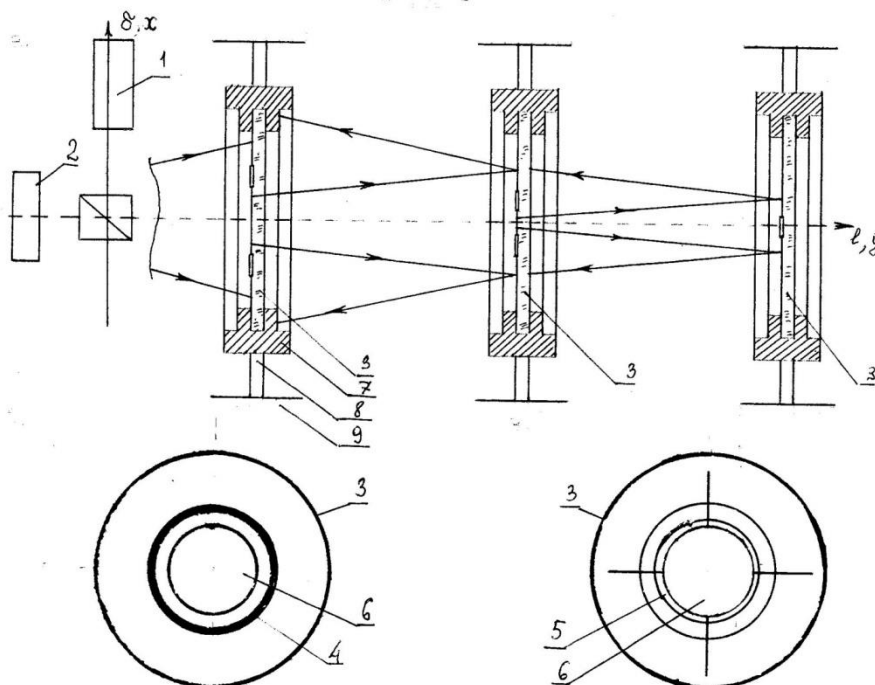


Рисунок 4 – Дифракционная система контроля соосности [Diffractional alignment system]

Дифракционная система работает следующим образом. Вдоль оси объекта ориентируется лазерный луч. С этим же направлением совпадает ориентировка светоприемника, связанного с лазером, например, полупрозрачным зеркалом. Зеркальные пластины устанавливают так, что ближайшая к приемопередатчику пластина имеет максимальный радиус прозрачной зоны, а последующие – постепенно уменьшаемые радиусы. Такое расположение зеркальных пластин позволяет получить многофункциональную спектральную марку.

Лазерный луч распространяется вдоль оси выверяемого объекта. При этом, попадая на первую зеркальную пластину, внешняя часть луча отразится от зеркальной пластины в обратном направлении и в плоскости экрана светоприемника сформирует интерференционную картину, которая будет задавать функцию первого контролируемого элемента объекта. Внутренняя часть луча пройдет через прозрачную зону пластины и попадет на последующую зеркальную пластину. Внутренняя часть

луча вновь пройдет через прозрачную зону, а внешняя отразится и вследствие дифракции сформирует кольцевую картину в плоскости радиального биссектора предыдущей пластины, тем самым задаст функцию взаимного положения элемента объекта предыдущей пластины. При этом некоторая внутренняя часть колец интерференционной картины попадет с обратной стороны в область прозрачной зоны предыдущей пластины и достигает экрана светоприемника, где соответственно будет задавать функцию второго элемента объекта. Каждая последующая зеркальная пластина формирует в плоскости радиального биссектора предыдущей пластины дифракционную картину. Этим она задает соответствующую функцию взаимного положения элементов объекта и формирует интерференционную картину в плоскости экрана светоприемника, где соответственно задает функцию элемента, в котором установлена зеркальная пластина относительно оси объекта. При несоосности элементов величины смещения их определяют из отсчетов по микрометрическим винтам, предварительно добившись соответствующим перемещением зеркальных пластин симметричного положения кольцевых интерференционных картин в плоскости радиального биссектора каждой зеркальной пластины.

Анализ результатов лабораторных исследований лазерных систем контроля соосности показал, что при их использовании обеспечивается точность контроля, характеризуемая средними квадратическими ошибками, не превосходящими ± 0.03 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пимшин, Ю. И. Разработка теории и исследование методов контурных построений для геодезического обеспечения монтажа технологического оборудования: дис. док. тех. наук [Текст] / Ю.И. Пимшин. – Москва, 1995. – 271 с.
2. Ямбаев, Х.К. О принципах и средствах формирования референтных контуров [Текст] / Х.К. Ямбаев, Ю.И. Пимшин // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – Вып. 2-3. – 1994.
3. Ямбаев, Х.К. О принципах формирования и средствах реализации референтных прямых [Текст] / Х.К. Ямбаев, Ю.И. Пимшин // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – Вып. 6. – 1994.
4. Пимшин, Ю.И. Дифракционное устройство для измерения отклонений от заданной оси. А.с. № 1434257, G 01 C 15/00, опубл. 30.10.88, бюл. № 40.
5. Пимшин, Ю.И. Устройство для контроля прямолинейности и соосности. А.с. № 1402803, G 01 B 11/30, опубл. 15.06.88, бюл. № 22.
6. Вагнер, Е.Т. Лазерные и оптические методы в самолетостроении [Текст] / Е.Т. Вагнер, А.А. Митрофанов, В.И. Баоков. – Москва : Машиностроение, 1977. – 173 с.
7. Виноградов, В.В. Разработка и исследование методов геодезических измерений с применением рассеянного лазерного излучения: автореф. дис. канд. тех. наук по спец. 05.24.01 [Текст] / В.В. Виноградов. – Москва : МИИЗ, 1979. – 22 с.
8. Жилкин, А.М. Способ измерения прямолинейности и плоскостности. А.с. 615359, G 01 B 11/30, опубл. 04.03.78, бюл. 3.
9. Зайков, В.И. Метод контроля монтажа элементов крупногабаритных изделий с применением протяженных лазерных пучков интерференционной структуры: автореф. дис. канд. тех. наук [Текст] Ленинград : Сев.-зап. заочн. политех. ин-т, 1989. – 16 с.
10. Мунир, Я. Построение створа параллельно заданной плоскости. [Текст] / Я. Мунир // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – Вып. 4. – 1989. – С.44-51.

REFERENCES

- [1] Pimshin Y.I. Razrabotka teorii i issledovanie metodov konturnyh postroenij dlya geodezicheskogo obespecheniya montazha tekhnologicheskogo oborudovaniya [Development of the Theory and Research of Methods of Contour Buildings for Geodetic Support of Installation of Technological Equipment]. Moscow. Dissertation of Doctor of Technical Sciences. 1995. 271 p. (in Russian).
- [2] Yambaev H.K., Pimshin Y.I. O principah i sredstvakh formirovaniya referentnykh konturov [Principles and Means of Reference Contour Formation]. Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosemka News of Universities. Geodesy and Aerial Photography. Issue 2-3. 1994 (in Russian).

- [3] Yambaev H.K., Pimshin Y.I. O principah formirovaniya i sredstvakh realizacii referentnyh pryamyh [Principles of Formation and Means of Implementation of Reference Lines]. Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosemka [News of Universities. Geodesy and Aerial Photography]. Issue 6. 1994 (in Russian).
- [4] Pimshin Y.I. Difrakcionnoe ustrojstvo dlya izmereniya otklonenij ot zadannoju osi [Diffraction Device for Measuring Deviations from Predetermined Axis]. A.S. № 1434257. G 01 C 15/00, publ.30.10.88, bul. No. 40 (in Russian).
- [5] Pimshin Y.I. Ustrojstvo dlya kontrolya pryamolinejnosti i soosnosti [Device for Straightness and Alignment Control]. A.S. № 1402803. G 01 in 11/30, publ. 15.06.88. Byul. 22 (in Russian).
- [6] Wagner E.T., Mitrofanov A.A., Baikov V.I. Lazernye i opticheskie metody v samoletostroenii [Laser and Optical Methods in Aircraft Construction]. Moskva. Mashinostroenie [Moscow. Mechanical Engineering]. 1977. 173 p. (in Russian).
- [7] Vinogradov V.V. Razrabotka i issledovanie metodov geodezicheskikh izmerenij s primeneniem rasseyannogo lazernogo izlucheniya [Development and Research of Geodetic Measurements Methods Using Scattered Laser Radiation]. Abstract of Ph. D. Thesis in Engineering. 05.24.01, Moskva : MIIZ [Abstract of Ph. D. Thesis in Engineering. 05.24.01, Moscow. MIEL]. 1979. 22 p. (in Russian).
- [8] Zhilkin A.M. Sposob izmereniya pryamolinejnosti i ploskostnosti [Method of measurement of straightness and flatness]. A.S. № 615359. G 01 in 11/30, publ. 04.03.78. Byul. 3. (in Russian).
- [9] Zaikov V.I. Metod kontrolya montazha elementov krupnogabaritnyh izdelij s primeneniem protyazhennyh lazernyh puchkov interferencionnoj struktury [Method of Control of Large-Size Product Element Installation with Use Long Laser Beams Interference Pattern]. Abstract of Ph. D. Thesis in Engineering. 1989. 16 p. (in Russian).
- [10] Munir Y. Postroenie stvora parallel'no zadannoju ploskosti [Construction of Target Parallel to the Given Plane]. Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosemka [News of Universities. Geodesy and Aerial Photography]. Issue 4. 1989. P. 44-51 (in Russian).

Contour Buildings in the Control of Geometrical Parameters of the Alignment Elements of the Processing Equipment

Yu.I. Pimshin*¹, S.M. Burdakov*², G.A. Naumenko³, Yu.A. Psarev**⁴**

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

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

¹ ORCID iD: 0000-0001-6610-8725

WoS Researcher ID: J-6791-2017

e-mail: YIPimshin@mephi.ru

² ORCID iD: 0000-0002-8599-6008

WoS Researcher ID: F-6903-2017

e-mail: SMBurdakov@mephi.ru

³ ORCID iD: 0000-0002-7512-4687

WoS Researcher ID: J-7170-2017

e-mail: geodez@aanet.ru

⁴ ORCID iD: 0000-0002-8609-3687

WoS Researcher ID: P-2357-20

e-mail: psarev161@gmail.com

Abstract – The paper considers theoretical foundations of the coaxiality control. It gives possible principles of the formation of reference spatial lines and the technical solutions used to control coaxiality in a contour method. Optical, laser and diffraction methods of the reference line implementation are review. Accuracy characteristics obtained after using these methods are presented.

Keywords: measurement, coaxial alignment, positioning, measurement error, measurement tool.

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

УДК 621.384.039

**ВЛИЯНИЕ ДЕКРЕМЕНТА ЗАТУХАНИЯ КОЛЕБАНИЙ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ АЭС С ВВЭР НА СРОК
СЛУЖБЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

© 2018 К.Н. Проскуряков

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

Работа энергоблока АЭС в маневренных режимах в сравнении с эксплуатацией в базовом режиме создает дополнительные низкоцикловые и высокоцикловые нагрузки на оборудование. Количество циклов зависит от диссипации энергии в процессе затухания колебаний давления и вибраций в акустических элементах (участках) образующих первый контур ВВЭР. Показано, что результаты приближенных теоретических оценок декрементов затухания существенно отличаются от значений определенных по результатам измерений автоспектральных плотностей мощности сигналов от датчиков пульсаций давления и вибраций. Из сопоставления результатов сделан вывод о необходимости тщательных экспериментальных исследований диссипации энергии при отключении/включении главных циркуляционных насосов. Установлено, что соединения участков главного циркуляционного трубопровода: с дыхательным трубопроводом компенсатора давления; на входе и выходе из реактора; с горячим и холодным коллекторами парогенератора имеют малые логарифмические декременты затухания колебаний давления и количество высокоцикловых нагрузок в этих соединениях при работе АЭС не только в маневренных, но и в базовых режимах превышает проектные оценки и является одной из причин повреждений сварных соединений. Для подавления высокоцикловых виброакустических нагрузок НИУ МЭИ ведет разработки акустических фильтров частот.

Ключевые слова: маневренные режимы, высоко-цикловые нагрузки, акустическая модель, оборудование, вибрации, добротность, резонанс, демпфер

Поступила в редакцию: 21.06.2018

В проекте ВВЭР-ТОИ, в отличие от предыдущих проектов, появились новые требования работы в маневренных режимах, для участия в первичном и вторичном регулировании частоты сети, а также в суточном регулировании мощности по графику (100-50-100)% от номинального уровня мощности ($N_{\text{ном}}$).

В [1] указано, что работа энергоблока в таких режимах при существующих способах регулирования неэффективна, «как с точки зрения потребления электроэнергии на собственные технологические нужды, так и с точки зрения качества систем регулирования и работы всего технологического оборудования I, II контура энергоблока, а также уровня надежности и безопасности работы всего энергоблока, предъявляемым в новых проектах АЭС с ВВЭР». Реализовать оптимальный режим работы энергоблока АЭС в переходных и маневренных режимах возможно с применением современных систем частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) на главных циркуляционных насосных агрегатах (ГЦНА). ЧРП может плавно и синхронно изменять производительность четырех ГЦНА по заданному или изменяемому технологическому параметру или любой другой закономерности, сохраняя одинаковый поток теплоносителя во всех петлях реакторной установки [1].

Следует отметить, что для обоснования применения ЧРП на ГЦНА необходимо

проведение комплекса НИОКР с проведением комплексных натурных испытаний на стендовом оборудовании.

Регулирование расхода теплоносителя I-го контура за счет отключения/включения разного количества ГЦНА (из четырех одновременно работающих ГЦНА в номинальном режиме) имеет ряд недостатков как с точки зрения управления электродвигателем ГЦНА, ограничение количества пусков – не более 1500 за весь срок службы, так и с точки зрения увеличения циклических нагрузок на оборудование I-го контура. В связи с этим актуальной задачей является выявление акустических элементов, образующих первый контур ВВЭР, в которых возникающие при эксплуатации акустические стоячие волны (АСВ) имеют меньшие значения логарифмических декрементов затухания, чем предусмотрено в нормах [2].

Работа энергоблока АЭС в переходных и маневренных режимах в сравнении с эксплуатацией в базовом режиме на $N_{ном}$ создает дополнительные низкоцикловые термические нагрузки на оборудование, и приводит к увеличению высокоцикловых нагрузок, за счет импульсных нагрузок, возникающих при отключении/включении ГЦНА. В процессе затухания импульсного возмущения, возникающего при каждом отключении/включении ГЦНА, количество высокоцикловых нагрузок в акустических элементах, образующих контур теплоносителя, возрастает пропорционально их добротностям (Q). Иными словами, чем меньше значение логарифмического декремента затухания АСВ, тем больше суммарное число высокоцикловых нагрузок.

В соответствии с требованиями [2] Общих положений обеспечения безопасности атомных станций сейсмостойкая АЭС должна обеспечивать безопасность при сейсмических воздействиях до МРЗ (максимальное расчетное землетрясение) включительно, при проектном землетрясении (ПЗ) выработку (выдачу) электрической и тепловой энергии вплоть до уровня ПЗ включительно.

«При расчете систем и элементов АЭС I и II категорий сейсмостойкости на сейсмические воздействия параметры затухания колебаний (логарифмические декременты колебаний) должны приниматься на основе специальных обоснований» [2]. В случае отсутствия данных значения логарифмических декрементов колебаний допускается принимать по таблице 1.

Таблица 1 – Логарифмические декременты колебаний строительных конструкций и трубопроводов [Logarithmic decrements of vibrations of building structures and pipelines] [2]

Вид конструкции	Логарифмический декремент δ в долях от критического при расчетных напряжениях σ в зависимости от сопротивления материала R	
	$\sigma=0.67R$	$\sigma \geq 0.9R$
Железобетонные конструкции обычные	0.04	0.07
Железобетонные конструкции преднапряженные	0.02	0.05
Стальные конструкции сварные	0.02	0.04
Стальные конструкции на болтах	0.04	0.07
Оборудование и трубопроводные системы большого диаметра (>300 мм)	0.02	0.03
Оборудование и трубопроводные системы малого диаметра (<300 мм)	0.01	0.02

Следует отметить, что в проектной документации АЭС с ВВЭР не предусмотрено определение и нормирование логарифмических декрементов затухания колебаний теплоносителя в оборудовании первого контура.

Акустическая модель петли первого контура ВВЭР-1000 приведена на рисунке 1.

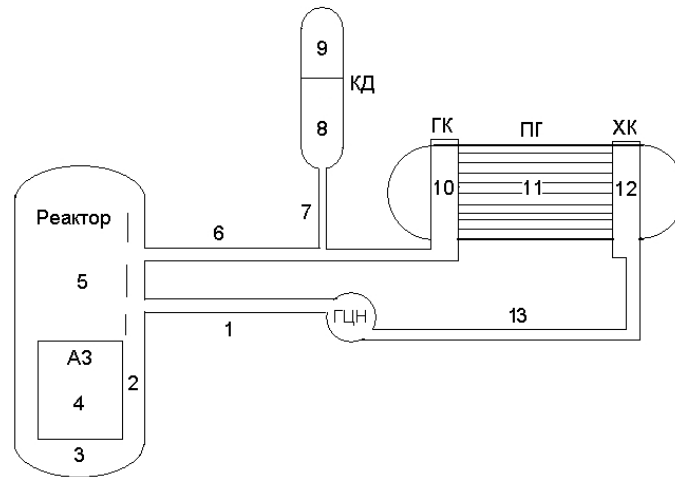


Рисунок 1 – Акустическая модель петли первого контура ВВЭР-1000 [Acoustic model the loop of the WWER-1000 primary circuit]

АЗ – активная зона [RC-reactor core]; ПГ – парогенератор [SG – steam generator]; КД – компенсатор давления [Pr- pressurizer]; ХКСС и ГК НС – холодный и горячий коллекторы [cold and hot collector of SG]; 1-13 – номера элементов первого контура [numbers of elements of the first circuit]: 1 – «холодная нитка» от главного циркуляционного насоса (ГЦН) до входного патрубка реактора [«cold loop» from main circulating pump (MCP) to reactor vessel]; 2 – опускной участок [down camera]; 3 – пространство под активной зоной [bottom plenum]; 4 – активная зона [reactor core]; 5 – пространство над активной зоной [top plenum]; 6 – «горячая нитка» (от выходного патрубка реактора до входа в горячий коллектор ПГ) [«a hot loop» from a reactor up to an input in hot collector steam generator (SG)]; 7 – дыхательный трубопровод [respiratory pipe]; 8 – жидкая фаза в компенсаторе давления [volume of water in pressurizer (Pr.)]; 9 – паровая фаза в компенсаторе давления [volume of steam in pressurizer]; 10 – горячий коллектор [hot collector of SG]; 11 – трубочка ПГ [tubes of SG]; 12 – холодный коллектор [cold collector of SG]; 13 – «холодная нитка» от выхода из холодного коллектора ПГ до ГЦН [«a cold loop» from an output from cold collector of SG up to MCP]

Добротность потока определяется по формуле [3]:

$$Q = \frac{X}{R},$$

где $X = \sqrt{\frac{m}{c}}$ – волновое сопротивление (реактивное сопротивление определяется силами упругости), кг/м⁴·с;

R – активное сопротивление (активное сопротивление элемента определяется вязкостными силами);

m – акустическая масса, кг/м⁴;

c – акустическая податливость, м⁴·с²/кг.

Активное сопротивление равно [3]:

$$R = \frac{E}{W^2},$$

где E – мощность диссипируемой энергии, Вт;

W – объемный расход жидкости, м³/с.

В данной работе для расчета диссипации в трубах применена методика, разработанная в [4], согласно которой удельная мощность диссипации энергии (Вт/м) в круглой трубе равна:

$$E = \tau_0 \cdot 2\pi R V = 2\pi \rho u_*^3 R \sqrt{\frac{8}{\xi}},$$

где $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ – динамическая скорость, м/с (τ_0 – касательное напряжение на стенке, Па;

ρ – плотность жидкости, кг/м³);

R – радиус трубы, м;

V – средняя скорость потока жидкости, м/с;

ξ – коэффициент сопротивления трения.

Касательное напряжение на стенке трубы при движении однофазной среды определяется следующим образом:

$$T_0 = \frac{\Delta p \cdot S}{F},$$

где Δp – перепад давления, определяемый по уравнению Дарси-Вейсбаха.

Добротность связана с логарифмическим декрементом затухания, как показано в [9]:

$$\Delta = \frac{\pi}{Q}.$$

При использовании этой методики не учитывается диссипация энергии в строительных конструкциях и в оборудовании первого контура.

Наиболее сложным объектом является активная зона, в которой диссипация энергии обусловлена не только трением, но и возбуждением колебаний элементов ТВС, ТВЭЛ.

Результаты расчета добротности и логарифмических декрементов затухания колебаний давления по этой методике для элементов первого контура ВВЭР-1000 в таблице 2.

Таблица 2 – Добротность и декременты затухания в теплоносителе акустических элементов первого контура. $P=16$ МПа, $t_{\text{вх}}=289$ °C, $t_{\text{вых}}=322$ °C [Quality factor and decrement of attenuation in the coolant of acoustic elements of the primary circuit. $P=16$ МПа, $t_{\text{вх}}=289$ °C, $t_{\text{вых}}=322$ °C]

Номер участка	1	2	3	4	5	6	10	11	12	13
$Q \cdot 10^3$	1.974	2.1	5.1	0.055	7.2	2.551	4.451	0.042	5.476	2.257
$\Delta \cdot 10^{-3}$	1.591	1.5	0.62	56	0.44	1.232	0.7	76	0.57	1.392

Величину логарифмического декремента можно также определить по автоспектральным плотностям мощности (АСПМ) сигналов от датчиков пульсаций давления и вибраций, т.е. по измеренным зависимостям амплитуды колебаний от частоты. Согласно [5] декремент для каждого пика на АСПМ рассчитывается следующим образом:

$$\Delta = \frac{\pi \Delta f}{f_p \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} - 1}}$$

где $\alpha = \frac{A}{A_p}$ и $\Delta f = f_2 - f_1$ (здесь A_p – амплитуда пика;

$A=0,707 A_p$, f_1 и f_2 – значения частоты при $\Delta p=A$ (рис. 2).

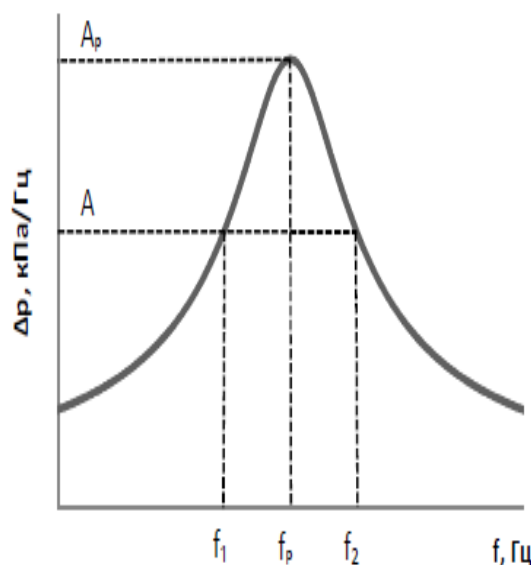


Рисунок 2 – Определение логарифмического декремента по резонансной кривой [The definition of the logarithmic decrement for resonance curve]

Для оценки значений коэффициентов затухания использованы спектральные характеристики вибраций и пульсаций давления.

На рисунке 3 представлены значения декрементов затухания, построенные по результатам измерений АСПМ сигналов от датчиков пульсаций давления и вибраций на Ростовской АЭС. Декременты представлены в значениях δ , где $\delta = \Delta/2\pi$, Δ – декремент затухания. Логарифмические декременты δ указаны в долях от значения критического декремента, равного 2π . Каждому источнику колебаний соответствует выраженный пик на АСПМ. Колебания давления в каждом источнике возникновения АСВ имеют свой декремент затухания.

Из сопоставления результатов расчетов, представленных в таблице 2, с данными обработки экспериментальных измерений, показанных на рисунке 3, видна существенная недооценка энергии диссипации при учете только той ее части, которая обусловлена трением. Расчет диссипации в круглой трубе является наиболее простой задачей. Первый контур АЭС включает реактор, ГЦН, парогенератор, компенсатор давления, соединенные трубопроводами Ду-850. Расчет диссипации энергии в таком контуре представляет значительную сложность. В литературе не имеется достоверных сведений о расчете диссипации энергии в первом контуре АЭС. В стационарных режимах в первом контуре АЭС с ВВЭР турбулизация потока в местных сопротивлениях приводит к передаче энергии от потока к конструкции.

Опыт эксплуатации АЭС и, в частности, с реакторами типа ВВЭР 1000, свидетельствует о повреждениях сварных соединений главного циркуляционного трубопровода с горячим и холодным коллекторами парогенератора [6], с патрубками компенсатора давления и на входе и выходе из реактора [7]. Регулярно возникающие повреждения основного оборудования РУ свидетельствует о не соответствии ряда сварных соединений требованиям безопасной эксплуатации АЭС [8, 9, 10].

При работе АЭС в маневренных режимах число импульсных воздействий, как показано выше, значительно возрастает и количество циклов в процессе их затухания зависит от добротности потока теплоносителя в акустических элементах (участках) образующих первый контур ВВЭР.

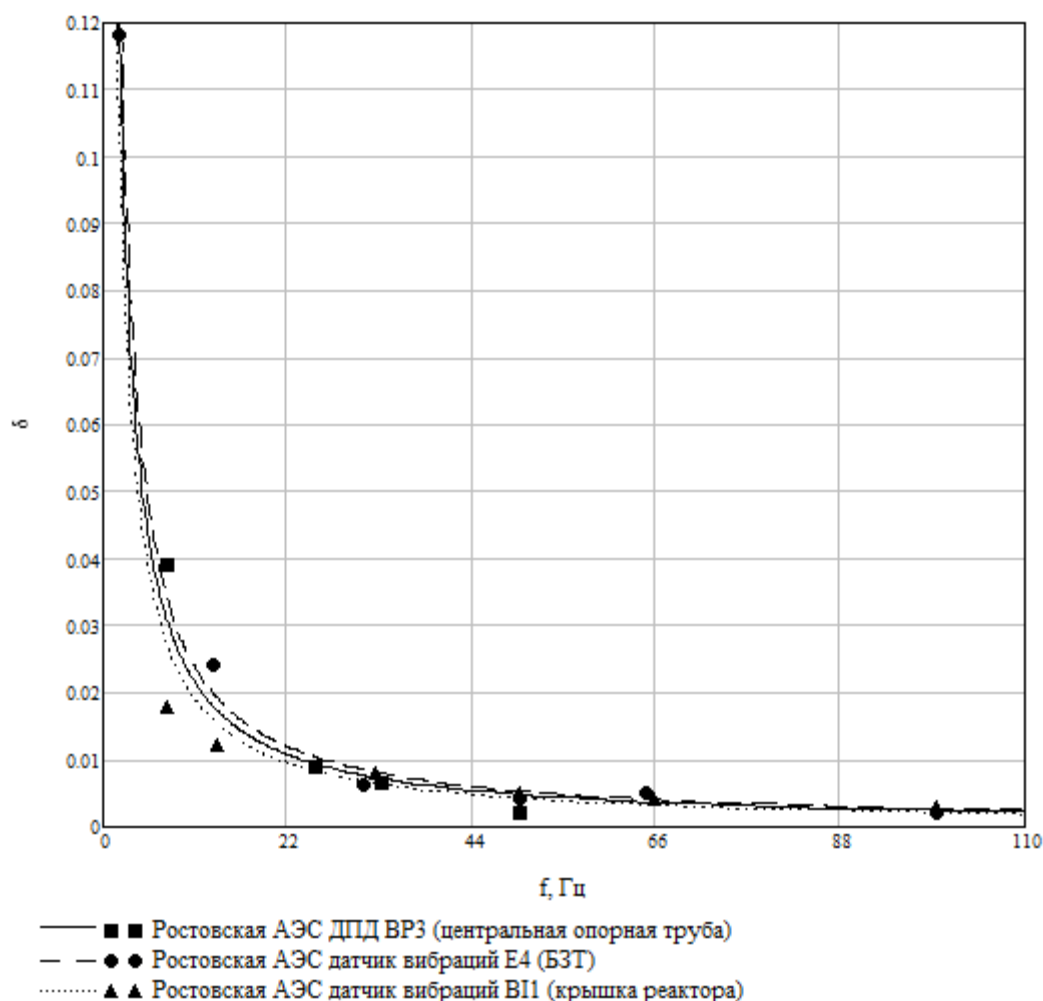


Рисунок 3 – Сравнение зависимостей $\delta(f)$ для ДПД и датчиков вибраций Ростовской АЭС [Comparison of $\delta(f)$ dependencies for the sensor of the pressure pulsation and vibration sensors, measured at Rostov NPP]

Анализ большого объема данных показал, что декременты затухания пульсаций давления в теплоносителе могут быть меньше, значений указанных для оборудования [2]. Сопоставление результатов расчета, представленных в таблице 2, с данными обработки экспериментальных измерений указывает на существенную недооценку диссипации энергии при учете только той ее части, которая обусловлена трением.

Требования обеспечения надежной работы АЭС в маневренных режимах, с учетом импульсных нагрузок, возникающих при отключении/включении разного количества ГЦНА, для регулирования расхода теплоносителя I-го контура является актуальной задачей. Для решения этой задачи необходим поиск и разработка эффективных технологических решений для подавления высокоцикловых виброакустических нагрузок на оборудование, ответственное за надежность и безопасность АЭС. К наиболее перспективным направлениям технологических решений для подавления высокоцикловых виброакустических нагрузок на оборудование АЭС относятся проводимые НИУ МЭИ разработки акустических фильтров частот [11].

Опережающее внедрение в проектно-конструкторскую документацию изменений, придающих оборудованию первого контура свойств акустических фильтров с управляемым диапазоном параметров, обеспечит АЭС с ВВЭР долговременные

конкурентные преимущества, основанные на разработке и применении на практике научно обоснованных прорывных технологий.

ВЫВОДЫ

1) Логарифмические декременты затухания колебаний давления в акустических элементах первого контура ВВЭР-1000, соединяемых сваркой: с дыхательным трубопроводом компенсатора давления; с входом/выходом реактора; с горячим и холодным коллекторами парогенератора меньше нормируемых для строительных конструкций величин.

2) В проектной документации АЭС с ВВЭР не предусмотрено определение и нормирование логарифмических декрементов затухания колебаний теплоносителя в оборудовании первого контура.

3) Высокая добротность соединяемых сваркой акустических элементов являются диагностическим признаком потенциально опасных повреждений сварных соединений.

4) Придание на этапе проектирования оборудованию первого контура свойств акустических фильтров с управляемым диапазоном параметров, обеспечит АЭС с ВВЭР долговременные конкурентные преимущества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зыков, А.С. Техничко-экономические аспекты обоснования применения высоковольтного частотно-регулируемого электропривода на насосах ГЦНА, ПЭН, КЭН и ЦН в новых и перспективных проектах АЭС с ВВЭР с учетом новых требований по маневренным режимам [Текст] / А.С. Зыков // 8-я МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» ОКБ. – Подольск : «ГИДРОПРЕСС», 2013. – С.1-7.
2. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций НП-031-01, 2002.
3. Лепендин, Л.Ф. Акустика [Текст] / Л.Ф. Лепендин. – Москва : Высшая школа, 1978. – 272 с.
4. Гиргидов, А.Д. О диссипации энергии в кругло цилиндрической трубе [Текст] / А.Д. Гиргидов // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – №6. – С. 5-11.
5. Ананьев, А.Н. Сейсмическая безопасность атомных станций [Текст] / А.Н. Ананьев, П.С. Казновский, С.П. Казновский [и др.]. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 229 с.
6. Нетьяга, Н.Н. Оценка рисков повреждения узла приварки коллектора к патрубку ПГ АЭС с ВВЭР [Текст] / Н.Н. Нетьяга, С.П.Саакян, В.П. Поваров // Известия вузов. Ядерная энергетика. – № 4. – 2016. – С. 31-41.
7. Miyoshi Y. Replacement of Pressurizer Safe end Weld. 4th international conference on Nuclear Power Plant Life Management (PLiM). Oct. 23-26. 2017, Lyon, France. www-pub.iaea.org/MTCD
8. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, НП -089-15.
9. Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции, НП-017-2000.
10. Федеральный закон от 21 ноября 1995 г. № 170ФЗ «Об использовании атомной энергии» (с изменениями и дополнениями).
11. Проскуряков, К.Н. Исследование акустических колебаний в реакторных установках и перспективы их использования для обоснования остаточного ресурса [Текст] / К.Н. Проскуряков, М.В. Запорожец. – Вестник Московского энергетического института. – 2016. – №5. – С. 20-25.

REFERENCES

- [1] Zy`kov A.S. Texniko-e`konomicheskie aspekty` obosnovaniya primeneniya vy`sokovol`tnogo chastotno-reguliruemogo e`lektroprivoda na nasosax GCzNA, PE`N, KE`N i CzN v novy`x i perspektivny`x proektax AE`S s VVE`R s uchetom novy`x trebovanij po manevrenny`m rezhimam [Technical and Economic Aspects of Justification of Application of the High-Voltage Frequency-Controlled Electric Drive on Pumps of GTSNA, PEN, KEN and TSN in New and Perspective Projects of NPP with WVER Taking into Account New Requirements for Maneuvering Modes]. 8-ya MNTK «Obespechenie bezopasnosti AE`S s VVE`R» OKB. Podol'sk, «GIDROPRESS»,

2013. S.1-7. [8th International Scientific and Technical Conference "Ensuring the NPP Safety with WWER" Design Bureau. Podolsk: "GIDROPRESS"] (in Russian).
- [2] Normy` proektirovaniya sejsmostojkix atomny`x stancij NP-031-01 [Standards of Design of Seismic-Resistant Nuclear Power Plants]. 2002 (in Russian).
- [3] Lependin L.F. Akustika [Acoustics]. Moskva. Vysshaya shkola [Moscow. Higher school]. 1978. 272 p. (in Russian).
- [4] Girgidov A.D. O dissipacii e`nergii v kruglo cilindricheskoj trube [Energy Dissipation in a Round Cylindrical Tube]. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal [Engineering and Construction Journal]. 2012. № 6. P. 5-11 (in Russian).
- [5] Anan`ev A.N., Kaznovskij P.S., Kaznovskij S.P. Sejsmicheskaya bezopasnost` atomny`x stancij [Seismic Safety of Nuclear Power Plants]. Moskva. Izd-vo MGTU im. N.E`. Bauman [Moscow. Bauman MGTU Publishing House]. 2011. 229 p. (in Russian).
- [6] Netyaga N.N., Saakyan S.P., Povarov V.P. Ocenka riskov povrezhdeniya uzla privarki kollektora k patrubku PG AE`S s VVE`R [Risk Assessment of Damage to the Collector Welding Unit to the SG pipe of NPP with VVER], Izvestiya vuzov. Yadernaya e`nergetika [News of Universities. Nuclear Power]. № 4. 2016. P. 31-41 (in Russian).
- [7] Miyoshi Y. Replacement of Pressurizer Safe end Weld. 4th international conference on Nuclear Power Plant Life Management (PLiM). Oct. 23-26. 2017. Lyon. France. www-pub.iaea.org/MTCD
- [8] Pravila ustrojstva i bezopasnoj e`kspluatacii oborudovaniya i truboprovodov atomny`x e`nergeticheskix ustanovok, NP -089-15 [Rules of construction and safe operation of equipment and pipelines of nuclear power plants, NP-089-15] (in Russian).
- [9] Osnovny`e trebovaniya k prodleniyu sroka e`kspluatacii bloka atomnoj stancii, NP-017-2000 [Basic Requirements for the Life Service Extension of Nuclear Power Plant Unit, NP -017-2000] (in Russian).
- [10] Federal'nyj zakon ot 21 noyabrya 1995 g. № 170FZ «Ob ispol`zovanii atomnoj e`nergii» (s izmeneniyami i dopolneniyami) [Federal Law of 21 November 1995 No. 170SL "Use of Atomic Energy" (with amendments and additions)] (in Russian).
- [11] Proskuryakov K.N., Zaporozhec M.V. Issledovanie akusticheskix kolebanij v reaktorny`x ustanovkax i perspektivy` ix ispol`zovaniya dlya obosnovaniya ostatochnogo resursa [Investigation of Acoustic Oscillations in Reactor Plants and the Prospects of Their Use to Justify the Residual Life], Vestnik Moskovskogo e`nergeticheskogo instituta [Bulletin of Moscow Power Engineering Institute]. 2016. № 5. P. 20-25 (in Russian).

The Influence of Coolant Oscillation Damping Decrement of the NPP Primary Circuit with WWER during Service Life of Welded Joints

K.N. Proskuryakov

National Research University «MPEI», Krasnokazarmennaya St., 14, Moscow, Russia, 111250

ORCID iD: 0000-0002-1884-5576

WoS Researcher ID: I-3583-2017

e-mail: ProskuriakovKN@mpei.ru

Abstract – The operation of the NPP power unit in maneuverable modes in comparison with the operation in the basic mode creates additional low-cycle and high-cycle loads on the equipment. The number of cycles depends on the energy dissipation in the process of attenuation of pressure oscillations and vibrations in the acoustic elements (sections) forming the first WWER circuit. It is shown that the results of approximate theoretical estimates of the damping decrements differ significantly from the values of the signal power spectra of pulsation pressure and vibration sensors determined by the results of measurements of the auto-spectral power densities. It is concluded From the comparison of the results that careful experimental studies of energy dissipation are necessary when the main circulation pumps are turned off / on. It was established that the connections of the main circulation pipe sections: with the respiratory pipe of the pressure compensator; at the inlet and outlet of the reactor; with hot and cold collector steam generators have small logarithmic decrements of attenuation of pressure fluctuations. The number of high-cycle loads in these compounds when the plant operates not only in maneuverable, but also in basic modes exceeds design estimates and it is one of the causes of welded joint damage. NRU MEI develops acoustic frequency filters to suppress high-cycle vibration-acoustic loads.

Keywords: maneuverable modes, high-cycle loads, acoustic model, equipment, vibrations, quality factor, resonance, damper

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621

**РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ
УЧРЕЖДЕНИЙ МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА
СЛУЖБЫ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК НА ПРИМЕРЕ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИРТ МИФИ**

**© 2018 А.А. Серебряков, В.Н. Федосеев, Л.И. Яковлев, С.А. Ожерельев,
Е.М. Тюрин, М.И. Писаревский**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В статье описывается процедура и предлагаются практические рекомендации по продлению срока службы ядерных установок на примере исследовательского реактора ИРТ МИФИ, находящегося в режиме длительного останова. Даются пояснения, как применять положения НП-024-2000 «Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии» непосредственно к ядерным установкам. Статья подготовлена в рамках выполнения работ по Государственному заданию № 3.12935.2018/12 от 7.03.2018 г.

Ключевые слова: ядерная установка, обращение с ядерными материалами и радиоактивными веществами, ядерная и радиационная безопасность, потенциальная радиационная опасность, ядерно и радиационно опасный объект, объект использования атомной энергии, остаточный ресурс, комплексное обследование технического состояния.

Поступила в редакцию: 21.10.2018

Введение

Генеральный директор МАГАТЭ Юкиа Аmano в своем докладе «Обзор ядерных технологий – 2016» [1] на 60-ой сессии Генеральной конференции МАГАТЭ 13 июля 2016 г. отметил, что в мире примерно половина из 246 действующих в 55 странах исследовательских реакторов и критических установок имеют срок службы свыше 40 лет. Назначенный срок эксплуатации исследовательского реактора обычно составляет 30 лет. Далее встает вопрос о дополнительном сроке эксплуатации реактора или о его выводе из эксплуатации. В соответствии со статьей 3 Федерального закона от 21.11.1995 N 170-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «Об использовании атомной энергии» [2] – сооружения и комплексы с ядерными реакторами, в том числе сооружения и комплексы с промышленными, экспериментальными и исследовательскими ядерными реакторами, относятся к ядерным установкам и являются объектом использования атомной энергии (далее ОИАЭ). Продление срока эксплуатации ОИАЭ должно быть оформлено по требованиям НП-024-2000 «Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии» (Далее НП-024-2000) [3]. В понятие ОИАЭ входят ядерные установки, радиационные источники и пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, на которые распространяются нормы и правила ядерной и радиационной безопасности [4, 5, 6, 7, 8]. Поэтому в НП-024-2000 требования к обоснованию срока службы сформулированы широко, чтобы охватить все виды ОИАЭ.

Целью данной статьи является выделение и формулировка требований к таким ядерным установкам, как исследовательские ядерные реакторы, а также пояснение к этим требованиям. В качестве примера приводятся мероприятия по принятию решения о продлении срока эксплуатации исследовательского реактора ИРТ МИФИ. Реактор ИРТ МИФИ является одним из трех российских университетских реакторов и принадлежит Министерству науки и высшего образования Российской Федерации. Все три реактора, находящиеся в Москве, Томске и Севастополе имеют срок эксплуатации более 30 лет. ИРТ МИФИ работал без длительных остановов в период с мая 1967 до июня 2009 г., и активно использовался для научных исследований и обучения специалистов в ядерных технологиях. В 2009 г. закончилось действие очередной лицензии на эксплуатацию реактора, и реактор был остановлен. Согласно требованиям НП-024-2000 для установок старше 30 лет необходимо провести комплексное обследование всех компонентов и систем реактора. На настоящий момент выполнено комплексное обследование компонентов и систем реактора, показавшее возможность дальнейшей его эксплуатации, и принято решение продлить срок эксплуатации до 2026 года.

Порядок продления сроков эксплуатации ядерной установки

НП-024-2000 устанавливают, что для продления срока службы РИ необходимо выполнение следующих мероприятий:

- комплексное обследование ядерной установки (далее – ЯУ), включая комплексное обследование, как самого исследовательского реактора, так и других элементов – оборудования, приборов, трубопроводов, кабелей, строительных конструкций и других элементов, обеспечивающих выполнение заданных функций самостоятельно или в составе систем и рассматриваемые в техническом проекте ЯУ в качестве структурных единиц при выполнении анализов надежности и безопасности;
- экспертиза результатов комплексного обследования ЯУ;
- оценка остаточного ресурса ЯУ; возможности обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами, образующимися в течение дополнительного срока эксплуатации ЯУ; возможности обеспечения требуемого уровня безопасности ЯУ при выводе ее из эксплуатации после окончания дополнительного срока эксплуатации; возможности хранения дополнительного количества отработавшего ядерного топлива на площадке ядерной установки или его вывоза.
- разработка компенсирующих мероприятий;
- согласование и утверждение Решения о продлении срока эксплуатации ЯУ.

Продления срока эксплуатации ЯУ на практике означает следующую последовательность действий эксплуатирующей организации.

1) Эксплуатирующая организация в соответствии с пунктами 2.4, 3.4 НП-024-2000 разрабатывает документы:

- Программу комплексного обследования систем и элементов ЯУ, которая утверждается органом управления – Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.
- Частные программы обследования, которые утверждаются самой эксплуатирующей организацией и согласовываются со специализированными организациями, проводящими обследование.

Перечень программ, разработанных для ИРТ МИФИ приведен ниже:

- Общая программа комплексного обследования технического состояния исследовательского ядерного реактора ИРТ МИФИ;
- Частная программа по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений реактора ИРТ;

- Частная программа обследования грузоподъемных механизмов реактора ИРТ в соответствии с [9];
- Частная программа по обследованию электрического и энергетического оборудования реактора ИРТ;
- Частная программа по обследованию элементов системы управления и защиты, средств измерений и автоматизации, линий связи реактора ИРТ в соответствии с [12];
- Частная программа по обследованию систем и оборудования радиационного контроля, анализу радиационной обстановки в помещениях и на площадке реактора ИРТ в соответствии с [4,5];
- Частная программа по обследованию тепломеханического оборудования и трубопроводов, технологического оборудования реактора ИРТ в соответствии с [10];
- Частная программа по анализу экологической обстановки, обоснованию возможности обеспечения безопасного обращения и хранения РАО и ОЯТ, образующихся в течение эксплуатации реактора ИРТ в соответствии с [7];
- Частная программа по анализу соответствия требованиям пожарной безопасности реактора ИРТ в соответствии с [14];
- Частная программа по анализу состояния промышленной безопасности реактора ИРТ.

2) Проводится комплексное обследование специализированными организациями, с которыми заключается соответствующие контракты. Комплексное обследование проводится в соответствии с общей программой комплексного обследования технического состояния исследовательского ядерного реактора, частными программами обследования, а также приказами об образовании комиссии по комплексному обследованию исследовательского реактора, об организации работ по проведению комплексного обследования исследовательского реактора, о назначении технических комиссий для проведения комплексного обследования исследовательского реактора.

Цель комплексного обследования заключается в оценке фактического состояния реактора ИРТ МИФИ, определении остаточного ресурса его элементов, для которых срок службы не установлен, либо их назначенный ресурс исчерпан, а также установление дефицитов безопасности для определения возможности и условий продления срока эксплуатации реактора.

Для достижения поставленных целей при проведении комплексного обследования решаются следующие задачи:

- определяется техническое состояние строительных конструкций зданий и сооружений;
- определяется техническое состояние систем и элементов ЯУ, важных для безопасности;
- определяются дефициты безопасности;
- оценивается соответствие состояния пожарной ЯУ требованиям НТД;
- оценивается соответствие грузоподъемных механизмов ЯУ требованиям НТД;
- оценивается промышленная безопасность ЯУ;
- оценивается радиационная безопасность в помещениях, на площадке размещения ЯУ и в санитарно-защитной зоне;
- оценивается изменение техногенного влияния других объектов и природных воздействий в месте размещения ЯУ;

- определяются элементы, важные для безопасности, выработавшие свой ресурс;
- определяются элементы, важные для безопасности, ресурс которых может быть продлен в результате периодического технического обслуживания и ремонта;
- проводится анализ влияния ЯУ (при эксплуатации реактора ЯУ) на экологическую обстановку;
- оценивается возможность обеспечения хранения отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов, образующихся в течение дополнительного срока эксплуатации;
- оценивается возможность безопасного обращения с радиоактивными отходами.

3) По результатам выполненного комплексного обследования специализированные организации оформляют технические отчеты по частным программам обследования, а затем итоговый отчет. Согласно пункта 3.4.7 НП-024-2000 в состав отчета для ЯУ должны быть включены:

- краткое описание обследованных систем и элементов, их назначение;
- результаты комплексного обследования систем и элементов;
- оценка радиационной безопасности;
- оценка дефицитов безопасности;
- анализ экологической обстановки;
- оценка безопасности при обращении с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами;
- результаты анализа и оценка изменения техногенного влияния других объектов и природного воздействия;
- результаты анализа и оценка состояния промышленной безопасности;
- заключение по техническому состоянию элементов и систем, важных для безопасности, возможности и условиям продления эксплуатации ЯУ на дополнительный срок эксплуатации;
- рекомендации по дальнейшей эксплуатации систем и элементов ЯУ.

Нормативной базой для разработки частных и общей программ обследования и их выполнения, подготовки отчетов по выполненному обследованию являются документы [3]. Отчет утверждается эксплуатирующей организацией.

4) Экспертиза отчета проводится в организации, имеющей соответствующую лицензию Ростехнадзора (пункты 3.4.5, 3.4.6 НП-024-2000).

В экспертном заключении должны быть включены следующие разделы:

- краткое описание обследованных систем и элементов, их назначение;
- перечень рассмотренных документов;
- объем и результаты проведенных в процессе обследования контроля, испытаний, измерений, исследований и т.п.;
- выводы о результатах оценки остаточного ресурса систем и элементов;
- перечень элементов, выработавших свой ресурс;
- выводы о фактическом состоянии систем и элементов по результатам контроля, испытаний, измерений, исследований и т.п. в процессе обследования;
- заключение о состоянии систем и элементов, а также рекомендации по реализации мер, необходимых для обеспечения их работоспособности и надежности;
- выявленные дефициты безопасности и предлагаемые компенсирующие меры;
- предложения по программам дополнительных работ для определения остаточного ресурса элементов ЯУ;
- проект Решения о продлении срока службы ЯУ.

Экспертное заключение является основой для подготовки решения о продлении срока эксплуатации и программы работ по подготовке ЯУ к продлению срока эксплуатации.

5) Эксплуатирующая организация по результатам экспертизы разрабатывает и утверждает решение о продлении срока эксплуатации ЯУ (пункт 2.11 НП-024-2000). Это решение согласовывается с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

6) Эксплуатирующая организация разрабатывает программу работ по подготовке ЯУ к продлению срока эксплуатации (пункты 2.5, 2.6 НП-024-2000), которая утверждается Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

7) Эксплуатирующая организация подготавливает акт приемки к дополнительному сроку эксплуатации ЯУ (пункт 5.10 НП-024-2000). Акт утверждается эксплуатирующей организацией.

Заключение

Разработаны практические рекомендации по обоснованию дополнительного срока эксплуатации ядерных установок для учреждений МИНОБНАУКИ РОССИИ. Даются пояснения, как применять положения НП-024-2000 «Требования к обоснованию возможности дополнительного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии» непосредственно к ядерным установкам. Данные рекомендации могут быть полезными и для организаций другой ведомственной принадлежности при обосновании дополнительного срока эксплуатации ядерных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклада Генерального директора МАГАТЭ «Обзор ядерных технологий – 2016» на 60 сессии Генеральной конференции МАГАТЭ, Австрия, Вена, 13 июля 2016 года. https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/reports/2016/gc61-3_rus.pdf (дата обращения: 10.09.2018).
2. Федеральный закон от 21.11.1995 N 170-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «Об использовании атомной энергии». http://www.mchs.gov.ru/law/Federalnie_zakoni/item/5378191 (дата обращения: 10.09.2018).
3. НП-024-2000 «Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии». Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 28 декабря 2000 г. № 16. <http://docs.cntd.ru/document/1200034007> (дата обращения: 10.09.2018).
4. СП 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90936 (дата обращения: 10.09.2018).
5. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154276 (дата обращения: 10.09.2018).
6. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга. <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=17584#02954071992106806>.
7. НП-009-17 «Правила ядерной безопасности исследовательских реакторов». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256205/ (дата обращения: 10.09.2018).
8. НП-033-11 «Общие положения обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_118820 (дата обращения: 10.09.2018).
9. НП-043-11 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов для объектов использования атомной энергии». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125802 (дата обращения: 10.09.2018).
10. НП-045-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей

- воды для объектов использования атомной энергии». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43708 (дата обращения: 10.09.2018).
11. НП 092-14 «Периодическая оценка безопасности исследовательских ядерных установок». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_175620 (дата обращения: 10.09.2018).
 12. СНиП 3.05.07-85 «Системы автоматизации». <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=4#0127234253398960> (дата обращения: 10.09.2018).
 13. СанПиН 2.6.1.23-03 «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации ядерных реакторов исследовательского назначения (СП ИР-03)». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42368 (дата обращения: 10.09.2018).
 14. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 года № 390 «Правила противопожарного режима в Российской Федерации». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263 (дата обращения: 10.09.2018).

REFERENCES

- [1] Doklada General'nogo direktora MAGATE` «Obzor yaderny`x tehnologij – 2016» na 60 sessii General'noj konferencii MAGATE`, Avstriya, Vena, 13 iyulya 2016 goda [Report of the Director General of the IAEA "nuclear technology Review 2016" at the 60th session of the IAEA General conference, Austria, Vienna, July 13, 2016]. https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/reports/2016/gc61-3_rus.pdf (in Russian).
- [2] Federal'nyj zakon ot 21.11.1995 N 170-FZ (red. ot 03.07.2016) "Ob ispol'zovanii atomnoj e`nergii"[Federal law of 21.11.1995 N 170-FZ (ed.of 03.07.2016) "on the use of atomic energy"]. http://www.mchs.gov.ru/law/Federalnie_zakoni/item/5378191 (in Russian).
- [3] NP-024-2000 «Trebovaniya k obosnovaniyu vozmozhnosti prodleniya naznachennogo sroka e`kspluatacii ob`ektov ispol'zovaniya atomnoj e`nergii». Utverzhdeny` postanovleniem Gosatomnadzora Rossii ot 28 dekabrya 2000 g. № 16[NP-024-2000 "requirements to justification of possibility of extension of the appointed term of operation of objects of use of nuclear energy". Approved by the resolution of Gosatomnadzor of Russia of December 28, 2000 № 16]. <http://docs.cntd.ru/document/1200034007> (in Russian).
- [4] SP 2.6.1.2523-09 Normy` radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009) [SP 2.6.1.2523-09 radiation safety Standards (NRB-99/2009)]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90936 (in Russian).
- [5] SP 2.6.1.2612-10 Osnovny`e sanitarny`e pravila obespecheniya radiacionnoj [SP 2.6.1.2612-10 Basic sanitary rules for radiation]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154276 (in Russian).
- [6] GOST 31937-2011 Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoring [GOST 31937-2011 Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring]. <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=17584#02954071992106806>. (in Russian).
- [7] NP-009-17 «Pravila yadernoj bezopasnosti issledovatel'skix reaktorov» [NP-009-17 "Rules of nuclear safety of research reactors"]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256205/ (in Russian).
- [8] NP-033-11 «Obshhie polozheniya obespecheniya bezopasnosti issledovatel'skix yaderny`x ustanovok» [NP-033-11 "General provisions for the safety of nuclear research facilities"]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_118820 (in Russian).
- [9] NP-043-11 «Pravila ustrojstva i bezopasnoj e`kspluatacii gruzopod`emny`x kranov dlya ob`ektov ispol'zovaniya atomnoj e`nergii» [NP-043-11 "Rules of the device and safe operation of load-lifting cranes for objects of use of nuclear energy"]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125802 (in Russian).
- [10] NP-045-03 «Pravila ustrojstva i bezopasnoj e`kspluatacii truboprovodov para i goryachej vody` dlya ob`ektov ispol'zovaniya atomnoj e`nergii» [NP-045-03 "Rules of the device and safe operation of pipelines of steam and hot water for objects of use of nuclear energy"]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43708 (in Russian).
- [11] NP 092-14 «Periodicheskaya ocenka bezopasnosti issledovatel'skix yaderny`x ustanovok» [NP 092-14 "Periodic safety assessment of nuclear research facilities"]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_175620 (in Russian).
- [12] SNiP 3.05.07-85 «Sistemy` avtomatizacii» [SNiP 3.05.07-85 "automation Systems"]. <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=4#0127234253398960> (in Russian).

- [13] SanPiN 2.6.1.23-03 «Gigienicheskie trebovaniya k proektirovaniyu i e`kspluatacii yaderny`x reaktorov issledovatel`skogo naznacheniya (SP IR-03)» [SanPiN 2.6.1.23-03 Hygienic requirements for the design and operation of nuclear reactors for research purposes (SP IR-03)]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42368 (in Russian).
- [14] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 25.04.2012 goda № 390 «Pravila protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii» [Decree of the Government of the Russian Federation dated 25.04.2012 № 390 "Rules of fire regime in the Russian Federation"]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263 (in Russian).

Development Practical Recommendations for the Institutions of the Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation on Justification of the Extension of the Term of Service of Nuclear Installations on the Example of the IRT MEPhI Research Reactor

**A.A. Serebryakov¹, V.N. Fedoseev², L.I. Yakovlev³, S.A. Ozherelev,
Ye.M. Tyurin⁵, M.I. Pisarevsky⁶**

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 115409, Moscow, Kashirskoe shosse, d. 31, Russia

¹ORCID iD: 0000-0002-4549-7933

WoS Researcher ID: R-4218-2017

e-mail: AASerebryakov@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0002-1612-5161

WoS Researcher: R-7626-2017

e-mail: fedvn59@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0001-6981-3585

WoS Researcher ID: R-4259-2017

e-mail: LIYakovlev@mephi.ru

⁵ORCID iD: 0000-0002-0100-0702

WoS Researcher ID: 0000-0002-0100-0702

e-mail: tempost@mail.ru

⁶ORCID iD: 0000-0002-3578-6942

WoS Researcher ID: O-8221-2017

e-mail: MIPisarevskij@mephi.ru

Abstract – The article describes the procedure and offers practical recommendations for extending the service life of nuclear facilities using the example of the IRT MEPhI research reactor, which is in a long shutdown mode. Explanations are given on how to apply the provisions of NP-024-2000 «Requirements for justifying the possibility of extending the designated lifetime of nuclear facilities» directly to nuclear facilities.

Keywords: nuclear installation, handling of nuclear materials and radioactive substances, nuclear and radiation safety, potential radiation hazard, nuclear and radiation hazardous object, object of atomic energy use, residual resource, comprehensive technical condition survey.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039:532:533.6

**ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОНИЦАЕМОСТИ РЕШЕТЧАТЫХ
СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ
АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕНИ НАД БРЫЗГАЛЬНЫМИ
БАССЕЙНАМИ**

© 2018 И.Н. Веселова*, Г.В. Домрина**, О.Л. Кольченко*, Н.С. Бузало***,
В.Н Буров **.

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

***Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Новочеркасск, Ростовская обл., Россия*

****Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ), г. Новочеркасск,
Ростовская обл., Россия*

В работе представлены результаты гидравлических исследований влияния коэффициента проницаемости решетчатых сопротивлений на кинематическую структуру потока, трансформированного этим сопротивлением, предназначенных для снижения потерь распыленной воды над брызгальными бассейнами.

Ключевые слова: брызгальные бассейны, гидравлические сопротивления, кинематическая структура потока, местная скорость.

Поступила в редакцию: 11.07.2018

При эксплуатации брызгальных бассейнов возникают большие непроизводительные потери воды, связанные со сносом ветром мелких капель. Эффективным способом решения этой проблемы может быть устройство по всему периметру бассейнов лесонасаждений. Защитный эффект лесополосы (зона со скоростями $V \leq 0,4V_0$) оценивается в $5H$ – с наветренной и $20H$ с подветренной стороны. То есть при высоте лесонасаждений $H=10\div 12$ м защитная зона составляет $250\div 300$ м. Но устройство лесополос противоречит требованиям безопасности АЭС, а также приведет к загрязнению бассейнов опавшей листвой.

В связи с этим, для снижения потерь предлагается формировать над частью брызгального бассейна зону пониженных скоростей воздушного потока с помощью аэродинамических сопротивлений.

Искусственная деформация поля скоростей широко применяется для выравнивания потока по сечению различных каналов в аэродинамических трубах и технологических аппаратах. Для этого в поток вводят сопротивления, распределенные по сечению – различные системы решеток, сеток и т.д. [1]. Также проводились исследования по созданию эпюр заданной формы, разработаны методы расчета деформации потока с помощью сеток переменного сопротивления с заданным распределением по сечению канала [2].

Для формирования зоны пониженных скоростей в данной работе предполагается использовать плоские частично проницаемые решетки, состоящие из продольных рабочих элементов, установленные вдоль периметра брызгального бассейна. Такие сопротивления с одной стороны затормозят скорость движения воздушных масс

непосредственно в зоне охлаждения воды, с другой стороны обеспечат приток воздуха, необходимый для эффективного теплообмена.

При исследовании влияния сопротивлений на структуру воздушного потока был применен метод гидроаэродинамического моделирования, основанного на подобии режимов протекания потоков жидкости и газа в подобных геометрических условиях [3]. Анализ литературы и проведенные предварительные исследования показали, что одним из факторов, определяющих степень трансформации эпюры, является коэффициент проницаемости решетки [4].

Коэффициент проницаемости решетки F_o/F_p – параметр, характеризующий степень перекрытия потока по площади решетки, где F_p – площадь решетки, F_o – суммарная площадь отверстий.

В гидравлических расчетах величина коэффициента проницаемости решетки используется в качестве геометрической характеристики решетки при определении величины коэффициента гидравлического сопротивления, определяющего потери напора потока при протекании через решетку, например, в формуле (1) И.Е. Идельчика [5]

$$\zeta = \left(0,707 \sqrt{1 - \frac{F_o}{F_1}} + 1 - \frac{F_o}{F_1} \right)^2 \left(\frac{F_1}{F_o} \right)^2, \quad (1)$$

где F_1 – площадь живого сечения потока.

В работах П.Р. Андропова [6], В.А. Бучина [7] при построении аналитических решений задач об обтекании жидкостью проницаемой пластины в качестве параметров, определяющих геометрические характеристики проницаемой пластины, использовались коэффициент аэродинамического сопротивления s_x и коэффициент проницаемости пластин.

Согласно рекомендациям Э.И. Реттер [8] при определении коэффициента аэродинамического сопротивления s_x необходимо учитывать форму обтекаемого тела, его ориентацию относительно набегающего потока, геометрические размеры тела. Для решетчатых конструкций при фронтальном набегающем потоке основными геометрическими параметрами являются коэффициенты аэродинамического сопротивления составляющих элементов s_{xi} , их относительное удлинение – отношение ширины элемента к его длине, коэффициент проницаемости конструкции [9].

В работе [10] для создания в верхней части открытого потока области с пониженными скоростями с целью снижения транспортирующей способности в эту часть потока вводились решетчатые сопротивления, составленные из продольных элементов. Было показано, что при частичном перекрытии потока коэффициент гидравлического сопротивления ζ не может однозначно определять геометрические характеристики решетки и ее влияние на гидравлическую структуру потока, поэтому в качестве управляющего фактора использовался параметр аналогичный коэффициенту проницаемости – скважность решетки $a/(a+b)$, где a – расстояние между элементами, b – ширина элемента. Приведены результаты лабораторных исследований влияния скважности решетки на величину деформации потока.

Для изучения влияния коэффициента проницаемости решетки, введенной в нижнюю часть потока, на его кинематическую структуру была проведена серия опытов.

Опыты проводились в стеклянном гидравлическом лотке шириной 0,115 м и длиной 8 м. На дно лотка вертикально устанавливалась решетка, составленная из продольных элементов. Решетки высотой 10 см были изготовлены из жесткого пластика толщиной 1 см. Местные скорости измерялись с помощью

автоматизированной системы, включающей частотомер, преобразователь импульсов и микровертушку с ротором диаметром 0,008 м.

Коэффициент проницаемости F_o/F_p изменялся от 0,07 до 0,49. В таблице 1 представлены геометрические характеристики использованных решеток.

На рисунке 1 представлены эпюры осредненных скоростей по длине потока за решеткой при различной скважности. Были измерены скорости в свободном потоке и в потоке с решеткой на различных расстояниях за ней. Скорости измерялись по оси потока.

Таблица 1 – Геометрические характеристики использованных решеток [Geometric characteristics of the used lattices]

F_o/F_p	0,07	0,014	0,21	0,28	0,35	0,49
Ширина отверстия, мм	2	4	6	8	10	14
Ширина элемента, мм	22	20	18	16	14	10

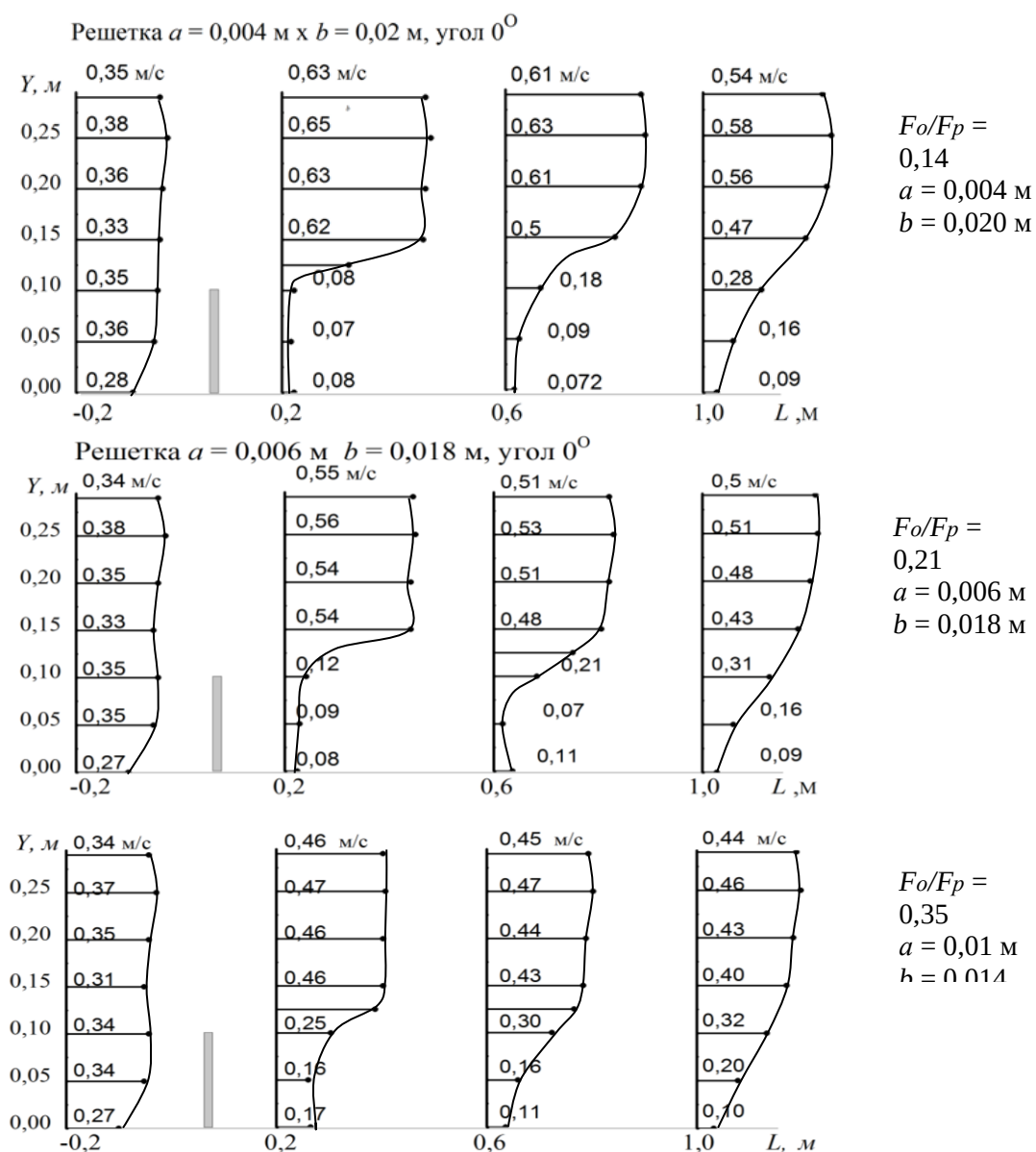


Рисунок 1 – Эпюры местных осредненных скоростей по длине потока
[Diagram of local averaged speeds along the length of the stream]

Как видно из рисунка, за решеткой происходит значительная деформация скоростной структуры потока. В верхней части потока над решеткой скорости возрастают, в нижней уменьшаются в 2-3 раза, а при малой скважности и в 5 раз.

Это происходит как за счет потерь энергии потока на преодоление сопротивления и столкновение струй за решеткой, так и за счет перераспределения масс жидкости по глубине потока из нижней части в верхнюю. Это перераспределение обусловлено ограниченной пропускной способностью отверстий решетки.

Скорости уменьшились по всей высоте решетки, даже на уровне верхней кромки произошло снижение скорости в 1,4 - 4,5 раз, в зависимости от скважности. Это говорит о том, что тормозящее действие распространяется и на слои жидкости, располагающиеся выше кромки решетки.

Численно степень деформации скоростной эпюры оценивалась с помощью параметра v_p/v_c , характеризующего величину снижения скоростей в нижней части потока, где v_p и v_c – скорости, осредненные по высоте решетки за ней и в свободном потоке, и коэффициента неравномерности эпюры k_n , который аналогичен коррективу кинетической энергии [5], но применен для плоской задачи (2):

$$k_n = 1 + \int_h (u - v)^2 dh / (v^2 H), \quad (2)$$

где u – местная осредненная скорость,
 v – средняя скорость потока,
 H – глубина потока.

Результаты представлены на рисунке 2.

Как и следовало ожидать, максимальная неравномерность эпюры $k_n = 2$ (в свободном спокойном потоке величина k_n обычно составляет около 1,1) наблюдается при минимальном коэффициенте проницаемости $F_o/F_p = 0,07$.

Снижение скоростей за решеткой сохраняется на значительном расстоянии от решетки. Как видно из рисунка, на расстоянии 1 м от решетки, что составляет $10 h_p$, скорости снижены в 1,5-2,7 раза. Максимальное деформирующее влияние коэффициента проницаемости наблюдается непосредственно за решеткой, от $v_p/v_c = 0,19$ до 0,7, и уменьшается по мере удаления от решетки и восстановления естественной эпюры. Причем, чем выше градиент скоростей на уровне верхней кромки решетки, тем быстрее происходит восстановление скоростной эпюры. На расстоянии $15 h_p$ это влияние практически исчезает, при том, что снижение скоростей сохраняется, $v_p/v_c \approx 0,7-0,92$.

Из представленных данных видно, что при уменьшении суммарной площади отверстий до 7 % от площади решетки, за ней происходит 5-ти кратное снижение местных скоростей по всей ее высоте, и на расстоянии $15 h$ от решетки в нижней части потока сохраняется снижение скоростей в 1,5 раза. Полное восстановление формы эпюры происходит на расстоянии 25-30 h .

Также следует отметить, что уменьшение коэффициента проницаемости от $F_o/F_p = 0,28$ до 0,7 не оказывает значительного влияния на скорости за решеткой, параметр v_p/v_c уменьшился от 0,28 до 0,1, и по мере удаления от решетки эта картина сохраняется.

Анализ эпюр показывает, что восстановление скоростной структуры по длине потока происходит по высоте неравномерно, можно даже сказать послойно. На рисунке 3 представлено изменение местных скоростей по длине потока на различных глубинах.

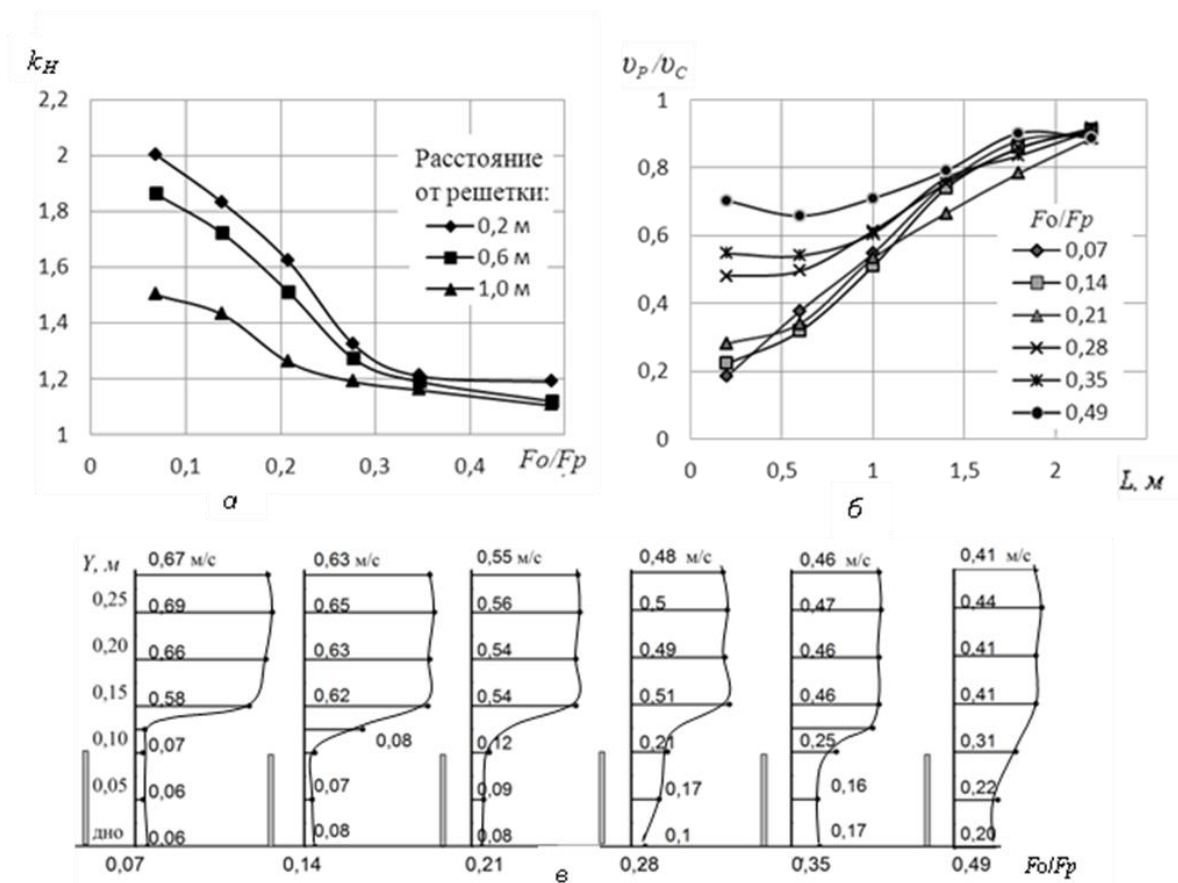


Рисунок 2 – а) – графики зависимости коэффициента неравномерности эпюры k_H от коэффициента проницаемости решетки Fo/Fp на различных расстояниях от решетки;
 б) – графики зависимостей параметра v_P/v_C от коэффициента проницаемости;
 в) – вертикальные эпюры осредненных скоростей за решеткой при различном коэффициенте проницаемости решетки [a) graphs of the unevenness coefficient dependence of the k_H diagram from the permeability coefficient of the Fo / Fp lattice at various distances from the lattice;
 б) – diagrams of dependences of the parameter v_P / v_C on the permeability coefficient;
 в) – vertical diagrams of averaged velocity behind the lattice with different lattice permeability coefficient]

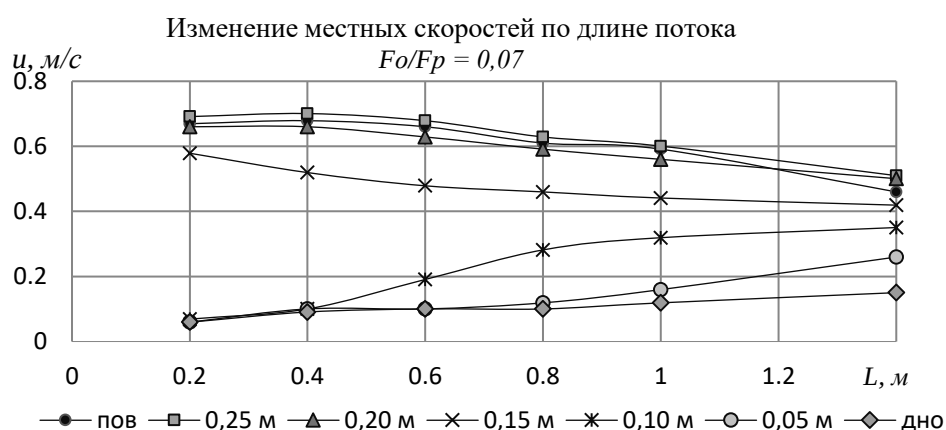


Рисунок 3 – Изменение местных скоростей за решеткой по длине потока [Variation of local velocities behind the lattice along the length of the stream]

Как видно из рисунка, чем ниже располагаются слои, тем медленнее происходит восстановление скоростей. Это происходит за счет передачи импульсов от более

быстрых слоев потока к более медленным.

Зона перехода от пониженных скоростей к повышенным во всех опытах располагается выше верхней кромки решетки. Из этого следует, что изменяя высоту решетки, можно создавать зону пониженных скоростей необходимой высоты.

Таким образом, наличие зоны пониженных скоростей за решеткой позволяет создать благоприятные условия для оседания распыленных в воздухе капель воды при повышенной скорости и резких порывах ветра.

Выводы:

1) Коэффициент проницаемости решетки является фактором, определяющим деформирующие свойства решеток.

2) Решетки, составленные из вертикальных элементов, позволяют формировать скоростную эпюру с равномерным распределением скоростей по высоте решетки в нижней части потока.

3) Изменяя коэффициент проницаемости решеток можно добиваться 4-5 кратного снижения скоростей в нижней части потока.

4) Влияние коэффициента проницаемости наиболее выражено на расстоянии $10 h_p$ от решетки. Далее по мере удаления от решетки влияние коэффициента проницаемости уменьшается, но снижение скоростей на 20-30 % сохраняется. Полное восстановление эпюры происходит на расстоянии 25-30 h_p от решетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Идельчик, И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов [Текст] / И.Е. Идельчик. – Москва : Машиностроение, 1983. – 349 с.
2. Риман, И.С. Простой приближенный метод расчета изменения профиля скоростей в потоке жидкости под действием сопротивления [Текст] // И.С. Риман – Промышленная аэродинамика. – 1962. – Вып. 24. – С. 158-167.
3. Бекетов, В.Г. Управление аэродинамической тенью над брызгальными бассейнами АЭС. Гидродинамическое моделирование [Текст] / В.Г. Бекетов, О.Л. Кольченко, Г.В. Домрина, Ю.М. Матевосян. // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №3. – С. 78-84.
4. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик – Москва : Книга по Требованию, 2012. – 466 с.
5. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам: учеб. пособие для вузов. [Текст] / под ред. П.Г. Киселева. – Москва : Эколит, 2011. – 312 с.
6. Андронов, П.Р. О струйном обтекании проницаемой пластины в плоскопараллельном канале [Текст] / П. Р. Андронов, С. В. Гувернюк // Прикладная математика и механика (ПММ). – 2015. – Т.79, вып.3. – С. 391-404.
7. Бучин, В.А. Решение задачи об истечении жидкости из полупространства через частично проницаемую стенку [Текст] / В.А. Бучин, С.В. Гувернюк, С.А. Фещенко // Изв. АН СССР. МЖГ. – 1985. – № 5. – С. 174-176.
8. Реттер, Э.И. Аэродинамическая характеристика жилых зданий [Текст] / Э.И. Реттер, Ф.Л. Серебровский // Журнал «АВОК». – 2008. – №5. – С. 81-87.
9. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия [Электронный ресурс] / <http://docs.cntd.ru/document/1200084848>
10. Домрина, Г.В. Наносорегулирующее устройство бесплотинных водозаборов малой производительности из горных рек с высокой концентрацией взвешенных наносов: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / Г.В. Домрина. – Новочеркасск, 2000. – 24 с.

REFERENCES

- [1] Idelchik I. E. Aerogidrodinamika tekhnologicheskikh apparatov [Aerohydrodynamics of Technological Devices]. Moskva. Mashinostroyeniye [Moscow.Machine Building]. 1983. 349 p. (in Russian).
- [2] Riemann I.S. Prostoy priblizhennyi metod rascheta izmeneniya profilya skorostey v potoke zhidkosti pod deystviyem soprotivleniya [A Simple Approximate Method for Calculating the

- Change in the Velocity Profile in Liquid Flow under Resistance]. *Promyshlennaya aerodinamika* [Industrial Aerodynamics]. 1962. Vypusk [1962 Issue] 24. P. 158-167 (in Russian).
- [3] Beketov V.G. and others. Upravleniye aerodinamicheskoy ten'yu nad bryzgal'nymi basseynami AES. [Control of Aerodynamic Shadow above the NPP Spray Ponds. Hydrodynamic Modeling]. *Global'naya yadernaya bezopasnost* [Global Nuclear Safety]. 2014. №3. P. 78-84 (in Russian).
- [4] Idelchik, I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Reference Book on Hydraulic Resistance] Moskva. Kniga po Trebovaniyu [Moscow.Book on Demand]. 2012. 466 p. (in Russian).
- [5] Kiselev P.G. and others. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam. Uchebnoye posobiye dlya vuzov [Reference Book on Hydraulic Calculations. Textbook for High Schools]. Moskva [Moscow]: Ekolot, 2011. 312 p. (in Russian).
- [6] Andronov P.R. O struynom obtekanii pronitsayemoy plastiny v ploskoparallel'nom kanale [Jet Flow around Permeable Plate in Plane-Parallel Channel]. *Prikladnaya matematika i mekhanika (PMM)* [Applied Mathematics and Mechanics]. 2015. T. 79. Vypusk [release] 3. P. 391-404 (in Russian).
- [7] Buchin V.A., Guvernuyuk S.V., Feshchenko S.A. Resheniye zadachi ob istechenii zhidkosti iz poluprostranstva cherez chastichno pronitsayemuyu stenku [Solution of the Problem of Fluid Flow from Half-Space through Partially Permeable Wall]. *Izv. AN SSSR. MZHG*. 1985. № 5. P. 174-176 (in Russian).
- [8] Retter E.I. Aerodinamicheskaya kharakteristika zhilykh zdaniy [Aerodynamic of Residential Buildings], *Zhurnal «AVOK»*. 2008 [“AVOK” journal]. №5. P. 81-87 (in Russian).
- [9] SP 20.13330.2011 Nagruzki i vozdeystviya [Loads and Impacts] (in Russian).
- [10] Domrina G.V. Nanosoreguliruyushcheye ustroystvo besplotinnykh vodozaborov maloy proizvoditel'nosti iz gornykh rek s vysokoy kontsentratsiyey vzveshennykh nanosov: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Nano-Regulation Device of Low-Density Water Intakes with Low Productivity from Mountain Rivers with a High Concentration of Suspended Sediments: Abstract of PhD Thesis in Engineering]. Novocherkassk [Novocherkassk]. 2000. 24 p. (in Russian).

Influence of Lattice Resistance Transparency Coefficient on Aerodynamic Shadow Formation over Spray Ponds

I.N. Veselova*¹, G.V. Domrina², O.L. Kolchenko*³, N.S. Buzalo***⁴, V.N. Burov**⁵**

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

¹ ORCID:0000-0001-5867-5690

WoS Researcher ID: M-1893-2018

e-mail: INVeselova@mail.ru

³ ORCID: 0000-0003-3356-06

WoS Researcher ID: L-8565-2018

e-mail: kolol@mail.ru

***Novocherkassk reclamation engineering Institute University of Agriculture Don State «NIMI»
Pushkinskaya st., 111, Novocherkassk, Rostov region, Russia 346428*

² ORCID: 0000-0003-2022-7264

WoS Researcher ID: L-9605-2018

e-mail: domrina@yandex.ru

⁵ ORCID: 0000-0002-4928-4329

WoS Researcher ID: L-9557-2018

e-mail: BVA1960@yandex.ru

**** Platov South-Russian State Polytechnic University «NPI»
Prosveshcheniya St., 132, Novocherkassk, Rostov region, Russia 346428*

⁴ ORCID: 0000-0001-9151-395X

WoS Researcher ID: R-9360-2016

e-mail: bouzalo@mail.ru

Abstract – The paper presents the results of hydraulic studies of the lattice resistance transparency coefficient on the kinematic structure of the flow transformed by this resistance, designed to reduce sprayed water losses over the spray ponds.

Keywords: spray ponds, hydraulic resistance, kinematic flow structure, local speed.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.316

**АНАЛИЗ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРОТЕКАНИЯ
УСТОЙЧИВОГО ФЕРРОРЕЗОНАНСНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПЯХ
24 КВ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС**

© 2018 С.А. Баран, В.В. Нечитайлов, В.В. Краснокутский

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

Сеть генераторного напряжения крупных энергоблоков эксплуатируются с изолированной нейтралью, и однофазное замыкание на землю в данных сетях не является коротким. Чаще всего защита от замыканий на землю действует на сигнал, но в ряде случаев происходит отключение цепи защитами. Анализ причин отключений энергоблоков действием защиты от замыкания на землю показал, что часть из них была ложной и произошла в результате появления в цепи устойчивых феррорезонансных процессов. Протекание феррорезонансных процессов возможно при определенном соотношении параметров электрической цепи. В работе рассматриваются граничные значения суммарной индуктивности и емкости цепи, при которых в цепи может возникнуть устойчивый феррорезонансный процесс, рассчитываются параметры схемы замещения энергоблока АЭС, рассматриваются осциллограммы процессов при однофазном замыкании на землю, производится выбор резистора для эффективного заземления нейтрали.

Ключевые слова: феррорезонанс, генераторное напряжение, изолированная нейтраль, трансформатор напряжения, перенапряжение.

Поступила в редакцию: 11.10.2018

В сети генераторного напряжения АЭС наблюдался ряд аварийных отключений энергоблоков от сети действием защиты от замыкания на землю. Согласно проведенным расследованиям аварийных ситуаций часть из них оказалась ложной. Часто причиной ложных аварий является появление в сети феррорезонансных явлений, вызванных коммутацией нагрузки, кратковременным появлением дугового замыкания, а также рядом других причин [1].

Рассмотрим схему типового энергоблока АЭС на примере блока № 2 Ростовской АЭС.

Турбогенератор с водородно-водяным охлаждением ТВВ-1000 связан через два трансформатора ТЦ-630000/500 с ОРУ 500 кВ, а также с РУ 6 кВ главного корпуса блока 2 через два трансформатора с расщепленными обмотками типа ТРДНС 63000/24/6,3.

Питание трансформаторов осуществляется по экранированному комплектному токопроводу с непрерывной оболочкой и принудительным воздушным охлаждением ТЭКНП.

Важной особенностью системы питания энергоблока №2 Ростовской АЭС на генераторном напряжении 24 кВ является наличие 7 трехфазных групп трансформаторов напряжения.

Две трехфазные группы трансформаторов напряжения типа ТJS7 с напряжением

обмоток $\frac{24000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}$ В, соединение обмоток Y/Y/ Δ в составе генераторного выключателя НЕС-8. Установлены между обмоткой НН блочных трансформаторов и генераторным выключателем.

Две трехфазные группы трансформаторов напряжения типа ТЈС7 с напряжением обмоток $\frac{24000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}$ В, соединение обмоток Y/Y/Y в составе генераторного выключателя НЕС-8. Установлены со стороны линейных вводов генератора.

Три трехфазные группы трансформаторов напряжения типа ЗНОЛ.06-24УЗ с напряжением обмоток $\frac{24000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}$ В, соединение обмоток Y/Y/ Δ встроены в генераторный токопровод 24 КВ. Установлены со стороны линейных выводов генератора.

Нейтраль генератора со стороны нулевых выводов заземлена через один трансформатор напряжения типа ЗНОЛ.06-24УЗ напряжением $\frac{24000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/100$ В.

Для наступления феррорезонанса в данной сети должно выполняться условие:

$$\frac{1}{\omega^2 \cdot L_{xx}} \leq C_{э\kappa\beta} \leq \frac{1}{\omega^2 \cdot L_s} \quad (1)$$

С учетом увеличения индуктивности за счет неполного насыщения в 1,3 раза формула расчета индуктивности насыщения записывается как:

$$L_s = 1,3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \omega^2 \cdot \frac{d^2}{a} \cdot K_a \cdot \mu_0 \quad (2)$$

где ω – число витков первичной обмотки;

d – средний диаметр обмотки, м;

a – высота обмотки, м;

K_a – коэффициенты формы обмотки [2];

μ_0 – относительная магнитная проницаемость воздуха.

Трансформатор напряжения ЗНОЛ.06-24УЗ имеет следующие параметры обмоток:

число витков первичной обмотки – 21750;

внутренний диаметр первичной обмотки – 115 мм;

наружный диаметр первичной обмотки – 190 мм;

средняя высота обмотки – 96 мм

Коэффициент формы обмотки для трансформатора напряжения типа ЗНОЛ.06-24УЗ составляет $K_a=0,5815$, тогда

$$L_s = 1,3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 21750^2 \cdot \frac{115^2}{96} \cdot 0,5815 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 54,23 \text{ Гн}$$

Индуктивность холостого хода может быть определена по формуле:

$$L_{xx} = \frac{U_{i0}}{\omega \cdot I_{xx}} \quad (3)$$

где I_{xx} – ток холостого хода трансформатора;

$U_{нф}$ – номинальное рабочее фазное напряжение трансформатора.

Рассчитаем индуктивность холостого хода:

$$L_{xx} = \frac{13856}{314 \cdot 0,26} = 169,73 \text{ Гн}$$

Тогда граничные условия соответственно:

$$59,76 \text{ нФ} \leq C_{экв} \leq 153,076 \text{ нФ}$$

Эти граничные условия соответствуют сети с одним ТН.

Ввиду отсутствия данных и схожести общих конструктивных соображений, примем для оценочного расчета, индуктивность намагничивания и холостого хода ЗНОЛ.06-24УЗ и ТН С7 равными [3].

Тогда для семи ТН:

$$418,30 \text{ нФ} \leq C_{экв} \leq 1073,56 \text{ нФ}$$

При нахождении суммарной емкости сети, близкой к данным значениям, возможно возникновение устойчивых феррорезонансных явлений [4].

Источником питания в рассматриваемой сети является генератор. Индуктивность рассеяния L_p и активное сопротивление R_r источника питания определяются по номинальным параметрам. Согласно паспортным данным, номинальное активное сопротивление обмотки генератора составляет 0,0011 Ом. При дуговом замыкании по фазам источника протекают свободные составляющие токов зарядных контуров, которые имеют большую частоту (несколько килогерц), поэтому активное сопротивление источника следует увеличить в 2-2,5 раза. Для моделирования переходных процессов сети реактивное сопротивление генератора рассчитывалось исходя из сверхпереходного сопротивления, которое составляет 0,324 о.е.

Генератор моделировался посредством готовых блоков из библиотеки элементов программы АТР ЕМТР [5], для которых задавались активные сопротивления и индуктивности обмоток. Также для рассматриваемых процессов большую роль играют паразитные емкости на землю. Согласно формуле, приведенной в [6], емкость для фазы обмотки статора генератора может быть рассчитана:

$$C_z = \frac{k \cdot S}{1,2 \cdot \sqrt{U_{ном}} \cdot (1 + 0,08 \cdot U_{ном})}, \quad (4)$$

где $k = 0,0187$ при 15-20°C;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение;

S – номинальная мощность.

$$C_z = \frac{0,0187 \cdot 1100}{1,2 \cdot \sqrt{24} \cdot (1 + 0,08 \cdot 24)} = 2,04 \text{ мкФ}$$

Индуктивность обмотки трансформатора определялась следующим образом:

$$L_{обм} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.} \cdot \omega} \quad (5)$$

где U_k – напряжение короткого замыкания;

$U_{ном.обм.}$ – номинальное напряжение обмотки трансформатора;

$\omega = 100\pi$;

$S_{ном.обм.}$ – номинальная мощность обмотки трансформатора.

$$R_{обм} = \Delta P_k \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}^2}, \quad (6)$$

где P_k – потери короткого замыкания трансформатора.

Для блочного трансформатора ТЦ-630000/500:

$$U_{кв} = U_{кн} = U_k/2$$

$$U_{кв} = U_{кн} = \frac{14}{2} = 7\%$$

$$S_{ном.обм.} = S_{ном}/3$$

$$S_{ном.обм.} = \frac{630}{3} = 210 \text{ MVA}$$

Тогда индуктивность и активное сопротивление обмоток:

$$L_{обмв} = \frac{7}{100} \cdot \frac{303,1^2}{210 \cdot 314} = 0,0974 \text{ Гн}$$

$$L_{обмн} = \frac{7}{100} \cdot \frac{24^2}{210 \cdot 314} = 6,115 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

$$R_{обмв} = 0,605 \cdot \frac{303,1^2}{210^2} = 1,26 \text{ Ом},$$

$$R_{обмн} = 0,605 \cdot \frac{24^2}{210^2} = 0,0079 \text{ Ом},$$

Для трансформатора собственных нужд ТРДНС 63000/24/6,3

$$L_{обмв} = \frac{0,01(U_{квв} - 0,25U_{кнн})}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.}} \quad (7)$$

$$L_{обмн} = \frac{0,05U_{кнн}}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.}} \quad (8)$$

Активное сопротивление обмотки трансформатора рассчитывается по формуле (3).

$$L_{обмв} = \frac{0,01(U_{квв} - 0,25U_{кнн})}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.}}$$

$$L_{обмн} = \frac{0,05U_{кнн}}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.}}$$

Для блочного трансформатора ТЦ-630000/500:

$$S_{ном.обм.} = S_{ном}/3$$

$$S_{ном.обм.} = \frac{63}{3} = 21 \text{ MVA}$$

Тогда индуктивность и активное сопротивление обмоток:

$$L_{обмв} = \frac{0,01(12,7 - 0,25 \cdot 40)}{100} \cdot \frac{35^2}{21 \cdot 314} = 1,18 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$$

$$L_{обмн} = \frac{0,05 \cdot 40}{100} \cdot \frac{6,3^2}{21 \cdot 314} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$R_{обмв} = 0,605 \cdot \frac{35^2}{21^2} = 0,058 \text{ Ом},$$

$$R_{обмн} = 0,605 \cdot \frac{6,3^2}{21^2} = 0,0011 \text{ Ом},$$

Для расчета входной емкости трансформаторов были взяты формулы:

$$C_{вх} = \frac{C_2 \cdot C_{12}}{C_2 + C_{12}}$$

$$C_1 = 0,07 \frac{S_{ном}^{0,35}}{U_{г}^{0,175}}$$

$$C_2 = 1,3 \cdot \frac{\sqrt{S}}{U_{н} + 13 + 0,2 \cdot \sqrt{S}}$$

$$C_{12} = \frac{\sqrt{S}}{U_{г}}$$

Для блочного трансформатора ТЦ-630000/500:

$$C_1 = 0,07 \frac{630^{0,35}}{535^{0,175}} = 0,223 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 1,3 \frac{\sqrt{630}}{24 + 13 + 0,2 \sqrt{630}} = 0,776 \text{ мкФ}$$

$$C_{12} = \frac{\sqrt{630}}{535} = 0,047 \text{ мкФ}$$

$$C_{вх} = \frac{0,776 \cdot 0,047}{0,776 + 0,047} = 0,266 \text{ мкФ}$$

Для трансформатора ТРДНС-63000/35:

$$C_1 = 0,07 \frac{63^{0,35}}{35^{0,175}} = 0,16 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 1,3 \frac{\sqrt{63}}{6,3 + 13 + 0,2\sqrt{63}} = 0,494 \text{ мкФ}$$

$$C_{12} = \frac{\sqrt{63}}{35} = 0,226 \text{ мкФ}$$

$$C_{\text{ex}} = \frac{0,494 \cdot 0,226}{0,494 + 0,226} = 0,315 \text{ мкФ}$$

Параметры токопровода рассчитаны при помощи программы АТР ЕМТР. Для расчета заданы реальные параметры материалов и геометрия токопровода. В результате были получены параметры для каждого участка токопровода сети генераторного напряжения.

Генераторный выключатель в схеме замещения учитывался емкостью встроенных в него конденсаторов (рис. 1), принятой равной 132 нФ со стороны генератора и 260 нФ со стороны силового трансформатора.

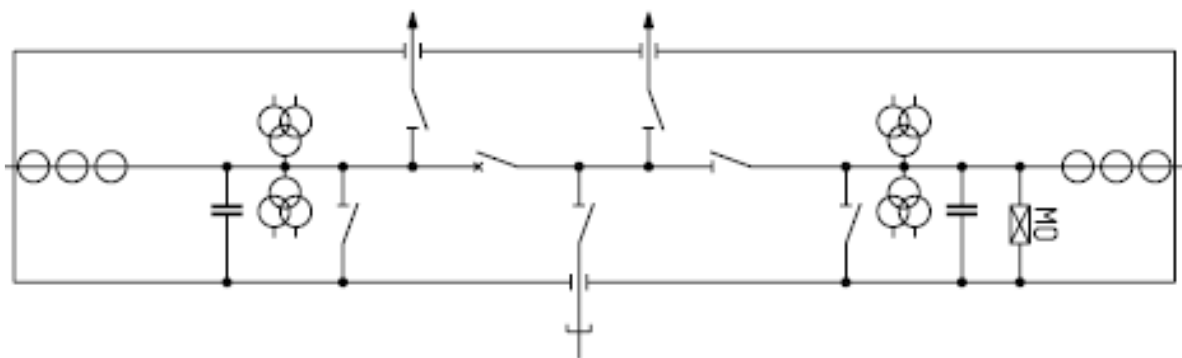


Рисунок 1 – Схема устройства генераторного выключателя НЕС 8
[Scheme of НЕС 8 generator switcher]

При рассмотрении аварийных режимов требуется учитывать влияния магнитных систем трансформаторов напряжения. В ходе сбора данных были получены данные от производителей о геометрии сердечника, числе витков обмоток, общей конструкции и магнитной характеристике трансформатора. Большое активное сопротивление первичной обмотки ТН является характерной особенностью измерительных трансформаторов напряжения [7-8]. Согласно полученным данным активное сопротивление первичной обмотки было принято для ЗНОЛ.06-24УЗ3 – 3500 Ом, для ТJS7 – 3000 Ом.

Нелинейная индуктивность в цепи намагничивания учитывается зависимостью напряжения от тока первичной обмотки ТН типа ТJS7 и ЗНОЛ.06-24УЗ, представленных в таблицах 1 и 2 и на рисунках 2 и 3.

Одним из важных факторов в процессе развития и протекания феррорезонансных явлений является вторичная нагрузка ТН. В связи с этим нагрузка задавалась в виде активно-индуктивной нагрузки согласно назначению ТН. Мощность нагрузки задавалась исходя из полной номинальной мощности [9].

Таблица 1 – Кривая намагничивания трансформатора напряжения ТЈС7 [Magnetization curve of voltage transformer TJC7]

I, мА	0,028	0,056	0,084	0,14	0,2	0,28	0,42	0,56	0,84	1,12
U, В	162	325	553	1040	1463	2454	3169	5364	9103	12842
I, мА	1,41	1,95	2,8	3,36	4,2	5,61	7,02	8,41	11,23	
U, В	17978	22189	26155	27309	28041	29244	29910	30138	30866	

Таблица 2 – Кривая намагничивания трансформатора напряжения ЗНОЛ.06-24УЗ [Magnetization curve of voltage transformer ZNOL.06-24UZ]

I, мА	0,95	1,23	1,26	1,47	1,74	2,08	2,4	2,66	3,04	3,74	6,79	24,74	129,4	184
U, В	11,4	57	60	70	80	90	95	100	105	110	120	130	140	144

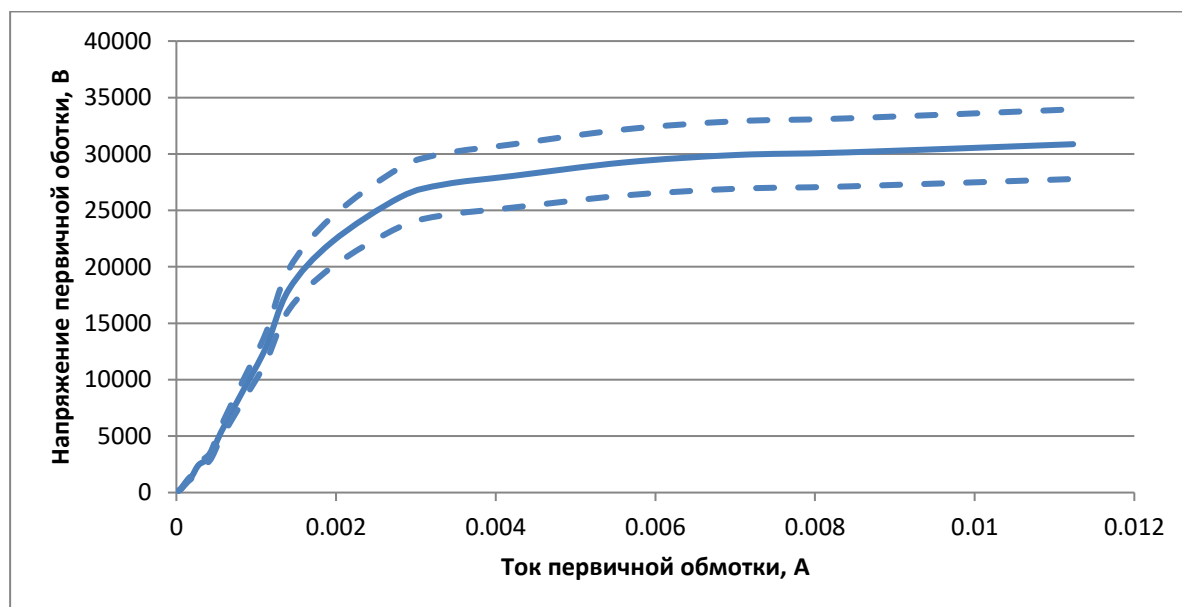


Рисунок 2 – Номинальная кривая намагничивания (сплошная линия) и кривые намагничивания с разбросом (пунктирные линии) трансформатора напряжения ТЈС7 [Nominal magnetization curve and magnetization curve with a spread of voltage transformer TJC7]

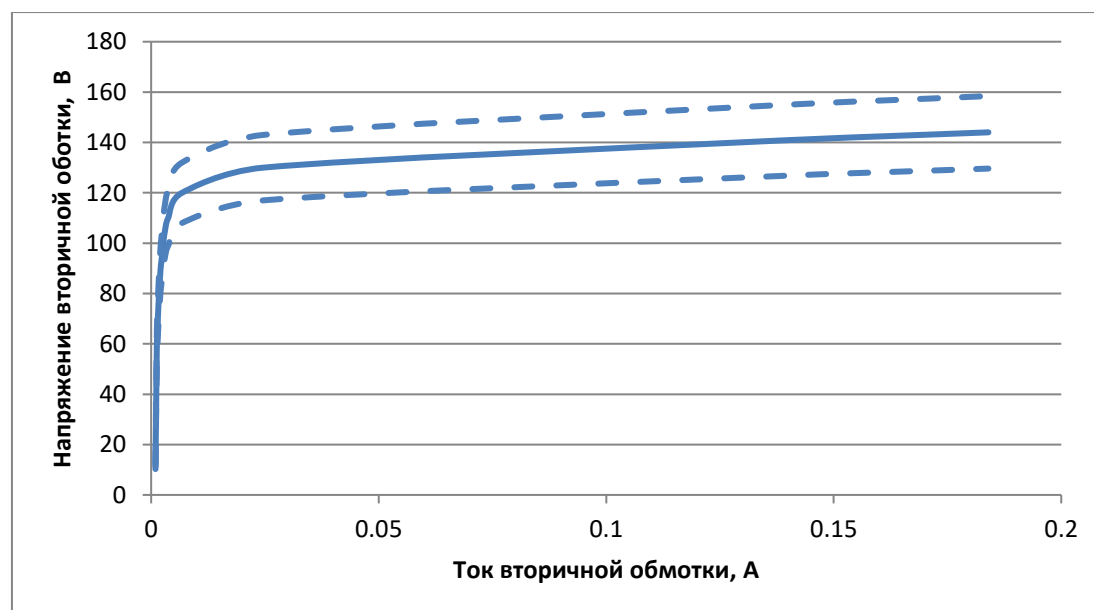


Рисунок 3 – Номинальная кривая намагничивания (сплошная линия) и кривые намагничивания с разбросом (пунктирные линии) трансформатора напряжения ЗНОЛ.06-24УЗ [Nominal magnetization curve and magnetization curve with a spread of voltage transformer ZNOL.06-24UZ]

За счет неточного исполнения геометрических размеров сердечника и несоответствия стали магнитопровода номинальным характеристикам намагничивания заводская кривая намагничивания может иметь некоторый разброс [10], поэтому для каждого трансформатора напряжения задается 10 % разброс кривой намагничивания.

После моделирования сети в программной среде АТР ЕМРТ были получены осциллограммы переходных процессов при однофазных замыканиях на землю. Осциллограммы представлены на рисунке 4.

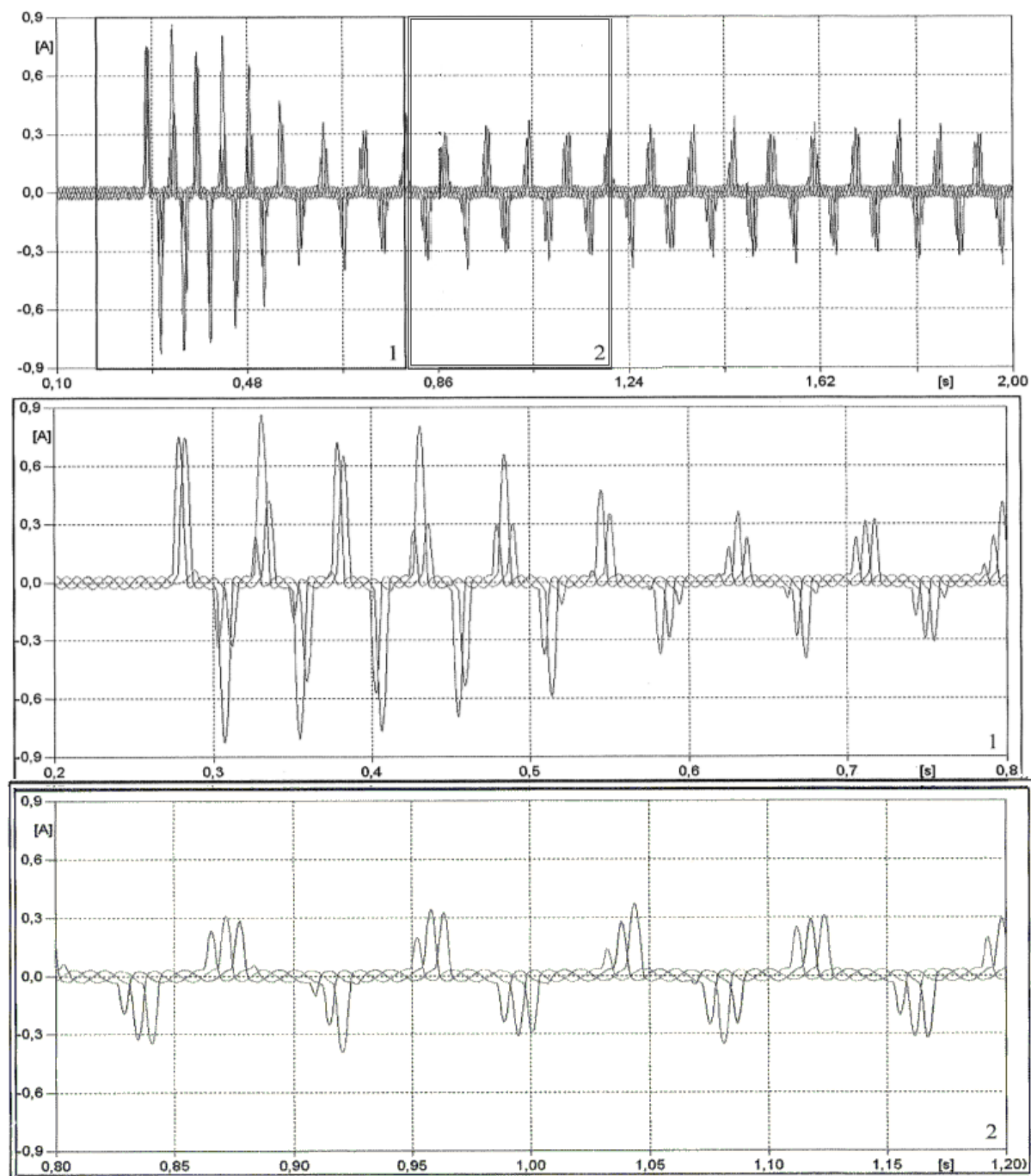


Рисунок 4 – Осциллограммы фазных токов в обмотках ТН при возникновении ОЗЗ в сети генераторного напряжения с изолированной нейтралью [Oscillograms of phase currents in voltage transformer winding for single-phase line-to-ground fault in generator voltage network with isolated neutral]

После прохождения через ноль тока промышленной частоты замыкание ликвидировалось, и в обмотке возник устойчивый феррорезонансный процесс с амплитудой броска тока 0,3 А.

В качестве меры ликвидации опасных последствий феррорезонансного процесса было принято заземление нейтрали сети через активное сопротивление [11-12]. Величина сопротивления была подобрана опытным путем согласно таблице 3 и рисунку 5.

Таблица 3 – Зависимость уровня перенапряжения при однофазных замыканиях от номинального сопротивления резистора в нейтрали [The dependence of the level of overvoltage in single-phase circuits of the nominal resistance of the resistor in the neutral]

Сопротивление резистора, Ом	Величина тока ОЗЗ, А	Уровень перенапряжений	Степень наличия феррорезонанса
10000	24,52	2,79	устойчивый
7500	24,56	2,74	устойчивый
5000	24,64	2,68	неустойчивый
2500	25,11	2,32	отсутствует
1000	28,14	2,31	отсутствует

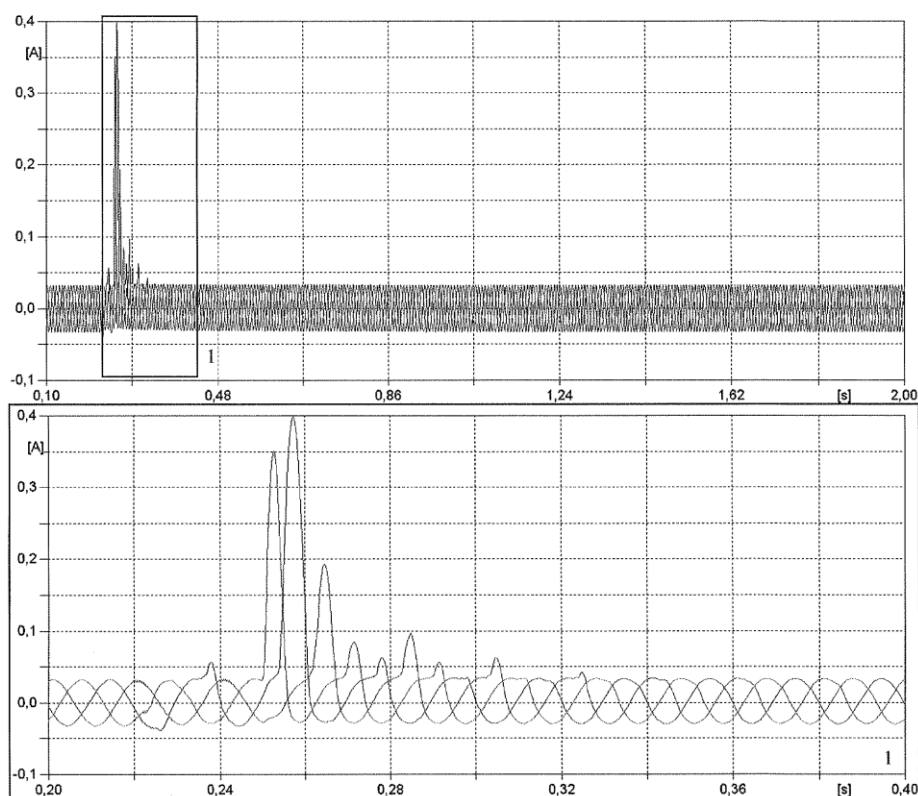


Рисунок 5 – Осциллограммы фазных токов в обмотках ТН при возникновении ОЗЗ в сети генераторного напряжения с резистивным заземлением нейтрали через сопротивление 2500 Ом [Oscillograms of phase currents in voltage transformer winding for single-phase line-to-ground fault in generator voltage network with grounded through 2500 Ohm resistor neutral]

Исходя из приведенных осциллограмм и табличных данных можно рекомендовать для устранения феррорезонансных процессов заземлить нейтраль через резистор 2500 Ом. Возникновение феррорезонанса в цепях 24 кВ генераторного напряжения энергоблоков АЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баран, С.А. Возникновение феррорезонанса в цепях 24 кВ генераторного напряжения энергоблоков АЭС [Текст] / С.А. Баран, В.В. Нечитайлов, В.В. Краснокутский // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 2. – С. 56-65.
2. Калантаров, П.Л. Расчет индуктивностей [Текст] / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
3. Алексеев, В.Г. Феррорезонанс в сетях 6-10 кВ [Текст] / В.Г. Алексеев, М.Х. Зихерман // Электрические станции. – 1978. – № 1. – С. 63-65.
4. Эль-Хатиб, А.И. Феррорезонансные процессы в трансформаторах напряжения систем электроснабжения и способы их предотвращения: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] – А.Е. Эль-Хатиб. – Донецк, 1992. – 28 с.
5. Селиванов, В.Н. Использование программы расчета электромагнитных процессов АТР-ЕМРТ в учебном процессе [Текст] / В.Н. Селиванов // Вестник МГТУ. – 2009. – № 1. – С. 107-112.
6. Иваницкий, В.А. Моделирование перенапряжений в сетях электроснабжения с изолированной нейтралью [Текст] / В.А. Иваницкий, М.Е. Тюленев – Москва: НТП «Виращ-центр». – 2006. – 79 с.
7. Петров, О.А. Смещение нейтрали при пофазных отключениях и обрывах фаз в компенсированной сети [Текст] / О.А. Петров // Электрические станции. – 1972. – № 9. – С. 57-61.
8. Халилов, Ф.Х. Еще раз о дуговых перенапряжениях в распределительных сетях 6-35 кВ [Текст] / Ф.Х. Халилов // Промышленная энергетика. – 1985. – № 11. – С. 37-41.
9. Лихачев, Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов [Текст] / Ф.А. Лихачев. – Москва: Энергия, 1971 – 152 с.
10. Халилов, Ф.Х. Перенапряжения в сети 6-35 кВ / Ф.Х. Халилов и др. – Москва: Энергоатомиздат. – 1989. – 192 с.
11. Сирота, И.М. Защита от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения блоков генератор-трансформатор, охватывающая нейтраль генератора [Текст] / И.М. Сирота, А.Е. Богаченко. – Киев : Изд-во ИЭД АН УССР, 1972. – 21с.
12. Халилов, Ф.Х. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений [Текст] / Ф.Х. Халилов и др. – Санкт-Петербург : Энергоатомиздат. – 2002. – 216 с.

REFERENCES

- [1] Baran S.A., Nechitajlov V.V., Krasnokutskij V.V Vozniknovenie ferrozonansa v cepyax 24 kV generatornogo napryazheniya e`nergoblokov AE'S [Ferroerezonans Emergency in the 24 kW Generator Voltage Circuits of NPP Units] [Global Nuclear Safety]. 2018. № 2 (27). P. 56-65 (in Russian).
- [2] Kalantarov P.L., Cejtin L.A. Raschet induktivnostej [Calculation of Inductances]. Leningrad. Pub. Energoatomizdat [Electroatomizdat]. 1986. 488 p. (in Russian).
- [3] Alekseev V.G., Ziherman M.H. Ferrozonans v setyax 6-10 kV [Ferroresonance in 6-10 kW Electric Stations], 1978. №1. P. 63-65. (in Russian).
- [4] Jel-Hatib A.I. Ferrozonansny`e processy` v transformatorax napryazheniya sistem e`lektrosnabzheniya i sposoby` ix predotvrashheniya [Ferroresonance Processes in Voltage Transformers of Power Supply Systems and Ways to Prevent Them]. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnikeskix nauk [Theses of PhD in Engineering]. Donetsk. Pub. Donskoj politehnicheskij institute [Don Polytechnic Institute]. 1992. 28 p. (in Russian).
- [5] Selivanov V.N. Ispol`zovanie programmy` rascheta e`lektromagnitny`x processov ATR-EMPT v uchebnom processe [Using the Program for Calculating the Electromagnetic Processes ATR-EMPT in the Education Process] [Herald of the Bauman MSTU]. 2009. №.1. P. 107-112.
- [6] Ivanickiy V.A. Modelirovanie perenapryazhenij v setyax e`lektrosnabzheniya s izolirovannoj nejtral`yu [Modeling of Overvoltages in Power Supply Systems with Isolated Neutral] [Moscow: "Virage Center" Scientific Technical Enterprise]. 1986. 488 p.
- [7] Petrov O.A. Smeshhenie nejtrali pri pofazny`x otklyuchenyax i obry`vax faz v kompensirovannoj seti [The Neutral Bias for Phase-Out Tripping and Phase Failure in Compensated Network]. Elektricheskie stancii [Electric Stations]. 1972. № 9. P. 57-61. (in Russian).
- [8] Halilov F.H. Eshhe raz o dugovy`x perenapryazheniyax v raspredelitel`ny`x setyax 6-35 kV [Once Again about Arc Overvoltages in Distribution Networks 6-35 kW.]. Promyshlennaja energetika [Industrial Power Engineering]. 1985. № 11. P. 37-41. (in Russian).
- [9] Lihachev F.A. Zamy`kaniya na zemlyu v setyax s izolirovannoj nejtral`yu i s kompensaciej

- emkostny`x tokov [Ground Faults in Networks with Isolated Neutral and with Compensation of Capacitive Currents]. M. Pub. Energija [Energy]. 1971. 152 p. (in Russian).
- [10] Gindullina F.A., Goldshtejn V.G., Duzolzon A.A., Halilov F.H. Perenapryazheniya v seti 6-35 kV [Overvoltages in 6-35 kW Network]. M. Pub. Energoatomizdat [Electroatomizdat]. 1989. 192 p. (in Russian).
- [11] Sirota I.M., Bogachenko A.E. Zashhita ot zamy`kanij na zemlyu na storone generatornogo napryazheniya blokov generator-transformator, oxvaty`vayushhaya nejtral` generatora [Earth-Fault Protection on the Generator Voltage Side of Generator-Transformer Blocks Covering the Generator Neutral]. Kiev. Pub. IED AN USSR [IED Academy of Sciences of the Ukrainian SSR]. 1972. 21 p. (in Russian).
- [12] Halilov F.H., Evdokunin G.A., Poljakov V.S. etc. Zashhita setej 6-35 kV ot perenapryazhenij [Protection of 6-35 kW Overvoltage Networks]. Sankt-Peterburg. Pub. Energoatomizdat [Electroatomizdat]. 2002. (in Russian).

Analysis of Boundary Conditions of Sustainable Ferrosontic Process Flow in 24 KW Chains of Generator Voltage of NPP Power Units

S.A. Baran, V.V. Nechitajlov, V.V. Krasnokutskij

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

¹ ORCID: 0000-0002-3232-4072

WoS Researcher ID: I-7933-2018

e-mail: bastr@rambler.ru

² ORCID: 0000-0002-6795-2458

WoS Researcher ID: J-3646-2018

e-mail: VITikafAE@mephi.ru

³ ORCID: 0000-0002-4498-2996

WoS Researcher ID: I-4045-2018

e-mail: leronil@mail.ru

Abstract – The network generator voltage is operated using with isolated neutral, and line-to-ground fault is not short circuit. Ground-fault protection more often works on signal, but in some cases shutdown network protection occurs. Analysis of the causes of power unit shutdowns by the action of ground-fault protection showed that some of them were false and occurred as a result of the appearance of stable ferroresonance processes in the circuit. Passing of ferroresonance processes is possible at a certain ratio of the parameters of the electrical circuit. The paper deals with the boundary values of the total inductance and capacitance of the circuit, in which a stable ferroresonance process can occur in the circuit, the parameters of the equivalent circuit of the NPP power unit are calculated, the oscillograms of processes in a single-phase ground fault are considered, the resistor is selected for effective grounding of the neutral.

Keywords: ferroresonance, generator voltage, isolated neutral, voltage transformer, overvoltage.

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

УДК 539.17.01

**ОБ ИЗОТОПНОМ СОСТАВЕ ВОДОРОДА И ЕГО
ТРАНСФОРМАЦИИ В ПОЛЯХ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ В
АКТИВНЫХ ЗОНАХ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР**

© 2018 П.А. Пономаренко, М.А. Фролова, И.Г. Тананаев, Ю.С. Чичерина

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Статья посвящена рассмотрению качественного и количественного состава образующихся радионуклидов при облучении ядер водорода, входящего в состав воды первого контура водо-водяного энергетического реактора тепловыми нейтронами.

Ключевые слова: атомная энергетика, ядерный реактор, анализ активации, теплоноситель, активная зона, первый контур, тритий, число ядер, тепловые нейтроны, ВВЭР.

Поступила в редакцию: 29.08.2018

Введение

Вода, как самый мощный источник водорода на Земле, широко и в больших количествах распространена в природе [5, 7, 8]:

- 71% поверхности Земли покрыто водой;
- биосфера Земли содержит 1130 км^3 воды;
- в атмосфере Земли постоянно находятся 12700 км^3 воды;
- в теле стандартного человека (масса 70 кг, рост 170 см) вода составляет 65-70 % его массы.

Кроме этого чистый газ водород находится в атмосфере Земли в количестве $3,5 \cdot 10^{-6} \%$ от массы атмосферы, что составляет $1,75 \cdot 10^8 \text{ т}$.

Водород имеет высокое эффективное сечение рассеивания для нейтронов реакторного спектра, равное $\sigma_S^H = 38 \text{ барн}$ ($\sigma_S^C = 4,8 \text{ барн}$, $\sigma_S^{\text{тяж.воды}} = 10,5 \text{ барн}$). Поэтому это сечение является основополагающим и для $\sigma_S^{H_2O}$. Сечение рассеяния для таких нейтронов у обычной воды составляет $\sigma_S^{H_2O} = 46 \text{ барн}$.

Вот почему обычная вода, как среда, содержащая большое количество водорода, широко распространённая в природе, легкодоступна, и хорошо изучена, является хорошим замедлителем нейтронов и широко используется в реакторах ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200.

Замедляющая способность, как основной параметр, характеризующий замедлитель, оценивается выражением:

$$\sigma_S^{\text{тяж.воды}} \cdot N_{\text{тяж.воды}} \cdot \xi_{\text{тяж.воды}}$$

где N – число ядер (молекул) в 1 см^3 ;

ξ – средний логарифмический декремент потери энергии нейтрона при одном столкновении с атомным ядром среды (справочная величина):

$$\xi = \ln \frac{E_{\text{нейтр.}}^{\text{до столкн.}}}{E_{\text{нейтр.}}^{\text{после столкн.}}} [H],$$

где E – энергия.

Замедляющая способность воды самая высокая среди всех применяемых замедлителей и составляет $1,46 \text{ см}^{-1}$. Для сравнения замедляющая способность углерода составляет $0,061 \text{ см}^{-1}$, а тяжелой воды – $0,2 \text{ см}^{-1}$.

Обычная вода является и хорошим теплоносителем. Её теплоёмкость при обычных условиях (давлении 760 мм рт.ст. и температуре 20°C) составляет $C_p^{\text{H}_2\text{O}} = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{градус}}$ [10]. Для сравнения: $C_p^{\text{H/стали}} = 0,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{градус}}$; $C_p^{\text{Al}} = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{градус}}$; $C_p^{\text{Zr}} = 0,29 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{градус}}$; $C_p^{\text{Hg}} = 0,14 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{градус}}$; $C_p^{\text{Pb}} = 0,125 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{градус}}$.

Именно поэтому обычная вода используется и в качестве теплоносителя в первом контуре [2], и является постоянной составляющей активной зоны исследовательских водо-водяных и энергетических реакторов типа ВВЭР.

Следовательно, вода постоянно подвергается воздействию нейтронов тепловой энергии ($0,001 - 0,5 \text{ эВ}$ [6]) высокой интенсивности (большой плотности потока нейтронов ($10^{13} - 10^{14}$) $\frac{\text{H}}{\text{см}^2\cdot\text{с}}$), в результате которого могут генерироваться радионуклиды – загрязнители атмосферы, гидросферы, а также радионуклиды природных химических элементов, важных составляющих представителей объектов биосферы и, в частности, человека.

Данная статья и посвящена рассмотрению качественного и количественного состава образующихся радионуклидов при облучении ядер водорода, входящего в состав воды, тепловыми нейтронами и оценке скорости образования радионуклида водорода трития, в принципе, опасного для объектов биосферы.

Постановка задачи

Природный водород, входящий в состав воды, состоит из двух стабильных изотопов водорода: 99,985% ^1_1H , ядро которого состоит из одного протона, и 0,015% дейтерия (^2_1H или D), ядро которого состоит из одного протона и одного нейтрона [4]. Очень редко в природе встречается третий изотоп водорода тритий (^3_1H или T), ядро которого состоит из одного протона и двух нейтронов. Тритий радиоактивен с периодом полураспада $T_{0,5}=12,262$ года [6], является чистым бета излучателем, максимальная энергия бета частиц составляет 0,018 МэВ, средняя – 0,006 МэВ.

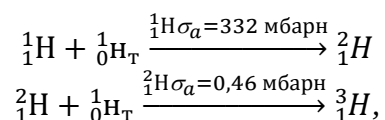
Водород, а, следовательно, его изотоп тритий в составе природной пропорции входит в состав всех биотканей. При нахождении трития в составе биоткани его бета частицы, как продукт распада, облучают соседние нормально функционирующие биомолекулы и путем ионизации разрушает их нормальные связи. В результате в клетке, состоящей из биомолекул, наступает поломка, и клетка перестает нормально функционировать. Создаются условия для зарождения и развития болезнетворных клеток.

Эффективная энергия бета частиц трития согласно Международным Рекомендациям по предельно допустимым дозам внутреннего облучения (1960г.) составляет 0,01 МэВ на распад, которая представляет собой величину полной энергии, ушедшей на разрушение связей в нормальных молекулах биоткани [5].

В условиях Земли на 10^{18} ядер водорода до испытания ядерного и термоядерного оружия приходилось примерно одно ядро трития (это была природная пропорция), а

масса всего трития в условиях Земли составляла примерно 3 кг, его активность была около 30 МКи. 93% этого трития находились в гидросфере, 7% – в воздухе [1]. Но проводившиеся в 1954-1958 гг. и в 1961-1962 гг. испытания ядерного и термоядерного оружия (это были пики испытаний) увеличили содержание трития более чем в 100 раз, так взрыв одного ядерного боеприпаса мощностью в 1 Мт тритила увеличивал земную природную активность трития на 7,03 кКи, а взрыв одного термоядерного боеприпаса в 1 Мт – на 20 МКи [3].

Физические модели, дающие качественную картину трансформации ядер водорода, взаимодействия протия, дейтерия и трития с тепловыми нейтронами, имеют вид:



где σ_a – эффективное микроскопическое поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов соответствующим ядром, барн;

${}^1_0\text{n}_T$ – обозначение теплового нейтрона.

Математические модели, дающие количественную картину трансформации ядер, составленные по приведенным физическим моделям, имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dN_{H-1}}{dt} = -\sigma_a^{H-1} \cdot N_{H-1} \cdot \varphi_{\text{н.т}} & (1) \\ \frac{dN_{H-2}}{dt} = -\sigma_a^{H-1} \cdot N_{H-1} \cdot \varphi_{\text{н.т}} - \sigma_a^{H-2} \cdot N_{H-2} \cdot \varphi_{\text{н.т}} & (2) \\ \frac{dN_{H-3}}{dt} = -\sigma_a^{H-2} \cdot N_{H-2} \cdot \varphi_{\text{н.т}} - \sigma_a^{H-3} \cdot N_{H-3} \cdot \varphi_{\text{н.т}} - N_{H-3} \cdot \lambda_{H-3} & (3) \end{cases}$$

где N_{H-1} , N_{H-2} , N_{H-3} – соответственно, содержание (концентрация) ядер протия, дейтерия и трития в 1 см^3 рассматриваемого вещества (чистый водород, вода, метан, биоткань и др.);

σ_a^{H-1} , σ_a^{H-2} , σ_a^{H-3} – соответственно, эффективные микроскопические сечения поглощения тепловых нейтронов ядрами протия, дейтерия и трития, см^2 ;

$\varphi_{\text{н.т}}$ – плотность потока тепловых нейтронов, $\frac{\text{н}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$;

$\frac{dN_{H-1}}{dt}$, $\frac{dN_{H-2}}{dt}$, $\frac{dN_{H-3}}{dt}$ – соответственно, скорости изменения концентрации ядер протия, дейтерия и трития в нейтронном поле, $\frac{\text{ядер}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$;

λ_{H-3} – постоянная распада трития, равная $1,79 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}$.

Анализ моделей

Различие в микроскопических сечениях поглощения протия и дейтерия составляет около трех порядков, сечение поглощения ядром трития теплового нейтрона в доступных авторам справочниках отсутствует.

Скорость убыли концентрации протия пропорционально произведению:

$$N_{H-1} \cdot \varphi_{\text{н.т}}$$

$\varphi_{\text{н.т}}$ изменяется, как правило, в пределах $10^{13} - 10^{14} \frac{\text{н}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$. N_{H-1} для воды составляет (используем формулу Авогадро):

$$N_{H-1}^{H_2O} = X \frac{N_a}{M} \cdot \rho^{H_2O} = 2 \cdot 0,9985 \cdot \frac{N_a}{18} \cdot 1 = 6,7 \cdot 10^{22} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3}$$

где N_a – постоянная Авогадро;
 M – молярная масса;
 ρ^{H_2O} – плотность воды.

В принципе число ядер протия в объеме воды $N_{H-1}^{H_2O}$ зависит от плотности воды, которая в энергетических реакторах ВВЭР изменяется от $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ (для холодного реактора) до $0,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ (для работающего на мощности реактора) [10]. После подстановки всех величин в формулу (1) скорость изменения концентрации ядер протия в I контуре ВВЭР будет иметь порядок $10^{12} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$, а это согласно (2) скорость генерации дейтерия. Изменение же концентраций ядер протия в воде во времени в нейтронном поле тепловых нейтронов при плотности потока $\phi_{H.T}$ будет иметь вид:

$$N_{H-1}^{H_2O}(t) = N_{H-1_0}^{H_2O} \cdot e^{-\sigma_a^{H-1} \cdot \phi_{H.T} \cdot t_{\text{обл}}}$$

Анализ формулы (2) показывает, что, $\sigma_a^{H-1} > \sigma_a^{H-2}$ примерно на три порядка, а начальные концентрации ядер ^1_1H и ^2_1H отличаются на четыре порядка, можно считать, что скорость генерации дейтерия больше скорости его убыли примерно на семь порядков. Действительно скорость генерации Д составляет $1,11 \cdot 10^{12} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$, скорость убыли – $1,8 \cdot 10^5 \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$.

Следовательно, концентрация дейтерия в теплоносителе-замедлителе реактора типа ВВЭР только растет со скоростью примерно $1,11 \cdot 10^{12} \frac{\text{ядерД}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$. Скорость образования трития в I контуре ВВЭР растет со скоростью $2,5 \cdot 10^5 \frac{\text{ядерТ}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$. Скорость убыли трития, даже если допустить, что $\sigma_a^T = 100$ барн, что невероятно, составит примерно $5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$. Значит, количество трития в I контуре ВВЭР всё-таки тоже будет расти со скоростью порядка $3 \cdot 10^5 \frac{\text{ядер}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$.

Таким образом, все работающие ВВЭР России, в год могут генерировать вполне определенное количество ядер трития. Оценка этого количества должна производиться с учетом особенностей генерации трития в I контуре ВВЭР, которые заключаются в следующем: нейтронное поле есть только в активной зоне, во всех остальных элементах первого контура нейтронные поля по сравнению с нейтронными полями в активной зоне ($\phi_{AZ} = 10^{13} - 10^{14} \frac{\text{н}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$) практически отсутствуют, и генерацией трития в ней можно пренебречь. Следовательно, тритий согласно (3) генерируется только когда теплоноситель (H_2O) находится в активной зоне.

Обозначим время пребывания теплоносителя в активной зоне через t_{AZ} , а время одного цикла прохождения теплоносителя по контуру – t_k .

Тогда образовавшееся количество трития в результате первого цикла прохождения теплоносителя через активную зону в течение всей последующей работы реактора, будет только распадаться. Пополнение трития в теплоносителе будет производиться только за каждый очередной цикл активации дейтерия в активной зоне. С учетом рассмотренных особенностей накопления трития в I контуре ВВЭР за всё время работы с одной загрузкой ядерного топлива, выражение для активности этого трития приведено в [11] и имеет вид:

$$A_T = \frac{dN_{H-3}}{dt} \cdot (1 - e^{-\lambda_{H-3} t_k}) \cdot e^{-\lambda_{H-3} t_k} \cdot \left[\frac{1 - e^{-(n-1)\lambda_{H-3} t_k}}{1 - e^{-\lambda_{H-3} t_k}} \right] \frac{B_K}{\text{см}^3} \quad (4)$$

где A_T – активность образовавшегося трития в 1 см³ теплоносителя реактора типа ВВЭР за 10 месяцев работы на полной мощности, $\frac{\text{Бк}}{\text{см}^3}$;

$\frac{dN_{H-3}}{dt}$ – первое слагаемое уравнения (3) для соответствующей реакторной установки, $\frac{\text{яд}}{\text{см}^3 \text{с}}$;

$n = \frac{10 \text{ месяцев}}{t_k}$ – безразмерное время работы соответствующей реакторной установки на полной мощности.

Для оценки t_{A3} и t_k воспользуемся основными физико-техническими характеристиками реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 [12].

Тогда упомянутые времена будут иметь следующие значения:

- время прохождения теплоносителя через активную зону реактора типа ВВЭР-440 $t_{A3}^{\text{ВВЭР-440}} = 0,6 \text{ с}$; $t_k^{\text{ВВЭР-440}} = 18 \text{ с}$;
- время прохождения теплоносителя через активную зону реактора типа ВВЭР-1000 $t_{A3}^{\text{ВВЭР-1000}} = 0,7 \text{ с}$; $t_k^{\text{ВВЭР-1000}} = 14 \text{ с}$.

Подставив соответствующие величины в (4) для ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, получим удельную активность ($\frac{\text{Бк}}{\text{см}^3}$) теплоносителя, создаваемую тритием, для соответствующей реакторной установки за 10 месяцев её работы на полной мощности.

$$A_{\text{уд}}^{\text{ВВЭР-440}} = 467 \frac{\text{Бк}}{\text{см}^3}; A_{\text{уд}}^{\text{ВВЭР-1000}} = 1116 \frac{\text{Бк}}{\text{см}^3}$$

Общая активность воды I контура соответствующей реакторной установки, создаваемой тритием, составит:

$$A_{\text{уд}}^{\text{ВВЭР-440}} = 9,34 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

$$A_{\text{уд}}^{\text{ВВЭР-1000}} = 3,34 \cdot 10^{11} \text{ Бк.}$$

В выполненных оценках снижение активности трития за 10 месяцев работы реакторной установки не учитывалось, т.к. период полураспада трития составляет 12,3 года.

Таким образом, при соблюдении всех мер безопасности на АЭС при обращении с радиоактивной водой первого контура, создаваемой тритием, получаемым путем трансформации природного водорода в первом контуре в нейтронном поле реакторных установок типа ВВЭР, величина такой активности не представляет серьезной опасности для окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филипов, Е.М. Радиационная экология [Текст] / Е.М. Филипов. – Севастополь, 2003. – 241 с.
2. Тевлин, С.А. АЭС с реакторами ВВЭР-1000 [Текст] / С.А. Тевлин. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2008. – 358 с.
3. Козлов, В.Ф. Справочник по радиационной безопасности [Текст] / В.Ф. Козлов. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
4. Гордеев, И.В. Справочник по ядерно-физическим константам для расчета реакторов [Текст] / И.В. Гордеев, Д.А. Кардашов, А.В. Малышев. – Москва : Атомиздат, 1960. – 280 с.
5. Закутинский, Д.И. Справочник по токсикологии радиоактивных изотопов [Текст] / Д.И. Закутинский, Ю.Д. Парфенов, Л.Н. Селиванова. – Москва : Медгиз, 1962. – 116 с.
6. Справочник по ядерной физике [Текст] / Под редакцией Л.А. Арцимовича. – Москва : Гос. изд-

- во физ.-мат. лит-ры, 1963. – 632 с.
7. *Дерпгольц, В.Ф.* Мир воды [Текст] / В.Ф. Дерпгольц. – Ленинград : Недра, 1979. – 254 с.
 8. *Тельдеши, Ю.* Диагностика окружающей среды радиоаналитическими методами [Текст] / Ю. Тельдеши, Ю.В. Яковлев, Г.Н. Билимович. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 193 с.
 9. *Овчинников, Ф.Я.* Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов [Текст] / Ф.Я. Овчинников, В.В. Семенов. – Москва : Атомиздат, 1977. – 359 с.
 10. *Чиркин, В.С.* Теплофизические и ядерные свойства материалов, применяемых в реакторостроении [Текст] / В.С. Чиркин. – Москва : Атомиздат, 1968. – 485 с.
 11. *Барабанов, С.А.* Основы радиационной безопасности [Текст] / С.А. Барабанов, П.И. Залевский, П.А. Пономаренко. – Севастополь : СВВМИУ, 1973. – 176 с.
 12. *Семенов, В.В.* Основные физико-технические характеристики реакторных установок ВВЭР [Текст] / В.В. Семенов. – Москва : ИАЭ им. И. В. Курчатова, 1979. – 43 с.
 13. *Климов, А.Н.* Ядерная физика и ядерные реакторы [Текст] / А.Н. Климов – Москва : Атомиздат, 1971. – 464 с.

REFERENCES

- [1] Filipov E.M. Radiacionnaya ekologiya [Radiation Ecology]. Sevastopol., 2003. 241 p. (in Russian).
- [2] Tevlin S.A. AES s reaktorami VVER-1000 [NPP with WWER-1000 Reactors]. Izdatelsky' dom MEI [MEI Publishing House]. Moscow. MEI Publishing House 2008. 358 p. (in Russian).
- [3] Kozlov V.F. Spravochnik po radiacionnoy' bezopasnosti [Handbook of Radiation Safety]. Moscow. Energoatomizdat. 1991. 352 p. (in Russian).
- [4] Gordeev I.V. Spravochnik po yaderno-fizicheskim konstantam dlya rascheta reaktorov [Handbook of Nuclear and Physical Constants for Reactor Calculation]. Moscow. Atomizdat. 1960. 280 p. (in Russian).
- [5] Zakutinsky' D.I. Spravochnik po toksikologii radioaktivnih izotopov [Handbook of Toxicology of Radioactive Isotopes]. Moscow. State Publishing House of Medical Equipment. 1962. 116 p. (in Russian).
- [6] Arcimovich L.A. Spravochnik po yadernoy' fizike [Handbook of Nuclear Physics]. Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy' literature. [Moscow. State Publishing House of Physical and Mathematical Literature]. 1963. 632 p. (in Russian).
- [7] Dergopolc V.F. Mir vody' [Water World]. Leningrad. Nedra. 1979. 254 p. (in Russian).
- [8] Teldeshi Yu Diagnostika okrudjaushey' sredy' radioanaliticheskimi metodami [Diagnosis of Environment, Radioanalytical Methods]. Moscow. Energoatomizdat. 1985. 193 p. (in Russian).
- [9] Ovchinnikov F.Ya Ecspluatacionnie rejimy' vodo-vodyanih energiticheskikh reaktorov [Operating Modes of WWER]. Moscow. Atomizdat. 1977. 359 p. (in Russian).
- [10] Chirkin V.S. Teplofizicheskie i yadernie svoj'stva materialov, primenyaemih v reaktorostroenii [Thermophysical and Nuclear Properties of Materials Used in Reactor Construction]. Moscow. Atomizdat. 1968. 485 p. (in Russian).
- [11] Barabanov S.A. Osnovy' radiacionnoy' bezopasnosti [Basics of Radiation Safety]. Sevastopol'skoe visshее voenno-morskoe uchilische [Sevastopol Higher Naval Engineering School]. Sevastopol. SVVMIU. 1973. 176 p. (in Russian).
- [12] Semenov V.V. Osnovnie fiziko-tehnicheskie harakteristiki reactornih ustanovok VVER [Basic Physical and Technical Characteristics of WWER Reactor Plants]. Institut atomnoy energii im. I.V. Kurchatova [I. V. Kurchatov IAE]. Moscow. IAE im. I. V. Kurchatov. 1979. 43 p. (in Russian).
- [13] Klimov A.N. Yadernaya fizika i yadernie reaktory' [Nuclear Physics and Nuclear Reactors]. Moscow. Atomizdat. 1971. 464 p. (in Russian).

The Isotope Composition of Hydrogen and Its Transformation in the Fields of Thermal Neutrons in the WWER-type Reactor Active Zones

P.A. Ponomarenko¹, M.A. Frolova², I.G. Tananaev³, Y.S. Chicherina⁴

Sevastopol State University, Kurchatov, St., 7, Sevastopol, Russia, 299016

¹ ORCID iD: 0000-0003-2866-511

WoS Researcher ID: U-9018-2017

e-mail: ppa4493@gmail.com

² ORCID iD: 0000-0001-9178-0513

WoS Researcher ID: U-6093-2017

e-mail: frolova-85@mail.ru

³ *ORCID iD: 0000-0002-2159-8182*

WoS Researcher ID: S-1733-2017

e-mail: geokhi@mail.ru

⁴ *ORCID iD: 0000-0002-9169-4399*

WoS Researcher ID: M-5032-2018

e-mail: chicherinajulia@mail.ru

Abstract – The article considers qualitative and quantitative composition of formed radionuclides under irradiation of hydrogen nuclei, which is a part of the water of the first circuit of the water-water power reactor, thermal neutrons and evaluation of the rate of formation of hydrogen radionuclide tritium, dangerous to the objects of the biosphere.

Keywords: nuclear energy, nuclear reactor, activation analysis, coolant, the active zone, first circuit, tritium, the number of nuclei, thermal neutrons, WWER.

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

УДК 349.7

**ФОРМИРОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ
НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАД ЯДЕРНЫМ
ЭКСПОРТОМ В СССР КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

© 2018 Е.А. Брагина

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

В настоящей статье рассмотрены этапы формирования законодательной базы национальной системы контроля над ядерным экспортом СССР с учетом требований МАГАТЭ и выработанных на основе международных режимов нераспространения рекомендаций как необходимого условия обеспечения физической ядерной безопасности.

Ключевые слова: ядерное право, ядерный экспорт, физическая ядерная безопасность, ядерные материалы, ООН, МАГАТЭ, Комитет Цангера, Группа ядерных поставщиков, Исходный список, ядерное разоружение.

Поступила в редакцию: 30.08.2018

Основной формой международного сотрудничества в сфере международных поставок в середине XX в. были двусторонние соглашения, которые не всегда предусматривали контроль за мирным использованием предметов ядерного экспорта, в связи с чем вопрос о необходимости создания независимой межправительственной организации для обсуждения вопросов развития мирного использования внутренней энергии атомных ядер вставал все острее.

В начале 1954 г. Генеральной Ассамблеей Организаций Объединенных Наций (далее – ООН) была утверждена резолюция «Атом для дела мира» [1], в которой выражалась надежда на то, что такая организация будет создана без промедления.

После трехлетних переговоров, в которых участвовали представители двенадцати стран, в том числе СССР, 23 октября 1956 г. проект Устава Международного агентства по атомной энергии (далее – МАГАТЭ, Агентство) был окончательно утвержден Международной конференцией по выработке Устава, состоявшейся в Центральных учреждениях ООН в Нью-Йорке.

29 июля 1957 г. Устав МАГАТЭ (далее – Устав) [2] вступил в законную силу. Одновременно с этим в Вене начало функционировать и само Агентство.

С этого момента СССР и ряд других промышленно развитых стран начали заключать соглашения о передаче ядерных технологий, установок и материалов в соответствии с требованиями п. 5 ч. «А» ст. III Устава, предусматривая обязательства страны-получателя принять гарантии государства-отправителя на поставляемые предметы экспорта.

После ратификации и вступления в силу Договора о нераспространении ядерного оружия 1968 г. (далее – договор о нераспространении, договор 1968 г., ДНЯО) [3] возникла тенденция к сотрудничеству стран в сфере ядерного экспорта на основе межправительственных соглашений нового типа.

Правовой основой для формирования международной системы контроля над ядерным экспортом стала направленная на содействие обеспечению использования ядерных материалов и оборудования в мирных целях часть 2 статьи III Договора о нераспространении.

Согласно положениям данного пункта, который был продублирован в положениях части 2 статьи III Information Circular of International Atomic Energy Agency, N 140, 22 April, 1970 (далее - INFCIRC/140) [4] «каждое из государств-участников Договора обязуется не предоставлять: а) исходного или специального расщепляющегося материала; или б) оборудования или материала, специально предназначенного или подготовленного для обработки, использования или производства специального расщепляющегося материала, любому государству, не обладающему ядерным оружием, для мирных целей, если на этот исходный или специальный расщепляющийся материал не распространяются гарантии, требуемые настоящей статьей».

Иными словами, по смыслу указанной правовой нормы, страны, являющиеся участниками договора о нераспространении, брали на себя обязательство экспортировать ядерный материал, оборудование или материал, специально предназначенный или подготовленный для обработки, использования или производства специального расщепляющегося материала, в государства, не обладающие ядерным оружием и не являющиеся участниками ДНЯО в мирных целях, только при условии распространения на такой экспорт гарантий Международного агентства по атомной энергии (далее – МАГАТЭ, Агентство).

Закрепление международного принципа ядерного экспорта, основанного на части 2 статьи III ДНЯО отвечало не только интересам международного режима недопущения переключения гарантируемого ядерного материала в мирных целях на ядерное оружие или другие ядерные взрывные устройства, но и интересам стран получателей, не являющихся участниками договора 1968 г., позволяя им не брать на себя иные обязательства режима ядерного нераспространения.

Принципы регулирования экспортного контроля в СССР, владевшем монополией на внешнюю торговлю любыми технологиями, были основаны исключительно на директивных методах управления и существенно отличались от международно признанных стандартов правового обеспечения указанной сферы внешнеэкономической деятельности других ядерных держав того времени.

Специальное правовое регулирование ядерного экспорта СССР прошло несколько этапов.

Первоначально все сделки по поставкам ядерного оборудования, технологий, ядерных и специальных неядерных материалов, а также услуг ядерного топливного цикла осуществлялись исключительно на разрешительной основе и подлежали обязательному согласованию с Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР и Министерством иностранных дел СССР [5].

После ратификации в 1969 г. Советским Союзом [6] договора о нераспространении и сдачи в марте 1970 г. на хранение в Комитет по разоружению ООН ратификационной грамоты, все сделки по ядерному экспорту стали осуществляться СССР в строгом соответствии с положениями части 2 статьи III ДНЯО, установившей основополагающую международно-правовую норму экспортного контроля, в связи с чем существенным публично-правовым условием контрактов, заключаемых «Техснабэкспорт» и «Атомэнергоэкспорт» на поставку ядерных материалов, оборудования и предоставление услуг ядерного топливного цикла стало обязательство страны-получателя не использовать предметы ядерного экспорта для целей, противоречащих ДНЯО [7].

Продолжая работу, направленную на нераспространение ядерного оружия, в рамках договора 1968 г. совместными усилиями промышленно развитых стран в 70-х годах прошлого столетия было создано несколько международных режимов экспортного контроля в ядерной области, реализация которых должна была осуществляться через национальные законодательства стран-участников.

Так, в 1971 г. представителями пятнадцати государств (включая СССР) – основными держателями ядерных технологий, присоединившимися к договору о нераспространении или являвшимися его потенциальными участниками, была образована неформальная организация – Комитет экспортеров под председательством швейцарского профессора Клода Цангера (далее – Комитет Цангера, Комитет), мандатом которого стала идентификация исходного и специального расщепляющегося материала, материалов и оборудования, специально предназначенных или подготовленных для обработки, использования или производства специального расщепляющегося материала (дефиниции в ДНЯО отсутствовали), а также разработка на общей международной основе условий и процедур, регулирующих экспорт ядерных материалов, оборудования и технологий в соответствии с требованиями части 2 статьи III ДНЯО на основе честной коммерческой конкуренции.

С 1971 по 1974 гг. участниками Комитета в Вене была проведена серия неофициальных совещаний и двусторонних консультаций.

Все достигнутые и официально признанные участниками Комитета Цангера путем взаимного обмена нотами договоренности были зафиксированы в виде идентичных писем, в которых они информировали о своем решении действовать в соответствии с выработанными Комитетом условиями путем принятия соответствующих национальных законодательных актов в сфере экспортного контроля (смотри, например, Letter I, Letter II, Letter III, Letter IV [8]), направленных 22 августа 1974 г. на имя генерального директора МАГАТЭ Сигварда Эклунда с просьбой сообщить о принятом решении всем государствам-членам Агентства.

Итогом работы Комитета стало утверждение в августе 1974 г. двух отдельных дипломатических документов – Memorandum «А» и Memorandum «В», которые в своей совокупности составили руководящие принципы работы Комитета Цангера, став всемирно известными как «Trigger List» или «Исходный список», и были опубликованы МАГАТЭ совместно с разъяснениями по пунктам к ним в Information Circular of International Atomic Energy Agency, N 209, 03 September, 1974 (далее - INFCIRC/209) [8], что вновь потребовало от СССР внесения соответствующих изменений в проекты соглашений по вопросам советского ядерного экспорта.

Memorandum «А» содержал разъяснения по вопросам международного экспорта исходного и специального расщепляющегося материала, как предмета ядерного экспорта, со ссылками на статью XX Устава, а также применения к нему соответствующих эффективных гарантий МАГАТЭ. Отдельное внимание в положениях документа было уделено вопросам понятийного аппарата исходного и специального расщепляющегося материала.

Memorandum «В» содержал разъяснения по вопросам международного экспорта оборудования, материала, специально предназначенного или подготовленного для обработки, использования или производства специального расщепляющегося материала, указания на которые как на предметы ядерного экспорта содержались в пункте «b» части 2 статьи III ДНЯО, а также применения к таким поставкам созданной Агентством системы гарантий. Также документ закрепил принятые участниками Комитета дефиниции указанного оборудования и материалов.

Приложение к Исходному списку – «Clarifications of items on the Trigger List» включало в себя более емкие определения оборудования и материалов, включенных в

Memorandum «В», а также указания на особенности экспорта данных предметов.

Сравнительно-правовой анализ положений INFCIRC/209 позволяет говорить о том, что достигнутые участниками Комитета Цангера договоренности по вопросам применения к ядерному экспорту предметов, указанных в пунктах «а» и «б» части 2 статьи III ДНЯО, гарантий МАГАТЭ во многом были идентичны взятым на себя странами-участниками Договора о нераспространении обязательств, закрепленным в ст. III INFCIRC/140, и предусматривали ряд обязательных условий поставки таких материалов и единиц оборудования.

Прежде всего, в соответствии с положениями INFCIRC/209, экспорт и реэкспорт исходного, специального расщепляющегося материала, оборудования и неядерных материалов в государства, не обладающие ядерным оружием и не являющиеся участниками Договора о нераспространении, был возможен только при условии постановки такой продукции под созданную Агентством систему гарантий.

Кроме того, «при экспорте в государство, не обладающее ядерным оружием и не являющееся участником ДНЯО, исходный или специальный расщепляющийся материал, поставляемый непосредственно или производимый, обрабатываемый или используемый на объекте, для которого предназначена поставляемая продукция, не должен переключаться на цели ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств» [9].

Однако с точки зрения эффективности правового регулирования ядерного экспорта, выработанные Комитетом рекомендации, закрепленные в Memorandum «А», Memorandum «В» и «Clarifications of items on the Trigger List» INFCIRC/209, не обладали совершенной юридической техникой.

Во-первых, указанные дипломатические документы были неразрывно связаны с договором о нераспространении. Во-вторых, экспорт товаров двойного назначения мог осуществляться за рамками системы гарантий Агентства. В-третьих, ни «Memorandum «В», ни «Clarifications of items on the Trigger List» не включали оборудование, критическое с точки зрения нераспространения ядерного оружия, например, установки по производству тяжелой воды; обогащению урана или переработке отработавшего ядерного топлива.

Продолжая работу, нацеленную на создание международных режимов экспортного контроля в ядерной области и укрепление режима нераспространения, в конце 1974 – начале 1975 гг. представителями СССР, США, Великобритании, ФРГ, Канады, Франции и Японии в Лондоне была проведена серия переговоров и совещаний, главной причиной инициирования которых стало проведенное Индией 18 мая 1974 г. в ходе операции «Улыбающийся Будда» в пустыне штата Раджастан ядерного испытания, которое, в соответствии с заявлением премьер-министра Индии Индиры Ганди, было проведено исключительно «в мирных целях».

В апреле 1975 г. представителями указанных семи государств – основными экспортерами и производителями ядерных материалов, оборудования, технологий и неядерных материалов для реакторов, было образовано международное объединение – «Nuclear Suppliers Group» (далее – NSG) или «Группа ядерных поставщиков», неофициально именовавшееся «Лондонским клубом», мандатом которого стала разработка на основе всеобщей нормы международного экспорта (ч. 2 ст. III ДНЯО) более развернутых рекомендаций, которыми ядерным поставщикам, независимо от их участия в договоре о нераспространении, надлежало руководствоваться при экспорте ключевых материалов, оборудования и технологий, которые могут способствовать созданию ядерных вооружений с целью ограничения риска распространения оружия массового уничтожения.

Все достигнутые в результате трехлетней работы и официально признанные

участниками «Guidelines for Nuclear Transfers» путем взаимного обмена нотами договоренности были зафиксированы в виде идентичных писем (смотри, например, Letter I – Letter XII [10]), в которых они информировали о своем решении действовать в соответствии с выработанными принципами путем принятия соответствующих национальных законодательных актов в сфере экспортного контроля, направленных 11 января 1978 г. на имя генерального директора МАГАТЭ с просьбой сообщить о принятом решении всем государствам-членам Агентства.

Итогом работы NSG стало утверждение в феврале 1978 г. «Guidelines for Nuclear Transfers» или «Руководящих принципов для ядерного экспорта», включивших в себя два раздела, имеющих систематическое построение, которые были опубликованы МАГАТЭ совместно с приложениями к ним в Information Circular of International Atomic Energy Agency N 254 (далее – INFCIRC/254) [10], что вновь потребовало от СССР внесения соответствующих изменений в проекты соглашений по вопросам советского ядерного экспорта.

В разделе «Guidelines for Nuclear Transfers» были сформулированы восемь основополагающих принципов гарантий и экспортного контроля, которые должны применяться к ядерным поставкам в любое государство, не обладающее ядерным оружием, в мирных целях.

Так, в соответствии с положениями «Guidelines for Nuclear Transfers», передача указанных в «Trigger List referred to in Guidelines» материалов, оборудования и технологий экспортёрами возможна только в случае наличия предоставленных со стороны страны-получателя официальных заверений, свидетельствующих о том, что применение, которое может привести к созданию ядерных взрывных устройств будет исключено (item 2).

На все ядерные материалы и установки должна распространяться физическая защита в соответствии с выработанными МАГАТЭ и закрепленными в Information Circular of International Atomic Energy Agency, N 225, September 1975 (далее – INFCIRC/225) [11] правилами физической защиты предметов ядерного экспорта в целях исключения несанкционированного использования и обогащения (item 3). Впоследствии указанные положения получили свое дальнейшее развитие в Конвенции о физической защите ядерного материала от 26 октября 1979 года (далее – Конвенция о физической защите) [12].

Деятельность поставщиков надлежит поставить под систему гарантий Агентства в соответствии с руководящими принципами, закрепленными в item 4, 5 Document of Board of Governors of International Atomic Energy Agency (GOV/1621), N 1621, 20 August, 1973 [13]. Также под систему гарантий в соответствии с положениями «Guidelines for Nuclear Transfers» следовало поставить экспорт технологий, включая установки по переработке, обогащению или производству тяжелой воды (item 6).

Поставки товаров двойного назначения, поставляемого или производимого оружейного материала, обогатительных установок, оборудования и технологий, так же как и реэкспорт в соответствии с положениями «Guidelines for Nuclear Transfers» ставились под специальный контроль (item 7-10).

Раздел «Supporting Activities» включил в себя четыре дополнительных принципа: обмена информацией о физической безопасности (item 11); поддержки поставщиками эффективных гарантий МАГАТЭ (item 12); поощрения проектировщиков и изготовителей чувствительного оборудования для целей облегчения применения гарантий (item 13); консультативного осуществления экспортной деятельности (item 14-16).

Приложение «А» к «Guidelines for Nuclear Transfers» – «Trigger List referred to in Guidelines» – исходный список экспортируемых и реэкспортируемых материалов,

оборудования и технологий, которые должны ставиться под контроль МАГАТЭ был представлен Part «А» – «Material and equipment» и Part «В» – «Common criteria for technology transfers under paragraph 6 of the Guidelines», а также приложением в виде «Clarifications of items on the Trigger List».

Part «А» – «Material and equipment» содержал разъяснения по вопросам международного экспорта исходного и специального расщепляющегося материала как предмета ядерного экспорта со ссылками на статьи Устава, а также перечень оборудования, применяемого для целей «Guidelines for Nuclear Transfers».

Part «В» – «Common criteria for technology transfers under paragraph 6 of the Guidelines» закрепил общие критерии передачи технологий разъясняя, что необходимо понимать под указанным термином. Особое внимание было уделено установкам по переработке, обогащению топлива и производству тяжелой воды.

«Clarifications of items on the Trigger List» представляет собой подробный перечень специально разработанного или подготовленного оборудования, применяемого в вышеперечисленных установках.

Положения приложения «В» к «Guidelines for Nuclear Transfers» – «Criteria for levels of physical protection» закрепили общие принципы и правила обеспечения физической защиты ядерных материалов, а также предусматривали разграничение ядерных материалов на три категории, а также правила хранения и перевозки с учетом особенностей каждой из них.

Таким образом, INFCIRC/254 представил собой эффективное средство обеспечения соблюдения режима нераспространения при осуществлении международного экспорта и закрепил достаточно обширный перечень правил, которые учли недостатки ранее выработанных Комитетом Цангера рекомендаций и содержали ряд новелл.

Прошедшие со времени опубликования «Guidelines for Nuclear Transfers» несколько лет позволили говорить о положительном значении этих принятых и введенных в действие большинством стран-экспортеров правил.

В ряде стран, в том числе и в СССР, они были положены в основу национального законодательства в сфере ядерного экспорта, наличие которого стало одним из необходимых условий обеспечения физической ядерной безопасности в пределах юрисдикции конкретного государства, организация и осуществление которого в соответствии с положениями INFCIRC/225 и Конвенцией о физической защите входила в компетенцию самого государства.

Указом Президиума ВС СССР от 30.10.1981 N 5916-X «О внесении изменений и дополнений в Основы гражданского законодательства Союза ССР и союзных республик» [14] в положения части 3 статьи 3 «Основ гражданского законодательства Союза ССР и союзных республик» от 08 декабря 1961 года [15] были внесены изменения, в соответствии с которыми отношения по внешней торговле и другим видам внешнеэкономической деятельности с 01 января 1982 г. должны были определяться специальным законодательством Союза ССР, регулирующим внешнюю торговлю и другие виды внешнеэкономической деятельности, и общим гражданским законодательством Союза ССР и союзных республик.

Во исполнение указанных положений 13 января 1982 г. Совет Министров СССР утвердил «Положение об экспорте ядерных материалов, технологий, оборудования и установок, специальных неядерных материалов и услуг» № 28 (далее – Положение 1982 г., Положением), которое было нацелено на ядерный экспорт в мирных целях из СССР в страны, не обладающие ядерным оружием. Полностью соответствуя «Guidelines for Nuclear Transfers» положение одновременно соединило основные принципы нераспространения ядерного оружия с обязательствами СССР по его

международным договорам и договоренностям, и ознаменовало собой становление следующего этапа формирования специального правового регулирования ядерного экспорта СССР.

Начиная с указанного времени все контракты по экспорту ядерных материалов, технологий, оборудования, установок, специальных неядерных материалов и услуг в мирных целях из СССР в страны, не обладающие ядерным оружием, заключались в соответствии с указанным Положением. Вопросы ядерного экспорта в страны, обладающие ядерным оружием, как и прежде, продолжали решаться компетентными органами СССР в каждом конкретном случае.

Согласно настоящему положению ядерный экспорт СССР производился в соответствии с политикой Советского Союза в области нераспространения ядерного оружия и обязательствами СССР, вытекающими из Договора о нераспространении, а также других международных договоров, соглашений и договоренностей, участником которых являлся СССР, при наличии обязательств со стороны импортеров, о том, что полученные ими предметы экспорта, а также произведенные на их основе или в результате их использования ядерные и специальные неядерные материалы, установки и оборудование: не будут использоваться для производства ядерного оружия и других ядерных взрывных устройств, а также способствовать достижению какой-либо военной цели; будут находиться под контролем (гарантиями) МАГАТЭ в течение всего срока их фактического использования; будут обеспечены мерами физической защиты на уровне не ниже рекомендованного Агентством; будут реэкспортироваться (экспортироваться) или передаваться из-под юрисдикции страны-получателя только при условиях, указанных выше; реэкспорт или передача предметов экспорта будут производиться при наличии письменного согласия соответствующей советской внешнеторговой организации.

Детальную регламентацию также получил порядок и процедура оформления обязательств импортерами, не обладающими ядерным оружием, по ядерному экспорту из СССР. Так, в соответствии с Положением 1982 г. требующиеся обязательства должны были оформляться компетентными органами стран-получателей путем принятия ими данных обязательств по действующим многосторонним либо двусторонним договорам, соглашениям, контрактам или иным договорно-правовым актам, участниками которых являлся СССР и направления по дипломатическим каналам в компетентные органы СССР необходимых заверений.

Организациями, уполномоченными осуществлять операции по ядерному экспорту СССР, согласно Положению 1982 г. являлись внешнеторговые организации Министерства внешней торговли и Государственного комитета СССР по внешнеэкономическим связям. Проекты соглашений и контрактов с иностранными контрагентами об условиях ядерного экспорта подлежали согласованию с Государственным комитетом по использованию атомной энергии и Министерством иностранных дел СССР.

Отдельное внимание Положение 1982 г. уделило санкциям, применяемым к государствам-получателям в случае нарушения ими обязательств, предусмотренных настоящими положениями.

Приложение к Положению впервые закрепило дефиниции основных терминов, используемых в сфере правоотношений ядерного экспорта: оборудование и установки, специальные неядерные материалы, технология, услуги, ядерные материалы, ядерные услуги.

Достигнутые в рамках работы Агентства и NSG договоренности о необходимости обеспечения физической защиты предметов ядерного экспорта в целях исключения несанкционированного использования и обогащения также стали предпосылками к

формированию законодательства СССР в сфере уголовной ответственности за хищение, саботаж, несанкционированный доступ, незаконное перемещение и другие преступные деяния с ядерными материалами.

Указом Президиума ВС РСФСР от 30 марта 1988 г. «О внесении изменений и дополнений в Уголовный и Уголовно-процессуальный кодексы РСФСР» (далее - Указ) Уголовный кодекс РСФСР 1960 г. был дополнен четырьмя новыми составами, впервые предусматривавшими уголовную ответственность за совершение преступлений в ядерно-энергетической сфере.

Так, пунктом 1 Указа в действие были введены: ст. 223.2 «Незаконное приобретение, хранение, использование, передача или разрушение радиоактивных материалов»; ст. 223.3 «Хищение радиоактивных материалов»; ст. 223.4 «Угроза совершения хищения радиоактивных материалов или их использования» и ст. 223.5 «Нарушение правил хранения, использования, учета, перевозки радиоактивных материалов и других правил обращения с ними» [16].

Изложенное выше позволяет говорить о том, что специальное правовое регулирование ядерного экспорта СССР прошло несколько этапов. К 1982 г. была сформирована нормативно-правовая база национальной системы контроля над ядерным экспортом, учитывающая требования МАГАТЭ и выработанные на основе международных режимов нераспространения рекомендации, которые, также послужили предпосылками к формированию законодательства СССР в сфере уголовной ответственности за хищение, саботаж, несанкционированный доступ, незаконное перемещение и другие преступные деяния с ядерными материалами, ставшего необходимым условием обеспечения физической ядерной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выступление Эйзенхауэра «Атом для мира». URL : https://www.iaea.org/sites/default/files/54401210304_ru.pdf (дата обращения: 21.08.2018).
2. Statut IAEA. Vienna, 23 October 1956. URL : <https://www.iaea.org/sites/default/files/statute.pdf> (дата обращения: 21.08.2018).
3. Договор о нераспространении ядерного оружия (Подписан в г. г. Москве, Вашингтоне, Лондоне 01.07.1968) // Сборник действующих договоров, соглашений и конвенций, заключенных СССР с иностранными государствами. Вып. XXVI. – Москва, 1973. – С. 45-49.
4. Information Circular of International Atomic Energy Agency. N 140. 22 April. 1970. URL : <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1970/infcirc140.pdf> – (дата обращения: 21.08.2018).
5. Советское атомное право / Отв. ред. П.Н. Бургасов, А.И. Иойрыш, А.М. Петросьянц. – Москва : Наука, 1986. – 208 с.
6. Указ Президиума Верховного Совета СССР «О ратификации Договора о нераспространении ядерного оружия» от 24.11.1969 г. N 4518-VII // Ведомости Верховного Совета СССР, N 48, 26.11.1969 г. URL : <http://base.garant.ru/6159651/> (дата обращения: 21.08.2018).
7. Ядерный экспорт: международно-правовое регулирование / П.Г. Паламарчук; отв. ред. А.И. Иойрыш. – Москва : Наука, 1988. – 128 с.
8. Information Circular of International Atomic Energy Agency. N 209. 03 September. 1974. URL : <https://fas.org/nuke/control/zangger/text/inf209.htm> (дата обращения: 21.08.2018).
9. Zangger Committee understandings. 2005 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT/CONF.2005/WP.15). New York. 2-27 May. 2005. URL : http://vertic.org/media/assets/nim_docs/NSG%20and%20ZC/ZC%20-%20%202005%20Multilateral%20nuclear%20supply%20principles%20of%20the%20Zangger%20Committee.pdf (дата обращения: 21.08.2018).
10. Information Circular of International Atomic Energy Agency. N 254. February 1978. URL : <https://fas.org/nuke/control/nsg/text/inf254.htm> (дата обращения: 21.08.2018).
11. Information Circular of International Atomic Energy Agency. N 225. September 1975. URL : <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1975/infcirc225.pdf> (дата

- обращения: 21.08.2018).
12. Конвенция о физической защите ядерного материала (Вместе с «Уровнями физической защиты, применяемой при международной перевозке ядерного материала», «Классификацией ядерного материала») (Заключена в г. Вене 26.10.1979) // Сборник международных договоров СССР. Вып. XLIII. – Москва, 1989. – С. 105-115.
 13. Document of Board of Governors of International Atomic Energy Agency (GOV/1621), N 1621, 20 August. 1973. URL : <https://www.armscontrol.org/system/files/GOV1621.pdf> (дата обращения: 21.08.2018).
 14. Указ Президиума Верховного Совета СССР от 30.10.1981 N 5916-X «О внесении изменений и дополнений в Основы гражданского законодательства Союза ССР и союзных республик» // Ведомости ВС СССР, 1981, N 44, ст. 1184. URL : <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=24567#01151521855686648> (дата обращения: 21.08.2018).
 15. Закон СССР от 08.12.1961 «Об утверждении Основ гражданского законодательства Союза ССР и союзных республик» // Ведомости ВС СССР, 1961, N 50, ст. 525. URL : <http://base.garant.ru/70808374/> (дата обращения: 21.08.2018).
 16. Брагина, Е.А. Уголовно-правовая охрана ядерной и радиационной безопасности России по законодательству Союза Советских Социалистических республик / Е.А. Брагина // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. – 2013. – № 3 (29) Часть II. – С. 27-31.

REFERENCES

- [1] Vystuplenie EHjzenhauehra «Atom dlya mira», vystuplenie, kotoroe sposobstvovalo sozdaniyu MAGATEH [“Atom for Peace” Speech by Eisenhower] URL : https://www.iaea.org/sites/default/files/54401210304_ru.pdf (in Russian).
- [2] Statut IAEA. Vienna, 23 October 1956. URL : <https://www.iaea.org/sites/default/files/statute.pdf> (in Russian).
- [3] Dogovor o nerasprostraneni yadernogo oruzhiya (Podpisan v g. g. Moskve, Vashingtone, Londone 01.07.1968) // Sbornik dejstvuyushchih dogovorov, soglashenij i konvencij, zaklyuchennyh SSSR s inostrannymi gosudarstvami. Vyp. XXVI. Moskva. [Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (Signed in Moscow, Washington, London, 01.07.1968) // Collection of existing treaties, agreements and conventions formed by the USSR with foreign states. Issue XXVI. - Moscow] 1973. P. 45-49 (in Russian).
- [4] Information Circular of International Atomic Energy Agency. N 140. 22 April. 1970. URL : <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1970/infcirc140.pdf> (in Russian).
- [5] Sovetskoe atomnoe pravo / Otv. red. P.N. Burgasov, A.I. Iojoyrysh, A.M. Petros'yanc. – Moskva : Nauka [Soviet Atomic Law / Edited by Pn Burgasov, A.I. Yojoyrysh, A.M. Petrosyants. - Moscow: Science] 1986. 208 p. (in Russian).
- [6] Ukaz Prezidiuma Verhovnogo Soveta SSSR «O ratifikacii Dogovora o nerasprostraneni yadernogo oruzhiya» ot 24.11.1969 g. N 4518-VII // Vedomosti Verhovnogo Soveta SSSR, N 48, 26.11.1969 g. [Decree of the Presidium of the USSR Supreme Council “Ratification of the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons” of 11/24/1969 N 4518-VII //Bulletin of USSR Supreme Council, № 48, 11/26/1969.]URL : <http://base.garant.ru/6159651/> (in Russian).
- [7] YAdernyj ehksport: mezhdunarodno-pravovoe regulirovanie / P.G. Palamarchuk; otv. red. A.I. Iojoyrysh. – Moskva : Nauka [Nuclear Export: International Legal Regulation / P. G. Palamarchuk; Edited by A.I. Iirish - Moscow: Science]. 1988. 128 p. (in Russian).
- [8] Information Circular of International Atomic Energy Agency. N 209. 03 September. 1974. URL : <https://fas.org/nuke/control/zangger/text/inf209.htm> (дата обращения: 21.08.2018).
- [9] Zangger Committee understandings. 2005 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT/CONF.2005/WP.15). New York. 2-27 May. 2005. URL : http://vertic.org/media/assets/nim_docs/NSG%20and%20ZC/ZC%20-%20202005%20Multilateral%20nuclear%20supply%20principles%20of%20the%20Zangger%20Committee.pdf (in Russian).
- [10] Information Circular of International Atomic Energy Agency. N 254. February 1978. URL : <https://fas.org/nuke/control/nsg/text/inf254.htm> (in Russian).
- [11] Information Circular of International Atomic Energy Agency. N 225. September 1975. URL : <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1975/infcirc225.pdf> (in Russian).

- [12] Konvenciya o fizicheskoy zashchite yadernogo materiala (Vmeste s «Urovnymi fizicheskoy zashchity, primenyaemoj pri mezhdunarodnoj perevozke yadernogo materiala», «Klassifikacij yadernogo materiala») (Zaklyuchena v g. Vene 26.10.1979) // Sbornik mezhdunarodnyh dogovorov SSSR. Vyp. XLIII. – Moskva [Convention on the Physical Protection of Nuclear Material (Together with the “Levels of Physical Protection Used in the International Carriage of Nuclear Material”, “Classification of Nuclear Material”) (formed in Vienna on 10/26/1979) // Collection of international treaties of the USSR. Issue XLIII. - Moscow] 1989. – P. 105-115. (in Russian).
- [13] Document of Board of Governors of International Atomic Energy Agency (GOV/1621), N 1621, 20 August. 1973. URL : <https://www.armscontrol.org/system/files/GOV1621.pdf>
- [14] Ukaz Prezidiuma Verhovnogo Soveta SSSR ot 30.10.1981 N 5916-X «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v Osnovy grazhdanskogo zakonodatel'stva Soyuza SSR i soyuznyh respublik» // Vedomosti VS SSSR, 1981, N 44, st. 1184 [Decree of the Presidium of the USSR Supreme Council of 30.10.1981 N 5916-X “Amendments and Additions to the Fundamentals of Civil Legislation of the USSR and Union Republics” // Bulletin of USSR Supreme Council, 1981, № 44, Art. 1184]. URL : <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=24567#01151521855686648> (in Russian).
- [15] Zakon SSSR ot 08.12.1961 «Ob utverzhdenii Osnov grazhdanskogo zakonodatel'stva Soyuza SSR i soyuznyh respublik» // Vedomosti VS SSSR, 1961, N 50, st. 525 [USSR Law of December 8, 1961 “Approval of the Fundamentals of Civil Legislation of the USSR and Union Republics” // Bulletin of USSR Supreme Council, 1961, № 50, Art. 525] URL : <http://base.garant.ru/70808374/> (in Russian).
- [16] Bragina E.A. Ugolovno-pravovaya ohrana yadernoj i radiacionnoj bezopasnosti Rossii po zakonodatel'stvu Soyuza Sovetskikh Socialisticheskikh respublik. Istoricheskie, filosofskie, politicheskie i yuridicheskie nauki, kul'turologiya i iskusstvovedenie. Voprosy teorii i praktiki. – 2013. – № 3 (29) CHast' II [Criminal Law Protection of Nuclear and Radiation Safety of Russia under the Legislation of the Union of Soviet Socialist Republics /E.A. Bragina// Historical, Philosophical, Political and Legal Sciences, Cultural Studies and Art History. Questions of Theory and Practice. - 2013. - № 3 (29) Part II] – P. 27-31 (in Russian).

Legal Framework Formation of the National System of Nuclear Export Control in the USSR as Necessary Condition for Physical Nuclear Safety Ensuring

Bragina E.A.

North-Caucasus Federal University, Pushkin St., 1, Stavropol, Russia 355009

ORCID iD: 0000-0002-4865-2476

WoS Researcher ID: T-6397-2018

e-mail: advokat.bragina@mail.ru

Abstract – This article discusses the stages of legal framework formation of the national system of nuclear export control in the USSR, taking into account the requirements of the IAEA and developed on the basis of international non-proliferation regimes recommendations as a prerequisite for nuclear security.

Keywords: nuclear law, nuclear export, physical nuclear security, nuclear materials, UN, IAEA, Zangger Committee, Nuclear Suppliers Group, Trigger List, nuclear disarmament.

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

УДК 378 : 621.039

**РАННЯЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ В СФЕРЕ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КАК ФАКТОР СТРАТЕГИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

© 2018 В.А. Руденко, М.В. Головкин, Н.В. Ермолаева, Н.И. Лобковская

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

В статье рассматривается стратегия формирования высококвалифицированного кадрового потенциала для атомной отрасли. Выявлена необходимость высокого уровня начальной подготовки школьников в области технических наук для успешного овладения профессиональными компетенциями. Подчеркивается значимость ранней профессиональной ориентации школьников, мотивирующей выбирать инженерные специальности и целенаправленно готовиться к поступлению в специализированный институт с первых лет обучения в школе. Анализируется успешный опыт реализации профориентационного проекта в рамках детской летней научно-технической школы «Юные атомщики». Отмечена важная роль отраслевых вузов в ранней профессиональной ориентации потенциальных абитуриентов.

Ключевые слова: ранняя профессиональная ориентация, инженерно-техническая мотивация школьников, профессиональное самоопределение, летняя научно-техническая школа.

Поступила в редакцию: 04.09.2018

Научно-технический прогресс в XXI веке приобрел иное качество и дополнительную динамику, вследствие чего повысилась востребованность инженерного инновационного труда, обеспечивающего прорывные технологии. В настоящее время первоочередной задачей образования является подготовка высококвалифицированных кадров для производственной сферы. Президент РФ Владимир Путин указал на важность подготовки инженеров в региональных вузах и отметил, что «подготовка профессиональных кадров, особенно в сфере производства, является одним из ключевых элементов роста на ближайшее время» [1]. Тем более актуальным остается вопрос кадрового обеспечения стратегической для страны отрасли атомной энергетики высококвалифицированными специалистами, способными оперативно и качественно решать возникающие производственные задачи. В данной отрасли определилась потребность в конкурентоспособных научных и инженерных кадрах, готовых к развитию новых идей, решению исследовательских, производственных задач, способных к инновационной инженерной деятельности и к принятию нестандартных решений.

Сегодня выпускники инженерных профессий должны владеть знаниями в прорывных направлениях науки и техники, уметь системно и креативно мыслить, быть готовыми к инновационной и предпринимательской деятельности. Особая острота задачи подготовки кадров для атомной энергетики вызвана чрезвычайно высокой

степенью ответственности работников, занятых в этой отрасли, что требует не только соответствующего уровня их первоначальной подготовки, но и способности к самообразованию, саморазвитию, совершенствованию имеющихся и приобретению новых профессиональных умений и навыков [2-4].

Следует отметить, что престиж инженерных профессий в настоящее время растет, однако не является достаточно высоким для инновационного прорыва в области технических наук и стратегических технологий. Следует отметить, что в 2018 г. количество записавшихся на участие в экзаменах возросло по всем предметам, сдаваемым по выбору. Как отметил руководитель Рособрнадзора С.С. Кравцов, это положительная тенденция, так как одиннадцатиклассники готовятся не по трем-четырем, а по пяти-шести предметам, кроме того, с 2015 г. наблюдается «стабильный рост выбора предметов естественно-научного цикла для сдачи ЕГЭ» [5]. Самым популярным предметом по выбору – 62% – остается обществознание (его результаты требуются для поступления на большое число специальностей социально-гуманитарного профиля). Вторым по популярности предметом по выбору стала физика – 29%, что на 2% больше, чем в 2017 году. Другие предметы естественно-научного цикла менее популярны [6]. Несмотря на позитивные изменения, сохраняется диспропорция между высокой востребованностью у абитуриентов мест на экономические и управленческие специальности пониженным интересом к техническим и естественно-научным направлениям. Эту ситуацию частично объясняет «ошибка выбора ЕГЭ по выбору», которая совершается выпускниками еще на школьной скамье из-за нежелания упорно трудиться на этапе подготовки по сложным общеобразовательным предметам [7]. Есть и другие причины:

- низкий уровень интереса школьников к фундаментальной и прикладной науке;
- слабая мотивация выбора инженерно-технического направления развития;
- недостаточный педагогический уровень владения инновационными технологиями, соответствующими современным требованиям науки и техники при ознакомлении школьников с окружающим миром в инженерно-техническом направлении.

Таким образом, профессиональные намерения значительной части выпускников зачастую не соответствуют потребностям реального сектора экономики в квалифицированных технических кадрах и не способствуют их дальнейшему карьерному росту, снижая мотивацию к труду, в целом [8]. Для этого необходимо правильно формировать ценностные ориентиры молодежи с тем, чтобы повышать престиж инженерного образования, который был утрачен в трансформационный период. Для решения этой проблемы требуется участие всех стейкхолдеров (государства, бизнеса и образовательных организаций).

В настоящее время происходят регионально-страновые изменения в распространении атомной генерации. Наиболее динамичное распространение атомной энергетики происходит в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, в Африке, Латинской Америке, на Ближнем Востоке. В связи с этим, стратегия развития ГК «Росатом» формирует особый перечень требований к кадровому составу, способному включаться в решение задач не только в рамках экспортоориентированных, но и перспективных инновационных проектов [9]. Согласно требованиям зарубежных заказчиков, молодые специалисты атомной отрасли должны обладать следующими навыками:

- релевантный опыт и высокая квалификация всех участников команды;
- развитые навыки работы в команде у всех участников проекта;
- развитые навыки межличностных отношений (softskills);
- способность работать в команде с интернациональным составом;

- понимание мирового рынка атомной энергетики, его тенденций и перспектив;
- открытость и гибкость по отношению к зарубежным заказчикам и их культуре;
- знание международных, европейских и национальных стандартов в области использования атомной энергии.

По прогнозам электроэнергетического дивизиона ГК «Росатом», представленного АО «Концерн Росэнергоатом», постепенно происходит изменение географической структуры кадровой потребности (рис. 1).



Рисунок 1 – Прогнозная потребность АО «Концерн Росэнергоатом» в выпускниках вузов по данным отраслевого мониторинга [10] [Forecasted need of Rosenergoatom Concern JSC for university graduates according to industry monitoring data]

В связи с этим, кадровая стратегия АО «Концерн Росэнергоатом» предполагает активное участие предприятий в решении этих задач путем взаимодействия с образовательными организациями разного уровня (рис. 2).

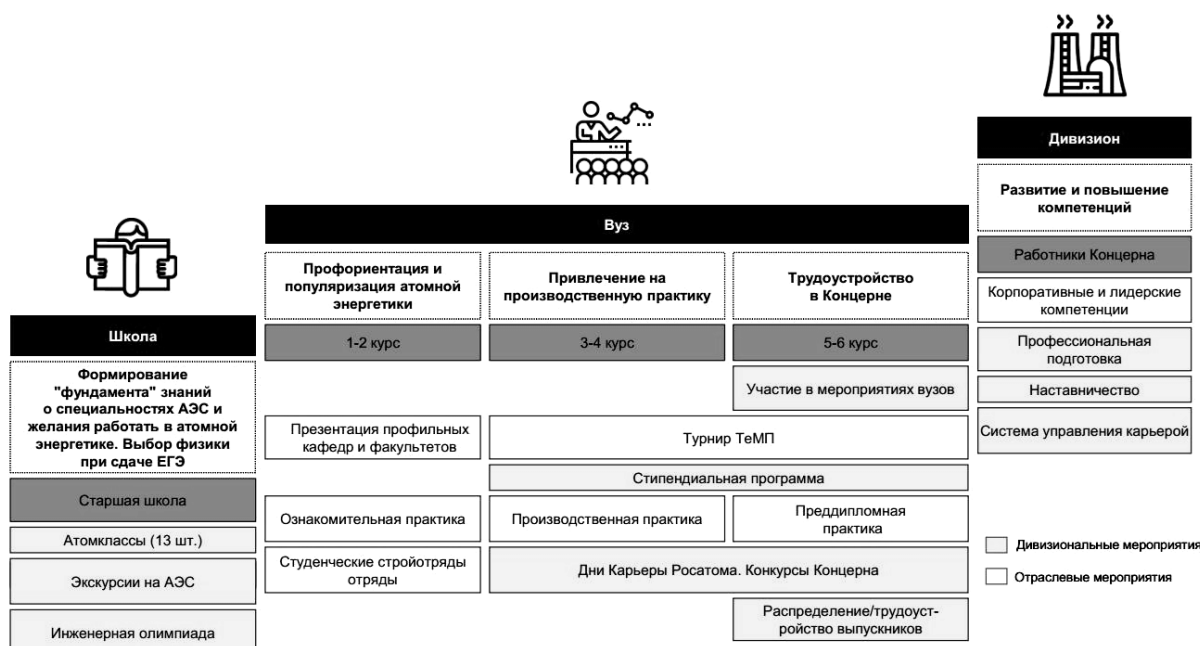


Рисунок 2 – Непрерывность обучения – основа подготовки кадров для АО «Концерн Росэнергоатом» [The continuity of training is the basis of personnel training for Rosenergoatom Concern JSC]

Рост внимания органов власти, промышленных предприятий и образовательных организаций к предпрофессиональной подготовке школьников, создание в крупных городах (Москве, Санкт-Петербурге), региональных центрах детских технопарков для организации проектной работы на реальных кейсах и задачах по перспективным естественно-научным и техническим направлениям, позволяют формировать интерес к решению отраслевых проблем уже в начальной школе [11].

В структуре Национального исследовательского ядерного университет «МИФИ» (далее – НИЯУ МИФИ), осуществляющего подготовку кадров для атомной отрасли, входящего в Консорциум опорных вузов ГК «Росатом», создан Предуниверситарий, направленный на повышение уровня профильной подготовки школьников, выявления и развития их творческих способностей и исследовательских компетенций. Важно отметить, что многие выпускники Предуниверситария в дальнейшем становятся студентами НИЯУ МИФИ. Подобный позитивный опыт следует перенимать вузам малых городов, имеющих для этого соответствующую материальную базу.

Профилизация в школе, сопровождающаяся углубленным изучением предметов определенного цикла (социально-экономических, гуманитарных, естественно-научных, физико-математических и т.д.), реализуется, по данным электронного мониторинга развития образования «Наша новая школа», в половине школ страны и начинается с 9-го, а в некоторых случаях и с 7-8-го классов [6]. Уже в 7-ом классе школьник имеет возможность выбрать общеобразовательные и факультативные предметы для углубленного изучения, чтобы в дальнейшем использовать полученные знания вовремя итоговой аттестации в форме ЕГЭ и заранее готовится к поступлению в определенный вуз. Следовательно, необходимо оказывать влияние на профессиональное самоопределение и установки школьников, формировать их мотивацию к обучению и дальнейшей трудовой деятельности в атомной отрасли еще на этапе среднего и младшего школьного звена [12].

Например, в процессе обеспечения подготовки конкурентоспособных кадров для атомной отрасли и повышения качества образования в городах присутствия предприятий атомной отрасли созданы филиалы НИЯУ МИФИ. И в рамках филиалов на практике осуществляется организация и/или координация ранней предпрофессиональной подготовки школьников по актуальным и востребованным направлениям отрасли. Анализ результатов деятельности ведущих Российских вузов показал, что перспективным направлением работы является организация и проведение летних детских научных школ на базе вузов. В 2017 г. в рамках пилотного проекта на базе Волгодонского инженерно-технического института-филиала НИЯУ МИФИ (далее – ВИТИ НИЯУ МИФИ) стартовала детская летняя научно-техническая школа «Юные атомщики ВИТИ НИЯУ МИФИ» для слушателей младшего и среднего школьного возраста. С этого времени проведено 3 сессии для более 150 учеников общеобразовательных учреждений г. Волгодонска, Ростовской области и других регионов России. Слушателями стали учащиеся 15 образовательных учреждений в возрасте от 7 до 13 лет (1-7 классы), успешно обучающиеся в школе и принимающие активное участие в мероприятиях научно-технического профиля (табл. 1). Занятия проводились методом группового взаимодействия.

Таблица 1 – Мероприятия проекта «Юные атомщики ВИТИ НИЯУ МИФИ» [Events of "Young Nuclear Scientists of VETI NRNU MEPhI" project]

№ сессии	Мероприятия	Формы мероприятий
1	2	3
1	«ВИТИ-лабиринт»	Экскурсия
	«Узнай свой талант»	Профориентационное тестирование
	«Мои большие шаги»	Командная игра-тренинг

Продолжение таблицы 1

1	2	3
	«Как стать творческой личностью»	Тренинг
	«Где и как живут книги в науке»	Библио-урок
	«Чудеса на песке»	Командная игра
	«Презентация»	Мастер-класс
	«Английский язык в профессии»	Урок в лингафонном кабинете
	«Инженерные профессии будущего»	Тренинг
	«Project-future»	Проектная работа
	«Практическая механика»	Физические эксперименты
	«Удивительные электричество и магнетизм»	Физические эксперименты
	«Занимательная физика»	Практическое занятие
	«3Д принтер»	Мастер-класс
	«Lego-digitaldesigner»	Мастер-класс по работе с конструктором
	Встреча-дискуссия ведущими учеными ВИТИ НИЯУ МИФИ «Как стать ученым»	Встреча-дискуссия с ведущими учеными ВИТИ НИЯУ МИФИ
	«Веселые старты»	Спортивный досуг
	«Проектируем будущее»	Презентация проектов
2, 3	«ВИТИ-лабиринт»	Экскурсия
	«Инженерные профессии будущего»	Игра-тренинг
	«Победи свой страх!»	Тренинг
	«Экологические проблемы России и методы их решения»	Проблемная лекция
	«Атомная энергетика: прошлое, настоящее, будущее».	Лекция-практикум на кафедре атомной энергетики
	«Робототехника»	Мастер-класс
	«Пайка»	Мастер-класс
	«Создаем презентации»	Мастер-класс
	«Машиностроение и прикладная механика»	Лекция-практикум на кафедре машиностроения и прикладной механики
	«Экологические проблемы России, методы их решения. Ресурсосберегающие энергетические технологии »	Групповая работа над стендовыми проектами
	«Экологические проблемы России, методы их решения»	Создание видеороликов
	«Математическая kahoot-викторина»	Викторины по занимательной математике с использованием электронного сервиса Kahoot
	«Занимательная физика»	Практическое занятие.
	«Английский для жизни»	Урок английского языка в лингафонном кабинете
	«Практическая механика»	Физические эксперименты
	«Электричество и магнетизм»	Физические эксперименты
	«Веселые старты»	Спортивный досуг
	«Методы работы с учебной литературой и основные приемы поиска информации»	Библиотечный урок
	«Экологические проблемы России, методы их решения»	Презентация-защита групповых проектов

Модераторами, лекторами и тренерами юных слушателей были ведущие специалисты и преподаватели института: доктора и кандидаты технических, физико-математических, философских, социологических наук – профессора и доценты кафедр Атомной энергетики, Физики, Информационных и управляющих систем, Машиностроения и прикладной механики, Экономики и социально-гуманитарных

дисциплин, Иностранных языков ВИТИ НИЯУ МИФИ.

Следует отметить, что ВИТИ НИЯУ МИФИ является стратегическим партнером многих промышленных предприятий г. Волгодонска, являясь источником формирования их кадрового резерва, необходимого для обеспечения условий высокотехнологичного развития. Для усиления интеграционных процессов взаимодействия работодателей, профессионального образования и рынка труда в ВИТИ НИЯУ МИФИ развиваются следующие формы: Ресурсный центр, базовые кафедры на предприятиях, ведется подготовка специалистов по образовательным программам по новым ФГОС СПО из перечня ТОП-50, внедряется проектный подход для разработки исследовательских проектов. Достигнутый опыт и развитая материально-техническая база, высоко квалифицированный профессорско-преподавательский состав, позволяют эффективно реализовать проектную работу со школьниками в рамках летней школы (рис. 3).



Рисунок 3 – Целевые ориентиры организаторов летней школы ВИТИ НИЯУ МИФИ «Юные атомщики»
[Targets of the organizers of "Young Nuclear Scientists" VETI NRNU MEPHI summer school]

Планируемые показатели эффективности проекта (KPI) «Юные атомщики ВИТИ НИЯУ МИФИ» для всех групп стейкхолдеров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Количественно-качественные результаты реализации проекта «Юные атомщики ВИТИ НИЯУ МИФИ» для всех групп стейкхолдеров [Quantitative and qualitative results of “Young Nuclear Scientists of VETI NRNU MEPhI” project for all groups of stakeholders]

Качественные показатели проекта	Количественные показатели проекта			
	для вуза	для отрасли	для участников	для города/области
Устойчивый интерес к научно-техническому творчеству среди младших и средних школьников	Положительная динамика числа абитуриентов, повышение уровня среднего балла ЕГЭ, увеличение контрольных цифр приема, рост бюджетных доходов, повышение уровня трудоустройства выпускников	Сокращение дефицита высококвалифицированных кадров на рынке труда, снижение расходов на НИОКР за счет использования собственного интеллектуального потенциала	Более высокий уровень оплаты труда при трудоустройстве за счет большей конкурентоспособности	Рост уровня благосостояния населения за счет: – роста темпов социально-экономического развития; – развития производства и увеличения ВРП; – повышения конкурентоспособности и привлекательности территории для инвесторов, высококвалифицированных специалистов.
Популярность инженерно-технического направления в игровом профориентационном выборе юных слушателей				
Спрос на оказание дополнительных профориентационных образовательных услуг инженерно-технического направления				
Успешное участие слушателей в профориентационных групповых мероприятиях, проектах, конкурсах, выставках различного уровня	Позиции вуза в национальных и международных рейтингах, в т.ч. WS/AS, вхождение вуза в топ-30% лучших вузов региона	Сокращение адаптационного периода молодых специалистов, снижение расходов на брак и простои	Получение дополнительного дохода при участии в различных грантовых программах для одаренной молодежи, повышение рейтингов лидеров дошкольного образования [13]	
Развитие сетевого взаимодействия образовательных организаций на местном и региональном уровнях	Показатели академической мобильности, количество студентов, прошедших практику на профильных предприятиях	Рост количества потенциальных исполнителей по заявкам на НИОКР [14]	Сокращение расходов на образование за счет возможности посещать занятия ведущих ученых в своем регионе/городе	

Известно, что успешное формирование профессионализма личности базируется на сочетании индивидуально-психологических характеристик с социальными чертами. Для достижения профессионализма в деятельности следует обладать определенными «стартовыми возможностями»: способностями, мотивацией, специальными знаниями,

умениями, квалификацией, целеполаганием [4]. При формировании дорожной карты летней школы были разработаны такие мероприятия, которые способствовали формированию этих стартовых возможностей у школьников. Программа летней школы включила в себя проведение экскурсий, мастер-классов, командных игр, работу над стендовыми проектами, практические и лабораторные занятия по физике, робототехнике, математике, иностранному языку, встречи учащихся с ведущими учеными ВИТИ НИЯУ МИФИ и ведущими специалистами, работающими в атомной отрасли.

Большее внимание было уделено занятиям по физике, поскольку эта дисциплина является базовой при подготовке специалистов, работающих в сфере атомной промышленности. Со школьниками были проведены лабораторные занятия по механике и электричеству (рис. 4). Ребята научились проводить прямые и косвенные измерения физических величин с определенной точностью, устанавливать функциональную зависимость между независимо измеряемыми величинами, обрабатывать полученные экспериментальные данные, округлять полученные величины и осуществлять окончательную запись результатов измерений.

Следует отметить, что именно в реальных исследованиях становятся востребованными навыки конструирования, развивается моторика тонких мышечных действий, внимательность и аккуратность. У школьников развиваются навыки и умения проведения физических экспериментов, выделения основных черт явлений на фоне второстепенных факторов, установления причинно-следственных связей и количественных закономерностей. Данные навыки и умения необходимы для проведения любого естественно-научного исследования, и в инженерной деятельности в целом.

Особый интерес у Юных атомщиков вызвали занятия по занимательной физике. Ребята изучали свойства ленты Мебиуса и плазмозара, маятника Ньютона, волнового и математического маятников (рис. 5).



Рисунок 4 – Физические эксперименты по электричеству в летней научно-технической школе на базе ВИТИ НИЯУ МИФИ [Physical experiments on electricity at the summer scientific and technical school of VETI NRNU MPhI]



Рисунок 5 – Занятия по занимательной физике в летней научно-технической школе на базе ВИТИ НИЯУ МИФИ [Classes in recreational physics at the summer scientific and technical school of VETI NRNU MPhI]

Со школьниками были проведены занятия по робототехнике с применением образовательных конструкторов серии LEGO Mindstorms. В ходе занятий были реализованы следующие задачи:

- сформированы понятия основ робототехники;

- расширены заложенные творческие способности в области техники;
- повышен уровень коммуникативных способностей, мотивированных на достижение высокого результата.

Следует отметить, что именно робототехника позволяет школьникам ориентироваться на специальности, связанные с электроникой, программированием, нано технологиями.

Новое обучение сочетало индивидуальные методы работы (позволяющие юным исследователям проявить свою уникальность и показать себя с лучшей стороны) с коллективными и групповыми формами (объединяющими, сплачивающими), способствующими поддержанию конструктивного взаимодействия на пути к научно-исследовательским вершинам. Все мероприятия проводились на базе ВИТИ НИЯУ МИФИ в специально оборудованных лабораториях и аудиториях, что позволило обеспечить высокий уровень проведения занятий. Юные слушатели узнали о прикладных областях инженерного труда и получили информационную справку о способах получения профессии. По окончании реализации проекта обучающиеся демонстрировали теоретические знания и практические навыки по направлениям подготовки, специальностям, компетенциям выпускаемых вузом специалистов.

В ходе реализации экспериментального проекта детской летней научно-технической школы были разработаны и апробированы методики индивидуального обучения, адаптированные под возраст и способности каждого конкретного ребенка. В результате анализа анкет опрашиваемых участников Летней школы было выявлено, что наибольший интерес для детей представляли работы в таких направлениях, как:

- пайка – 24%,
- робототехника – 19%,
- занятия в мастерской – 19%.

Несколько меньший интерес был проявлен к межкультурной и экологической играм, языковым и спортивным занятиям:

- деловая игра по межкультурной коммуникации «Вокруг света» – 14%,
- развивающая экологическая игра «Рыболовство» – 10%,
- занятия по английскому языку – 7%,
- спортивные занятия – 7%.

Можно сделать вывод, что прикладная деятельность с достижением конкретных результатов – работа руками в лабораториях – обладает большей мотивирующей силой для формирования устойчивого интереса к технической и инженерной деятельности при осуществлении ранней профессиональной ориентации школьников.

По завершении проекта у младших и средних школьников отмечен рост интереса к техническим наукам (с 23% до 56%), наряду с этим у старших школьников зафиксировано желание и намерение продолжить обучение в техническом вузе на инженерных специальностях (с 14% до 27%). Многие слушатели поступили в технические кружки и секции, двое детей в 2018 г. занялись научными исследованиями на кафедре физики ВИТИ НИЯУ МИФИ и успешно выступили с докладом о результатах своей работы на студенческой научной конференции.

Качественными критериями оценки успешности работы детской летней научно-технической школы стали положительный общественный резонанс и отзывы участников о мероприятиях проекта, освещенных на сайте института.

Таким образом, в рамках детской летней научно-технической школы «Юные атомщики ВИТИ НИЯУ МИФИ» реализуются следующие направления:

- ранняя инженерно-техническая профориентация и формирование у школьников интереса к технической и инженерной деятельности;
- информационное сопровождение и продвижение позитивного образа

инженерных профессий среди школьников;

- реализация системы профориентационных и образовательных мероприятий по выявлению и поддержке технически одаренных и социально активных школьников;
- создание системы повышения мотивации молодого поколения к изобретательской и исследовательской деятельности на основе формирования элементарных исследовательских и научно-технических компетенций (навыков);
- участие школьников в интеллектуальных конкурсах, соревнованиях по научно-техническим направлениям.

При проведении летней детской научно-технической школы были реализованы новые методы обучения и воспитания, внедрены передовые образовательные технологии для работы со школьниками, способствующие популяризации инженерно-технического образования и выявлению, поддержке и развитию конструкторских и творческих способностей и талантов у учащихся общеобразовательных организаций.

В целом важно отметить, что для поддержания высокой конкурентоспособности атомной отрасли следует внести изменения в систему подготовки кадров, которую нужно проводить с первых лет обучения в школе. Необходимо выстроить такую систему сетевого взаимодействия вузов и школ, которая позволит на ранних этапах выявлять талантливых детей и осуществлять их профориентационное сопровождение. За последние годы на базе отраслевых вузов удалось создать современные лаборатории, что позволит открыть новые возможности и запустить систему поддержки юных талантливых исследователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стенографический отчёт о заседании Совета по науке и образованию от 27 ноября 2018 года. [Электронный ресурс] / Выступление В.В. Путиной. – URL: <http://fgosvo.ru/news/21/3911> (дата обращения: 29.11.2018).
2. Руденко, В.А. Ситуативно-личностные факторы организационной и профессиональной приверженности культуре безопасности студентов-атомщиков ВИТИ НИЯУ МИФИ [Текст] / В.А. Руденко, Н.И. Лобковская, Ю.А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 3(28). – С. 87-97.
3. Евдошкина, Ю.А. Практико-ориентированная технология формирования культуры безопасности выпускников, ориентированных на работу в атомной отрасли [Текст] / Ю.А. Евдошкина, В.А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4 (25). – С. 122-129.
4. Лобковская, Н.И. Профессиональное целеполагание как составляющая культуры безопасности будущего специалиста-атомщика [Электронный ресурс] / Н.И. Лобковская, Ю.А. Евдошкина // Современное образование. – 2017. – № 1. – С. 32-38. – URL: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (дата обращения: 01.06.2018).
5. Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки [Электронный ресурс]. – URL: http://obrnadzor.gov.ru/ru/press_center/news/index.php?id_4=6666 (дата обращения: 12.08.2018).
6. Электронный мониторинг развития образования «Наша новая школа» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kpmo.ru/nns/graph-view> (дата обращения: 15.08.2018).
7. Шафранов-Куцев, Г.Ф. Профориентационные практики вуза: монография / Г.Ф. Шафранов-Куцев, С.Н. Толстогузов. – Москва : Логос, 2014. – 196 с.
8. Семенова, В.В. Паттерны вертикальной мобильности профессионалов в период социальных трансформаций: социобиографический подход [Текст] / В.В. Семенова, М.Ф. Черныш, А.В. Ваньке // Социальная мобильность в России: поколенческий аспект [монография]. – Институт социологии РАН. – Москва : Институт социологии РАН, 2017. – С. 157-178.
9. Managing human resources in the field of nuclear energy. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2009. – URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1397_web.pdf (дата обращения: 30.07.2018).
10. Прогнозная потребность АО «Концерн Росэнергоатом» в выпускниках вузов по данным отраслевого мониторинга. – Отраслевой карьерный портал Росатома. – URL: www.monitoringrf.ru (дата обращения: 31.08.2018).
11. Ivanova, E.Yu., Antonov, Yu. E. Early Career Guidance as an Innovative Form of Advancing Self-

- Determination Preschoolers // Power, Violence and Justice: Reflections, Responses and Responsibilities. View from Russia [Electronic resource]: collected papers XIX ISA World Congress of Sociology Power, Violence and Justice: Reflections, Responses and Responsibilities (Toronto, Canada, July 15-21, 2018). Editor-in-Chief V. Mansurov. Moscow : RSS; FCTAS RAS. 2018. – P. 218-231.
12. Попова, И.П. Специфика смыслов построения карьеры в сфере науки и технологий [Текст] / Смыслы жизни российской интеллигенции. Под общей ред. Ж.Т. Тощенко // РГГУ, Социолог. фак-т, Центр социолог. исследований. – Москва : РГГУ, 2018. – С. 140-148.
 13. Антонов, Ю.Е. Формирование рейтингов лидеров дошкольного образования России [Текст] / Ю.Е. Антонов, Е.И. Пронина // Методист. – 2018. – №2. – С. 58-67.
 14. Ключарев, Г.А. Инновационные предприятия в вузах: вопросы интеграции с реальным сектором экономики [Текст] / Г.А. Ключарев, М.С. Попов, В.И. Савинков. – Москва : Юрайт, 2017. – 488 с.

REFERENCES

- [1] Stenograficheskiy otchyot o zasedanii Soveta po nauke i obrazovaniyu ot 27 noyabrya 2018 goda [Stenographic Report on the Meeting of the Science and Education Council on November 27, 2018.]. Vy'stuplenie V.V. Putina [Speech by V.V. Putin]. URL: <http://fgosvo.ru/news/21/3911> (in Russian).
- [2] Rudenko V.A., Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Situativno-lichnostny'e faktory` organizacionnoj i professional'noj priverzhennosti kul'ture bezopasnosti studentov-atomshhikov VITI NIYaU MIFI [Situational and Personal Factors of Organizational and Professional Adherence to the Safety Culture of VETI NRNU MEPhI Students]. Global'naya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2018. № 3(28). P. 87-97.
- [3] Evdoshkina Yu.A., Rudenko V.A. Praktiko-orientirovannaya texnologiya formirovaniya kul'tury` bezopasnosti vy`pusknikov, orientirovanny`x na rabotu v atomnoj otrasli [Practice-Oriented Technology of Forming a Safety Culture of Graduates Focused on the Nuclear Industry Work]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. № 4 (25). – P. 122-129.
- [4] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional'noe celepolaganie kak sostavlyayushhaya kul'tury` bezopasnosti budushhego specialista-atomshhika [Professional Goal Setting as a Safety Culture Component 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).
- [5] Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere obrazovaniya i nauki [Federal Service for Supervision in Education and Science]. URL: http://obrnadzor.gov.ru/ru/press_center/news/index.php?id_4=6666 (in Russian).
- [6] E`lektronny`j monitoring razvitiya obrazovaniya «Nasha novaya shkola» [Electronic Monitoring of Development of Education "Our New School"]. URL: <http://www.kpmo.ru/nns/graph-view> (in Russian).
- [7] Shafranov-Kucev G.F., Tolstoguzov S.N. Proforientacionny'e praktiki vuza: monografiya [Vocational Guidance Practices of the University: monograph]. Moskva. Logos [Moscow. Logos]. 2014. 196 p.
- [8] Semenova V.V., Cherny`sh M.F., Van`ke A.V. Patternny` vertikal`noj mobil`nosti professionalov v period social`ny`x transformacij: sociobiograficheskiy podxod [Patterns of Vertical Mobility of Professionals in a Period of Social Transformation: Social and Biographical Approach]. Social'naya mobil`nost` v Rossii: pokolencheskiy aspekt. Monografiya [Social Mobility in Russia: Generational Aspect [monograph]]. Moskva. Institut sociologii RAN [Moscow. Institute of Sociology, RAS]. 2017. P. 157-178.
- [9] Managing human resources in the field of nuclear energy. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2009 URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1397_web.pdf (in Russian).
- [10] Prognoznaya potrebnost` AO «Koncern Rose`nergoatom» v vy`pusknikax vuzov po dannym otraslevogo monitoring [Predictive Need of Rosenergoatom Concern JSC for University Graduates According to Industry Monitoring Data]. Otrasevoj kar`erny`j portal Rosatoma [Rosatom Industry Career Portal]. URL: www.monitoringrf.ru (in Russian).
- [11] Ivanova E.Yu., Antonov Yu.E. Early Career Guidance as an Innovative Form of Advancing Self-Determination Preschoolers // Power, Violence and Justice: Reflections, Responses and Responsibilities. View from Russia [Electronic resource]: collected papers XIX ISA World Congress of Sociology Power, Violence and Justice: Reflections, Responses and Responsibilities (Toronto, Canada, July 15-21, 2018). Editor-in-Chief V. Mansurov. Moscow : RSS; FCTAS RAS. 2018. –

- P. 218-231.
- [12] Popova I.P. Specifika smy'slov postroeniya kar'ery v sfere nauki i tehnologij [Specificity of Career Building Meanings in Science and Technology Smysly zhizni rossijskoj intelligencii [Meanings of Russian Educated People Life]. Pod obshhej red. Zh.T. Toshhenko [Edited by Zh.T. Toshhenko]. RGGU, Sociolog. fak-t, Centr sociolog. Issledovanij [RSUH, Sociological Department, Center of Sociology Research]. Moskva : RGGU [Moscow. RSUH]. 2018. – P. 140-148.
- [13] Antonov Yu.E., Pronina E.I. Formirovanie rejtingov liderov doskol'nogo obrazovaniya Rossii [Rating Formation of Preschool Education Leaders in Russia]. Metodist [Methodist]. 2018. №2. P. 58-67.
- [14] Klyucharev G.A., Popov M.S., Savinkov V.I. Innovacionny'e predpriyatiya v vuzax: voprosy` integracii s real'ny'm sektorom e`konomiki [Innovative Enterprises in Universities: Issues of Integration with the Real Economy]. Moskva. Yurajt [Moscow. Yurait]. 2017. 488 p.

Early Professional Orientation as a Factor of Nuclear Industry Strategic Development

V.A. Rudenko¹, M.V. Golovko,² N.V. Ermolaeva³, N.I. Lobkovskaya⁴

*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: 0000-0002-4835-9800

WoS ResearcherID: J-2461-2016

e-mail: MVGolovko@mephi.ru

³ORCID iD: 0000-0001-6547-7553

WoS Researcher ID: V-4783-2018

e-mail: NVErmolaeva@mephi.ru

⁴ORCID iD: 0000-0002-0297-5800

WoSResearcherID: O-3879-2018

e-mail: NILobkovskaya@mephi.ru

Abstract – The article discusses the strategy of the formation of highly qualified human resources for the nuclear industry. It identifies the need of a high level of schoolchildren initial training in the field of technical sciences for the successful mastery of professional competencies. The paper emphasizes the importance of early professional orientation of schoolchildren, which motivates them to choose engineering specialties and purposefully prepare for entering to a specialized university from the first years of schooling. The successful experience of the vocational guidance project in the framework of the children's summer scientific and technical school "Young Nuclear Scientists" is analyzed. The important role of sectoral universities in the early vocational orientation of potential applicants is noted.

Keywords: early vocational orientation, engineering and technical motivation of schoolchildren, professional self-determination, summer scientific and technical school.

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

УДК 330.101.8

**ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ
ПОВЕДЕНЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОТРУДНИКОВ В АСПЕКТЕ
МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
(НА ПРИМЕРЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»)**

© 2018 И.Е. Лыскова

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

В работе актуализируются основные задачи менеджмента качества, обосновывается значимость совершенствования подходов к управлению человеческими ресурсами организации, формирования эффективных моделей качества человеческих ресурсов в процессе стратегического развития организации на примере Госкорпорации «Росатом».

Ключевые слова: организация, менеджмент качества, управление человеческими ресурсами, качество человеческих ресурсов, Госкорпорация «Росатом».

Поступила в редакцию: 10.09.2018

Ключевые задачи социально-экономической эволюции России предусматривают острую необходимость ускорения темпов экономического роста, инновационного развития, повышения уровня социального благополучия и качества жизни населения. Стремительное развитие информационных технологий, осознание ценности инноваций и повышения технологического уровня производства, рост производительности труда, качественное обновление бизнес-процессов, активное внедрение в производство ресурсосберегающих технологий, совершенствование системы охраны и безопасности труда, новое качество самих человеческих ресурсов определяют базовые характеристики современной экономики знаний [1-2].

Концепция управления знаниями, как система управления интеллектуальными активами организации, оформилась в начале 90-х годов XX века. Развитие интеллектуальных технологий, направленных на обеспечение качества производственных процессов, предусматривает совокупность познавательных, эмоционально-психологических, социально-экономических ресурсов организации. В современной социально-экономической ситуации концепция управления знаниями базируется на трансформации индивидуальных знаний и компетенций сотрудников в систему эффективных интеллектуальных технологий, интеллектуального потенциала и интеллектуального капитала организации, формирующих основы системы качества человеческих ресурсов [3].

Важно выделить ряд факторов, определяющих возрастающую роль знаний. Современные бизнес-процессы характеризуются высоким уровнем сложности и технологичности. Соответственно предъявляются более высокие требования к уровню знаний, квалификации и компетенции сотрудников. Возрастающие требования к качеству продукции предполагают непрерывное профессиональное развитие, совершенствование системы мотивации персонала, создание необходимых условий в

организации для обеспечения высоких показателей эффективности и качества бизнес-процессов, развития системы качества. Основные задачи работы предполагают актуализацию роли человеческих ресурсов, как мощного фактора эффективности современной организации, выявление сущности качества человеческих ресурсов организации, специфики поведенческих моделей сотрудников, связанных с особенностями национальной экономической культуры в целом и корпоративной культурой в частности [4-5].

Важно отметить, что политическая и социально-экономическая ситуация последней четверти XX века предопределила значимость новых подходов к формированию комплексных систем управления качеством продукции, товаров, услуг, бизнес-процессов, систем управления. Постепенно оформилась новая *концепция менеджмента качества* (Total Quality Management). Ключевыми принципами новой системы управления качеством стали принципы стратегической ориентации на потребителя, возрастающей роли руководства в процессе формирования эффективной системы управления качеством, повышения вовлечённости работников в процесс управления качеством, обеспечения процессного и системного подходов к управлению, постоянного улучшения, принятия эффективных решений, формирования взаимовыгодных отношений с поставщиками (ISO 9000, ISO 9001, QS-9000).

Совершенствование бизнес-процессов организации связано с улучшением деятельности, формированием менеджмента систем и процессов, политики организации в области качества, эффективной системы менеджмента ресурсов, повышением ответственности руководства, социальной ответственности организации и др. (ISO 9004:2000, ICCSR 26000:2011). Широкое распространение в практике инноваций, нацеленных на развитие организации, получила проектная деятельность (ISO 10006, ISO 21500). Современная экономика знаний предъявляет высокие требования к сотрудникам организации.

Концепции управления качеством получили мировое признание. Концепция управления качеством человеческих ресурсов также обретает исключительную значимость. Всё более очевидной становится роль человеческого фактора в системе производства. Преобладающий ранее технократический подход в управлении персоналом стал утрачивать свои позиции. В 1980-е гг. особое внимание в системе западного менеджмента стало уделяться задачам непрерывного развития и совершенствования нематериальных активов организации, то есть самих человеческих ресурсов. Именно тогда в научный оборот вводится понятие человеческого капитала; выявляется сущность политики организации, стимулирующей удержание работников организации; осознаётся необходимость эффективного планирования человеческих ресурсов; обосновываются задачи управления результативностью и др. В 1990-е гг. в западной практике управления стало уделяться внимание модели стратегического управления человеческими ресурсами. Эта модель, прежде всего, была направлена на стратегическое планирование человеческого капитала. Человеческий капитал определялся как совокупность опыта, навыков, умений и знаний, которыми обладают сотрудники организации. Признавалась значимость человеческого потенциала в организации. Интеллект, знания, компетенции сотрудников определялись как основа инновационного развития любой организации [6-8].

Не меньший интерес вызывал и японский взгляд на задачи формирования качества человеческих ресурсов организации. Осознание важности проблем качества в Японии произошло раньше, чем на Западе. Одним из основателей японской модели качества считают К. Исикаву. Управление качеством вошло в систему государственной политики. В массовое сознание Японии внедрилась идея всеобщего контроля качества, причастности каждого японца к управлению качеством. К концу 1960-х гг. оформилась

японская модель системы управления качеством. Её специфика предусматривала следующие характеристики:

- 1) всеобщее управление качеством в организации и причастность к этому процессу всех работников;
- 2) подготовка и повышение квалификации кадров в области управления качеством;
- 3) эффективное функционирование кружков качества;
- 4) инспектирование и оценка деятельности по управлению качеством;
- 5) использование статистических методов;
- 6) внедрение общенациональной программы по контролю качества.

Особенности японской системы управления качеством на протяжении ряда десятилетий привлекают внимание специалистов в области теории и практики менеджмента. Важно отметить, что персонал японских организаций имеет очень высокий уровень профессиональной квалификации, обладает широким кругом компетенций, отличается наличием неиссякаемой мотивации трудовой деятельности, исключительной степенью ответственности и дисциплины труда. В современных условиях широкий интерес вызывает японская философия и практика кайдзен. Кайдзен, как система и процесс непрерывного совершенствования, характеризуется, прежде всего, специфическим стилем мышления сотрудников организации. Цель кайдзен – стремление к совершенствованию современных бизнес-процессов. Согласно концепции кайдзен все усилия организации должны быть направлены на удовлетворение потребностей и обслуживание потребителей. Кроме того, кайдзен формирует уникальный способ мышления, ориентированный на улучшение технологических, организационных, управленческих процессов (процессное мышление). Общеизвестными рациональными инструментами непрерывного совершенствования являются высокая дисциплина, эффективное управление временем, развитие профессиональных и личностных навыков, сотрудничество, соучастие и полная вовлечённость в процесс, высокая мораль, эффективные коммуникации, определяющие существенные компоненты качества человеческих ресурсов [9-10].

Отличительными характеристиками субъективных свойств личности, определяющими *качество человеческих ресурсов, процесс совершенствования интеллектуальных технологий*, можно признать *креативность*, основанную на нестандартных подходах к выполнению профессиональных задач и принятию управленческих решений; *интуицию*, основанную на личном опыте, неординарных интеллектуальных способностях сотрудника; *бриколаж*, предусматривающий способность специалиста максимально качественно выполнить поставленные задачи в условиях ограниченности ресурсов; *гибкую адаптацию* сотрудника к постоянно меняющимся условиям внутренней и внешней среды; *сжатие*, как способность совершенствовать структуру и содержание работы в условиях экономии времени; *инновацию*, требующую новых подходов к решению профессиональных задач в условиях неопределённости, повышенного риска, отхода от существующих практик и традиций; *непрерывное профессиональное развитие*, основанное на высокой внутренней мотивации сотрудника и приверженности интересам организации. Современная экономика нуждается в новых идеях, уникальных подходах к решению нестандартных задач, которые могут реализовать люди, обладающие новыми технологиями мышления, высоким интеллектуальным уровнем, наделённые творческим, инновационным потенциалом, нацеленные на достижение высоких показателей в процессе и результате труда. В плане обеспечения качественно новых подходов к управлению человеческими ресурсами значительный интерес вызывает теория и практика *реинжиниринга человеческих ресурсов* [11-14].

Уникальным примером организации эффективной модели управления человеческими ресурсами стоит признать систему управления персоналом Госкорпорации «Росатом».

Непрерывные изменения в современной мировой экономике требуют своевременной и адекватной реакции организации. Необходимо качественное и глубокое осознание ключевых задач, продиктованных изменениями внешней среды организации. Для Госкорпорации «Росатом» в области управления персоналом актуальны ряд позиций:

1) обеспечение поддержки руководителей посредством развития единого цифрового пространства и мобильных сервисов, позволяющих быстро реагировать на запросы, принимать решения и обеспечивать обратную связь сотрудникам;

2) сокращение продолжительности и стоимости операций и высвобождение дополнительных ресурсов у служб управления персоналом для решения более сложных и стратегически важных бизнес-задач посредством эффективной автоматизации и роботизации рутинных кадровых процессов;

3) развитие системы дистанционного обучения, что существенно повысит доступность, скорость и масштабы образовательной деятельности организации, непрерывного повышения квалификации сотрудников.

Основные тенденции развития персонала определяются миссией, стратегическими целями и системой ценностей организации. Гуманистическая сущность миссии Госкорпорации «Росатом» очевидна: «Обеспечить мир чистой, безопасной, доступной энергией и инновациями на основе атомных технологий». Воплощение миссии соответствует заявленным стратегическим целям:

- повышение доли продукции Госкорпорации «Росатом» на международных рынках;
- снижение себестоимости продукции и сроков протекания процессов;
- внедрение новых продуктов для реализации на российском и международном рынках.

Неотъемлемой частью корпоративной культуры, определяющей качество бизнес-процессов, в том числе и систему менеджмента качества человеческих ресурсов, следует признать комплексную систему ценностей организации. Их шесть:

1) установка быть *«на шаг впереди»* характеризует стремление организации быть лидером на глобальных рынках, быть всегда впереди в технологиях, знаниях и качествах сотрудников;

2) *«ответственность за результат»* как ценность в модели профессионального поведения предполагает личную ответственность каждого за результат своей работы и качество своего труда перед государством, отраслью, коллегами и заказчиками; высокий уровень требований в процессе трудовой деятельности; ориентацию на высокие показатели результативности труда;

3) *«эффективность»* определяется воплощением наилучших вариантов решения задач при выполнении поставленных целей, максимально рациональным использованием ресурсов компании и постоянным совершенствованием рабочих процессов;

4) *«единая команда»*, объединённая общими целями и ориентацией на достижение уникальных результатов;

5) *«уважение»* к заказчикам, партнерам и поставщикам, внимание к интересам и запросам сотрудников, признание значимости истории, традиций, достижений отрасли;

6) *«безопасность»* как наивысший приоритет предусматривает полную безопасность людей и окружающей среды [15].

Организационные ценности, базовые принципы профессиональной деятельности

Госкорпорации «Росатом» закреплены в Кодексе этики и служебного поведения сотрудников. Правила поведения, содержащиеся в Кодексе, касаются противодействия коррупции, обеспечения сохранности ресурсов, имущества и информации, охраны труда и окружающей среды, обеспечения промышленной безопасности, предотвращения конфликтных ситуаций и регулирования конфликтов интересов, а также соблюдения корпоративного имиджа. Кодекс призван способствовать:

- предупреждению рисков, возникающих в связи с нарушением законодательства и этических принципов поведения, принятых в Корпорации;
- укреплению деловой репутации Корпорации;
- внедрению ценностей Корпорации [16].

Миссия и цели организации определяют ключевые направления деятельности: развитие прикладной и фундаментальной науки; становление и развитие ядерной медицины; развитие ядерного оружейного и ядерного энергетического комплексов; обеспечение ядерной и радиационной безопасности; развитие атомного ледокольного флота и некоторые другие. Современные задачи развития атомной отрасли требуют основательных подходов к совершенствованию кадровой стратегии организации. Госкорпорация «Росатом» перспективы отрасли связывает с задачами развития человеческого потенциала организации. В основе решения данной задачи – внедрение эффективной кадровой политики.

Стоит обратить внимание на количественную и качественную структуру персонала организации. По официальным данным [17] в 2017 г. в Госкорпорации «Росатом» и ее организациях работало 247,3 тыс. чел. (в том числе в зарубежных организациях – 1,85 тыс. человек). Количество сотрудников по категориям персонала распределилось следующим образом:

- руководители – 31,1 тыс. чел.;
- специалисты – 98,8 тыс. чел.;
- служащие – 10,3 тыс. чел.;
- рабочие – 107,1 тыс. чел..

Количество сотрудников с высшим образованием составляет 139,5 тыс. чел. (56,4% от общего числа сотрудников). Количество кандидатов и докторов наук – более 3,3 тыс. человек (1,35% от численности).

Средний возраст сотрудников составил 43,5 года (руководителей – 46,6 лет). Доля сотрудников в возрасте до 35 лет – 31,3%. Коэффициент текучести кадров по итогам 2017 г. составил 10,01%. За последние три года наблюдается снижение данного показателя, обусловленное конкурентоспособностью предлагаемого Корпорацией пакета вознаграждения и льгот (в 2016 г. коэффициент текучести составлял 10,45%, в 2015-м – 11,15%).

Закрепилась тенденция оптимизации численности персонала Госкорпорации «Росатом», связанная с процессами повышения эффективности деятельности отрасли, в частности: автоматизацией рабочих процессов, внедрением новых производственных и управленческих технологий, выведением ряда функций на аутсорсинг.

Значительное внимание в системе совершенствования человеческих ресурсов организации отводится централизованному процессу формирования управленческого кадрового резерва. Участники зачисляются в кадровый резерв по результатам процесса планирования карьеры и преемственности. Управленческий кадровый резерв разделен на четыре уровня с целью оптимального подбора программы развития под целевой уровень должности резервистов. Уровень кадрового резерва определяется исходя из целевой должности кандидата в резерв:

- «Достояние Росатома» (руководители высшего звена);
- «Достояние Росатома. Базовый уровень» (введен в 2017 г.);

- «Капитал Росатома» (руководители среднего звена);
- «Таланты Росатома» (высокопотенциальные специалисты и руководители начального уровня управления).

По итогам 2017 года в управленческом кадровом резерве состояли 2384 человек (из них 80,3 % – мужчины, 19,7 % – женщины). К отбору в состав кадрового резерва предъявляются серьезные требования, одно из которых – наличие следующего утвержденного карьерного шага. Это позволяет понять, на какую должность готовится резервист, и в дальнейшем отслеживать его развитие для занятия целевой позиции. В 2017 г. участники резерва прошли модульную программу обучения, направленную на развитие управленческих знаний и навыков. Как отмечается, по итогам 2017 г. 45% участников управленческого кадрового резерва получили назначение на руководящую должность (за последние три года эта доля выросла на 11%).

Жизнь требует освоения новых компетенций сотрудниками. Определённые коррективы в этом отношении характеризуют и атомную отрасль. С одной стороны, цифровые технологии становятся более простыми и понятными. С другой, стремительно развиваются новые технологии, требующие освоения. Сотрудникам нужно осваивать не просто компетенции по управлению большими массивами данных или IT-системами, важно научиться делать это максимально быстро, эффективно и безопасно для атомной отрасли. Еще одной новой компетенцией признаётся умение работать в удаленных командах. Сегодня современные технологии позволяют решать профессиональные задачи дистанционно. Освоение новых компетенций связывают с появлением цифровых продуктов, необходимостью их тестирования, маркетингового продвижения и логистического сопровождения до клиента. Всё это требует непрерывного обучения.

Развитие компетенций и обучение сотрудников – один из приоритетов кадровой политики. В 2017 г. подготовку, переподготовку, обучение и повышение квалификации прошли более 116 тыс. сотрудников. Среднее количество часов обучения на одного сотрудника – 24,5. Например, доля обученных сотрудников за 2017 г. составила 47% от среднесписочной численности персонала.

Главная отраслевая площадка для обучения специалистов и руководителей – Корпоративная Академия «Росатома». Академия реализует проекты, направленные на развитие корпоративной культуры, формирование лидерского потенциала сотрудников, а также готовит новое поколение рабочих и инженеров по стандартам WorldSkills. В целях повышения эффективности обучения в 2017 г. реализовано несколько инициатив, направленных на оптимизацию расходов на обучение без сокращения объема обучения: внедрение гибких (дистанционных) форматов, локализация обучения, повышение посещаемости учебных мероприятий.

Одним из значимых показателей эффективности организации в целом и системы управления персоналом, в частности, считается вовлечённость сотрудников в организационные процессы. В 2017 г. в исследовании участвовали 44 672 сотрудника в 68 организациях Госкорпорации «Росатом». По итогам ежегодного исследования уровень вовлеченности сотрудников отрасли достиг 83%, что соответствует уровню лучших работодателей России (85 %). Для повышения уровня вовлеченности сотрудников в 2017 г. реализован новый формат «Дней Информирования». Это прямая линия, в рамках которой более 16 тыс. сотрудников имели возможность в режиме реального времени слушать выступление генерального директора Корпорации и задавать ему вопросы. В рамках данного проекта было собрано и подготовлено более 6700 ответов на вопросы сотрудников по ключевым темам. Целевая установка на ближайшие 3 – 5 лет – удержать средний уровень вовлеченности сотрудников отрасли на уровне мировых лидеров технологических отраслей (не ниже 72%) и обеспечить

данный уровень вовлеченности в 90% организаций отрасли, принимающих участие в исследовании.

Высокие показатели качества человеческих ресурсов определяются эффективностью социальной политики Госкорпорации «Росатом». Она направлена на достижение следующих целей:

- повышение привлекательности Госкорпорации «Росатом» как работодателя;
- привлечение и адаптация молодых и высокопрофессиональных специалистов;
- повышение лояльности сотрудников;
- повышение эффективности социальных расходов.

Структура корпоративных социальных программ и расходы по ним определяются на основании приоритетов корпорации в работе с персоналом:

- важности сохранения здоровья и трудового долголетия;
- поддержки здоровья тех, кто работает в условиях труда, отклоняющихся от нормальных (по этой причине на дополнительное личное страхование сотрудников и их санаторно-курортное лечение направлен основной объем средств);
- развитии сложившихся в Госкорпорации «Росатом» традиций (в российской атомной отрасли всегда уделялось большое внимание бывшим сотрудникам, которые много лет проработали в отрасли; ветеранам оказывают социальную поддержку, вовлекают в участие в различных мероприятиях, в том числе в работу с молодежью);
- реализации государственной политики, направленной на развитие массового спорта, дополнительного пенсионного обеспечения, поддержку семей с детьми, молодых специалистов, тех, кто попал в сложные жизненные ситуации, и пр.

Таким образом, современные задачи стратегического развития организации неразрывно связаны с необходимостью формирования системы менеджмента качества, существенной составляющей которого следует признать менеджмент качества человеческих ресурсов. Специфика моделей профессионального поведения сотрудников во многом определяется национальными традициями организации трудовой деятельности, философии и культуры труда. Для системы менеджмента качества Госкорпорации «Росатом» больше свойственна западная модель управления. Вместе с тем необходимо отметить, что высокие показатели менеджмента качества человеческих ресурсов в этой организации в значительной степени определяются стратегической значимостью самой отрасли производства, мощной государственной поддержкой основных направлений развития корпорации, включая систему обучения и развития персонала, инновационную деятельность организации, широкие возможности для совершенствования системы мотивации и социального развития персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыскова, И.Е. Основные парадигмы менеджмента качества человеческих ресурсов в аспекте современной экономики знаний [Текст] / И.Е. Лыскова // Вестник факультета управления Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2017. – Вып. 1. (Ч. 1). – С. 60-65.
2. Лыскова, И.Е. Интеллектуальные технологии как основа инновационной модели менеджмента качества человеческих ресурсов организации [Текст] / И.Е. Лыскова // Национальные концепции качества: интеграция образования, науки и бизнеса: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Под ред. д.э.н., проф. Е.А. Горбашко. – Санкт-Петербург: Изд-во Культ-информ-пресс, 2017. – С. 99-102.
3. Лыскова, И.Е. Проблемы управления человеческим капиталом в аспекте современной экономики знаний [Текст] / И.Е. Лыскова // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 9 (ч. 4) (84-4). – С. 641-645.
4. Ассен ван, М. Ключевые модели менеджмента. 60 моделей, которые должен знать каждый менеджер [Текст] / М. ван Ассен, Г. Ван ден Берг, П. Питерсма; пер. с англ. В.Н. Егорова; агентство «Berenschot». – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 319 с.

5. *Шервуд, Д.* Системное мышление для руководителей: практика решения бизнес-проблем [Текст] / Д. Шервуд. – Москва : Альпина Паблишер, 2016. – 300 с.
6. *Гоулман, Д.* Эмоциональный интеллект. Почему он может значить больше, чем IQ [Текст] / Д. Гоулман; пер. с англ. А.П. Исаевой. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2017. – 544 с.
7. *Кови, С.Р.* Семь навыков высокоэффективных людей: Мощные инструменты развития личности [Текст] / С.Р. Кови; пер. с англ. – Москва : Альпина Паблишер, 2015. – 396 с.
8. *Кокинз, Г.* Управление результативностью: как преодолеть разрыв между объявленной стратегией и реальными процессами [Текст] / Г. Кокинз; пер. с англ. – Москва : Альпина Паблишер, 2016. – 316 с.
9. *Имаи, М.* Кайдзен: Ключ к успеху японских компаний [Текст] / М. Имаи; пер. с англ. – Москва : Альпина Паблишер, 2015. – 274 с.
10. *Омае, К.* Мышление стратега: Искусство бизнеса по-японски [Текст] / К. Омае; пер. с англ. – Москва : Альпина Паблишер, 2015. – 211 с.
11. *Lyskova, I.* Moral concepts of modern business processes // International Conference on Judicial, Administrative and Humanitarian Problems of State Structures and Economical Subjects (JAHP 2016) // Atlantis Press, Amsterdam-Hong Kong-Paris. 2016. P. 37-41 [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.atlantis-press.com/proceedings/jahp-16/25860484> (дата обращения: 23.08.2018).
12. *Lyskova, I.* Main Paradigms of Creative Management in the Aspect of Modern Cognitive Economy // International Conference on Culture, Education and Financial Development of Modern Society (ICCESE 2017) Vol. 103. Atlantis Press, Amsterdam-Hong Kong-Paris. 2017. P. 644-649 [Электронный ресурс]. – URL : www.atlantis-press.com/php/pub.php?publication=icctse-2017
13. *Lyskova, I.* Mental Reengineering as an Intellectual Technology of a Human Resources Quality Management in a Modern Organization // Advances in Social Science, Education and Humanities Research. Vol. 205 / The 2nd International Conference on Culture, Education and Economic Development of Modern Society (ICCESE 2018) Atlantis Press. 2018. P. 903-906 [Электронный ресурс] URL: www.atlantis-press.com/php/pub.php?publication=iccse-2018
14. *Lyskova, I.E.* The role of the corporative culture in the adaptation of the society to the new challenges of the global economy // Global economy in the XXI century: dialectics of confrontation and solidarity. London, LSP. 2018. P. 420-431.
15. Миссия. Стратегические цели. Ценности [Электронный ресурс] URL: [https:// www.rosatom.ru](https://www.rosatom.ru) (дата обращения: 23.08.2018).
16. Кодекс этики и служебного поведения работников Госкорпорации «Росатом» [Электронный ресурс] URL: [https:// www.rosatom.ru](https://www.rosatom.ru) (дата обращения: 23.08.2018).
17. Итоги деятельности государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2017 год. Публичный годовой отчет [Электронный ресурс] URL: [https:// www.rosatom.ru](https://www.rosatom.ru) (дата обращения: 23.08.2018).

REFERENCES

- [1] Lyskova I.E. Osnovnye paradigmy menedzhmenta kachestva chelovecheskikh resursov v aspekte sovremennoy ekonomiki znaniy [The Main Paradigms of Human Resources Quality Management in the Aspect of Modern Cognitive Economy]. The Herald of the Management Faculty of the Saint-Petersburg State University of Economics. 2017. Vol. 1. P.1. P. 60-65 (in Russian).
- [2] Lyskova I.E. Intellektual'nye tekhnologii kak osnova innovatsionnoy modeli menedzhmenta kachestva chelovecheskikh resursov organizatsii [Intellectual Technologies as the Basis of the Innovative Model of Management of Quality of Human Resources of the organization]. National Concepts of Quality: the Integration of Education, Science and Business. The Collection of Articles of the VIII International Research and Practice Conference. Saint Petersburg. 2017. P. 99-102 (in Russian).
- [3] Lyskova I.E. Problemy upravleniya chelovecheskim kapitalom v aspekte sovremennoy ekonomiki znaniy [Human Capital Management Problems in the Aspect of Modern Knowledge Economy]. Journal of Economy and Entrepreneurship. 2017. No. 9 (P. 4) (84-4). P. 641-645(in Russian).
- [4] M. van Assen, G. van den Berg, P. Pietersma. Klyuchevye modeli menedzhmenta. 60 modeley, kotorye dolzhen znat' kazhdyi menedzher [Key Management Models. The 60+ Models Every Manager Needs to Know]. Moscow. BINOM. Laboratoriya znaniy. 2013. P. 95-98 (in Russian).
- [5] Sherwood D. Sistemnoe myshlenie dlya rukovoditeley: Praktikaresheniya biznes-problem [A Manager's Guide to Applying Systems Thinking]. Moscow: Al'pina Publisher. 2016. 300 p. (in Russian).
- [6] Goleman D. Emotsional'nyi intellect. Pochemu on mozhet znachit' bol'she, chem IQ [Emotional Intelligence. Why It Can Matter More Than IQ]. Moscow. Mann, Ivanov and Ferber. 2017. 544 p.

- (in Russian).
- [7] Covey S.R. Sem' navykov vysokoeffektivnykh lyudei: Moshchnye instrument razvitiya lichnosti [7 Habits of Highly Effective People. Restoring the Character Ethics]. Moscow: Al'pina Publisher. 2015. 396 p. (in Russian).
 - [8] Cokins G. Upravlenie rezul'tativnosti: Kak preodolet' razryv mezhdy obyavlennoi strategiei i real'nymi protsessami [Performance management. Finding the Missing Pieces] Moscow: Al'pina Publisher. 2016. 316 p. (in Russian).
 - [9] Imai M. Kajzen: Klyuch k uspehu yaponskix kompanij [Kaizen. The Key to Japan Company Success]. Moscow: Al'pina Publisher. 2015. 274 p. (in Russian).
 - [10] Ohmae K. Myshlenie stratega: Iskusstvo biznesa po-yaponski [Mind of the Strategist. The Art of Japanese Business]. Moscow. 2015. 211 p. (in Russian).
 - [11] Lyskova I. Moral concepts of modern business processes // International Conference on Judicial, Administrative and Humanitarian Problems of State Structures and Economical Subjects (JAHP 2016) // Atlantis Press, Amsterdam-Hong Kong-Paris. 2016. P. 37-41. URL: // www.atlantispress.com/php/pub.php?publication=jahp-16
 - [12] Lyskova I. Main Paradigms of Creative Management in the Aspect of Modern Cognitive Economy // International Conference on Culture, Education and Financial Development of Modern Society (ICCESE 2017) Vol. 103. Atlantis Press. Amsterdam-Hong Kong-Paris. 2017. P. 644-649 URL: // www.atlantispress.com/php/pub.php?publication=icctse-2017
 - [13] Lyskova I. Mental Reengineering as an Intellectual Technology of a Human Resources Quality Management in a Modern Organization // Advances in Social Science, Education and Humanities Research. Vol. 205 / The 2nd International Conference on Culture, Education and Economic Development of Modern Society (ICCESE 2018) Atlantis Press. Paris. 2018. P. 903-906 URL: // www.atlantispress.com/php/pub.php?publication=iccse-2018
 - [14] Lyskova I.E. The role of the corporative culture in the adaptation of the society to the new challenges of the global economy // Global economy in the XXI century: dialectics of confrontation and solidarity. London. LSP. 2018. P. 420-431.
 - [15] Missiya. Strategicheskie tseli. Tsennosti [Mission. Strategic Goals. Values]. URL: // <https://www.rosatom.ru> – 23.08.2018.
 - [16] Kodeks etiki i sluzhebno go povedeniya rabotnikov Goskorporatsii Rosatom [Code of Ethics and Corporate Behavior of Employees in Rosatom State Corporation]. URL: // <https://www.rosatom.ru> – 23.08.2018
 - [17] Itogi deyatel'nosti gosudarstvennoi korporatsii po atomnoi energii Rosatom za 2017 god. Publichnyi otchet [Results of Activities of Rosatom State Corporation for 2017. Public annual report]. URL: // <https://www.rosatom.ru> – 23.08.2018

**The Main Problems of Forming the Effective Behavioral Models
of Employees in the Aspect of Human Resources Quality Management
(Using the Example of «Rosatom» State Corporation)**

I.E. Lyskova

*The Komi Republican Academy of State Service and Administration, Kommunisticheskaya St, 11, Syktyvkar,
Russia, 167000*

ORCID ID: 0000-0003-2748-2794

WoS ResearcherID: T-1644-2018

e-mail: IrinaLyskova@mail.ru

Abstract – The article studies the main tasks of quality management. It emphasizes the importance of human resources quality management in the aspect of modern quality management and strategic development of an organization using the example of «Rosatom» State Corporation.

Keywords: organization, quality management, human resources management, human resources quality, «Rosatom» State Corporation.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Абидова Е.А.	17
Баран С.А.	69
Бейсуг О.И.	17
Брагина Е.А.	87
Бузало Н.С.	62
Бурдаков С.М.	40
Буров В.Н.	62
Веселова И.Н.	62
Головко М.В.	97
Губеладзе А.Р.	24
Губеладзе О.А.	24
Дембицкий А.Е.	17
Домрина Г.В.	62
Драка О.Е.	17
Ермолаева Н.В.	97
Кольченко О.Л.	62
Краснокутский В.В.	69
Ксенофонтов А.И.	7
Лобковская Н.И.	97
Лыскова И.Е.	109
Наumenко Г.А.	40
Нечитайлов В.В.	69
Одии К.Д.	31
Ожерельев С.А.	55
Пимшин Ю.И.	40
Писаревский М.И.	55
Пономаренко П.А.	80
Проскуряков К.Н.	47
Псарёв Ю.А.	40
Пугачёва О.Ю.	17
Руденко В.А.	97
Серебряков А.А.	55
Тананаев И.Г.	80
Тюрин Е.М.	55
Федосеев В.Н.	55
Фролова М.А.	80
Чичерина Ю.С.	80
Яковлев Л.И.	55
Яньес Кинтанилья О.Ф.	7

AUTHOR INDEX OF VOL. 4, 2018

Abidova E.A.	17
Baran S.A.	69
Bejsug O.I.	17
Bragina E.A.	87
Buzalo N.S.	62
Burdakov S.M.	40
Burov V.N.	62
Chicherina Y.S.	80
Dembickij A.E.	17
Domrina G.V.	62
Draka O.E.	17
Ermolaeva N.V.	97
Fedoseev V.N.	55
Frolova M.A.	80
Golovko M.V.	97
Gubeladze A.R.	24
Gubeladze O.A.	24
Kolchenko O.L.	62
Krasnokutskij V.V.	69
Ksenofontov A.I.	7
Lobkovskaya N.I.	97
Lyskova I.E.	109
Naumenko G.A.	40
Nechitajlov V.V.	69
Odii Ch.J.	31
Ozherelev S.A.	55
Pimshin Yu.I.	40
Pisarevsky M.I.	55
Ponomarenko P.A.	80
Proskuryakov K.N.	47
Psarev Yu.A.	40
Pugachyova O.Yu.	17
Rudenko V.A.	97
Serebryakov A.A.	55
Tananaev I.G.	80
Tyurin Ye.M.	55
Veselova I.N.	62
Yakovlev L.I.	55
Yañez Quintanilla O.F.	7

NOTES FOR AUTHORS

(Dear authors, the editors of the magazine 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 abstract and keywords in Russian and English;
- 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 index of each author (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>).

An article should be processed in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format, 12 point font Times New Roman; print - 1 interval. Page parameters: all sides are 2,5 cm. Please do not use signs of forced transfer and additional gaps. 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 (10-15 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 program antiplagiat, allowable borrowing and self-citation – no more than 20%.

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 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).

References are given at the end of article in order they mention. 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. The bibliography has to be issued according to state standard specification 7.1-2003 "Bibliographic record and the bibliographic description. General requirements and rules of drawing up". 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 has to 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 dismantle during NPP unit taking out of operation] [Global nuclear safety]. 2014. № 1(10). P. 25-31 (in Russian).

[2] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional'noe celepolaganie kak sostavlyayushhaya kul'tury bezopasnosti budushhego specialista-atomshhika [Professional Goal-Setting as a Component of the Safety

Culture of a Future Nuclear Specialist]. *Sovremennoe obrazovanie* [Modern Education], 2017. № 1. P. 32-38. URL: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (in Russian).

For books:

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

For web-resources:

[4] *Strategia razvitiya transportnogo kompleksa Rostovskoj oblasti do 2030 goda* [Development strategy of a transport complex of the Rostov region till 2030]. Officialnij sait Ministerstva transporta Rostovskoj 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 izlucheniem* [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: 8(8639)222717

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, аннотация и ключевые слова статьи 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;
- сведения об организациях авторов на русском и английском языках, включая название, почтовый адрес с индексом (указывать данные об организации каждого автора);
- индексы ORCID и Researher для каждого автора (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>)

Статья должна быть оформлена в Microsoft Office 97-2003 Word 7.0, через 1 интервал, шрифтом Times New Roman, размером 12 пт. Поля со всех сторон – 2,5 см. Не следует использовать знаки принудительного переноса и дополнительных пробелов. Объем статьи – не более 15 страниц машинописного текста, включая таблицы и рисунки (не более 10), список литературы (10-17 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%.

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 черно-белыми, 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).

Список литературы приводится в конце статьи в порядке упоминания в тексте номера источника в квадратных скобках. Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, с указанием на перевод. Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТу 7.1-2003 «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Учебники, учебные пособия, методические указания и рекомендации не включаются в список литературы. References приводятся после списка литературы (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;
- представление от учреждения, в котором выполнена работа;
- экспертное заключение о возможности опубликования.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Для книг с одним автором:

Кесслер, Г. Ядерная энергетика [Текст] / Г. Кесслер ; пер. с англ. : Ю.И. Митяев. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 264 с.

Для книг с двумя и более авторами:

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

Для журналов с одним автором:

Петров, Н.Н. Принципы построения образовательных программ и личностное развитие учащихся [Текст] / Н.Н. Петров // Вопросы психологии. – 1999. – № 3. – С. 39.

Для журналов с двумя и более авторами:

Евдошкина, Ю.А. Практико-ориентированная технология формирования культуры безопасности выпускников, ориентированных на работу в атомной отрасли [Текст] / Ю.А. Евдошкина, В.А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4 (25). – С. 122-129.

Для диссертаций:

Дзякович, Е.В. Стилистический аспект современной пунктуации : автореф. дис. канд. филол. наук [Текст] / Е.В. Дзякович. – Москва, 1984. – 30 с.

Для депонированных работ:

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

Описание архивных материалов:

Гущин, Б.П. Журнальный ключ [Текст] // НРЛИ. Ф. 209. Оп. 1. Д. 460. Л. 9.

Материалы конференций:

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

Для патентов:

Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК7 Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство [Текст] / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.

Для авторских свидетельств:

А. с. 1007970 СССР, МКИЗ В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин (СССР). – № 3360585/25-08 ; заявл. 23.11.81 ; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. – 2 с.

Для электронных ресурсов:

Дирина, А.И. Право военнослужащих РФ на свободу ассоциаций [Электронный ресурс] / А.И. Дирина // Военное право: сетевой журн. –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.: 8(8639)222717

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2018, 4(29)

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

Сдано в набор 12.12.2018 г.

Компьютерная верстка Вишнева М.М.

Подписано к печати 19.12.2018 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м². Объем 13.6 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ