

ISSN 2305-414X

2017, 3

**GLOBAL
NUCLEAR
SAFETY**

Выпуск посвящен 75-летию НИЯУ МИФИ



**ГЛОБАЛЬНАЯ
ЯДЕРНАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

<http://gns.mephi.ru>

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2017, 3(24)

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*),

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*)),

A.V. Zhuk (PhD (History), 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

2017, 3(24)

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

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 Анджей (д-р техн. наук, проф. (*Польша*)),
М.К. Скаков (д-р физ.-мат. наук, проф. (*Казахстан*)),
А.Д. Маляренко (д-р техн. наук, проф. (*Беларусь*)),
С.Э. Гоок (к-т техн. наук (*Германия*)),
П.Д. Кравченко (д-р техн. наук, проф. (*Россия*)),
А.П. Елохин (д-р техн. наук, проф. (*Россия*)),
А.В. Чернов (д-р техн. наук, проф. (*Россия*)),
Ю.И. Пимишин (д-р техн. наук, проф. (*Россия*)),
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*)),
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*)),
А.В. Жук (к-т ист. 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

2017, 3(24)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Modernization of Surveillance Systems and Public Notification in Case of Radioactive Contamination of the Environment in Bulgaria <i>N.T. Dolchinkov</i>	7
Metrological Characteristics for the NPP site in Jordan <i>E.A. Alalem, A.P. Elokhin, A.I. Ksenofontov, P.I. Fedorov</i>	19
Practical Recommendations for the Institutions of Ministry of Education and Science of the Russian Federation on the Preparation and Submission of Documents to the Commission for Recognizing the Organization to Apply Nuclear and Radiationally Dangerous Objects and Installations <i>A.A. Serebryakov, V.N. Fedoseev, L.I. Yakovlev, A.A. Portnov, Ye.M. Tyurin, M.I. Pisarevskii</i>	35

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

Application of D-optimum Experimental Designs in Consideration of Restrictions for Laser Metal Deposition <i>A. Marko, B. Graf, S. Gook, M. Rethmeier</i>	46
Influence of Current Density Distribution on the Static Arc Pressure <i>V.F. Cubarew, A.M. Rybachuk, Yu.V. Doronin</i>	61
Setting up Spent Nuclear Fuel Shipping Containers in Rocket Sled Track Facility <i>S.I. Gerasimov, R.V. Gerasimova, V.I. Erofeev, K.I. Lyakhov, A.V. Melnik, I.A. Odzerikho, B.A. Yanenko</i>	68
Providing Constructive Strength of Reactor Installation Welded Joints by the Use of New Welding Materials and Technologies <i>E.I. Kolokolov, S.A. Tomilin, V.V. Shishov</i>	77

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Anticipatory Methods of the NPP Technical Facility Diagnostics <i>Yu.S. Sysoev, A. A. Salnikov, A.V. Chernov, V.G. Beketov</i>	91
Definition of Geometrical, Physical and Mechanical Characteristics of the NPP Power Unit Elements and Their Use as Input Data for the Safety Probability Analysis <i>O.A. Gubeladze, A.R. Gubeladze, S.M. Burdakov</i>	102

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

Analysis of Major Accidents at Radiation Facilities and their Impact on World Nuclear Energy Development <i>E.R. Mukhamedzhanova, V.A. Akatiev</i>	110
The Role of Ural Region in Creation and Development of Russian Radioecology <i>D.V. Gavrilov</i>	115

Author Index of vol. 3, 2017.....	135
-----------------------------------	-----

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2017

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Модернизация систем наблюдения и уведомления населения в случае радиоактивного загрязнения окружающей среды в Болгарии
Н.Т. Долчинков.....7
- Метеорологические характеристики района АЭС в Иордании
Е.А. Аалем, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонов, П.И. Федоров.....19
- Практические рекомендации для учреждений Минобрнауки России по подготовке и представлению документов на комиссию по признанию организации пригодной эксплуатировать ядерно- и радиационноопасные объекты и установки
А.А. Серебряков, В.Н. Федосеев, Л.И. Яковлев, А.А. Портнов, Е.М. Тюрин, М.И. Писаревский.....35

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

- Применение D-оптимальных планов эксперимента для повышения эффективности процесса лазерной наплавки металлического порошка
А. Марко, Б. Граф, С. Гоок, М. Ретмайер.....46
- Влияние распределения плотности тока в дуге на статическое давление дуги
В.Ф. Кубарев, А.М. Рыбачук, Ю.В. Доронин.....61
- Постановка испытаний топливных упаковочных комплектов на ракетном треке
С.И. Герасимов, В.И. Ерофеев, Р.В. Герасимова, К.И. Ляхов, А.В. Мельник, И.А. Одзериho, Б.А. Яненко.....68
- Обеспечение конструктивной прочности сварных соединений реакторных установок посредством применения новых сварочных материалов и технологий
Е.И. Колоколов, С.А. Томилин, В.В. Шишов.....77

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

- Упреждающие методы диагностики технических объектов АЭС
Ю.С. Сысоев, А.А. Сальников, А.В. Чернов, В.Г. Бекетов.....91
- Определение геометрических и физико-механических характеристик элементов энергоблока АЭС и их использование в качестве исходных данных для вероятностного анализа безопасности
О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе, С.М. Бурдаков.....102

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

Анализ крупнейших аварий на радиационных объектах и их влияние на темпы развития атомной энергетики в мире <i>Е.Р. Мухамеджанова, В.А. Акатьев</i>	110
Роль Урала в создании и развитии отечественной радиоэкологии <i>Д.В. Гаврилов</i>	115
Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" – стратегический вклад в развитие атомной энергетики.....	129
Авторский указатель номера 3, 2017.....	135

Сдано в набор 20.09.2017 г.
Усл. печ. л. 15,84
Тираж 300 экз.

Подписано к печати 22.09.2017 г.
Уч.-изд. л. 10,95

Формат 84 х 108/16
Печ. л. 10,24

Отпечатано в ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК: 504.064.36

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ И УВЕДОМЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В СЛУЧАЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В БОЛГАРИИ

© 2017 Н.Т. Долчинков

Национальный военный университет «Васил Левски», г. Велико Тырново, Болгария

В статье дан обзор воздействия радиационного гамма-фона на человека и окружающую среду. Представлены действие, структура и управление Национальной автоматической системы для непрерывного контроля радиационного гамма-фона (НАСНКРГФ) Болгарии. На основе исследования метеорологических факторов на наличие ядерных объектов вокруг Болгарии и некоторых ключевых приграничных регионов даны предложения для дальнейшей, более эффективной работы Национальной автоматической системы.

Ключевые слова: радиация, система, метеорологические факторы, естественный радиоактивный гамма-фон, ядерные установки, авария, роза ветров.

Поступила в редакцию: 28.08.2017

Проблемы, связанные с радиационным загрязнением, приобретают как национальное, так и международное значение, что связано с усилением мер по предотвращению жертв при использовании атомной энергии в мирных целях и в результате военных конфликтов. Учитывая возросшую активность террористических организаций за рубежом и нестабильной ситуации в регионе, возросла вероятность ядерного терроризма. Благодаря своему геополитическому положению, действующие и планируемые в Болгарии и близких к ней стран ядерные энергетические комплексы могут оказать существенное воздействие на уровень радиоактивного фона окружающей среды. Оптимизация и управление систем мониторинга фонового излучения приведет к повышению ядерной безопасности, как в Болгарии, так и в странах юго-восточной Европы и принятии адекватных мер по улучшению защиты населения от радиационного воздействия в результате изменения показателей радиационного фона.

В настоящей работе мы попытались проанализировать существующие системы управления, мониторинга и оповещения населения в случае радиационного загрязнения окружающей среды и последующего изменения фонового излучения.

Объектом исследования послужила система мониторинга природного радиоактивного фона и оповещения населения о его изменениях.

Предмет исследования видится в оптимизации системы мониторинга показателей, определяющих наличие загрязнения и уведомление соответствующих учреждений в целях принятия адекватных превентивных мер защиты.

Таким образом, возникла необходимость решить следующие задачи:

1) Оценить существующие системы мониторинга радиационного фона в Республике Болгария (РБ);

2) Исследовать метеорологические факторы, влияющие на радиационный фон. Рассмотреть существующие и проектируемые ядерные объекты на сопредельных Болгарии территориях в контексте современной международной обстановки;

3) Рассмотреть возможность оптимизации применяемых процедур управления, создать шаблон для выбора операции управления.

После Великой Отечественной войны, с развитием в мире атомной промышленности, энергетики и военно-промышленного комплекса, возник вопрос о воздействии радиоактивных элементов, изотопов и частиц на окружающую среду.

Естественный гамма-фон является физической характеристикой окружающей среды и представляет собой поле гамма-лучей, в котором находятся все живые организмы на Земле. Источниками ионизирующего излучения являются космические лучи и естественные радионуклиды, присутствующие в воздухе, почве, воде, пище и человеческом теле [1].

На рисунке 1 представлены значения естественного радиационного фона в 2012–2014 гг. во всех 27-ми постоянных станциях мониторинга в Болгарии.

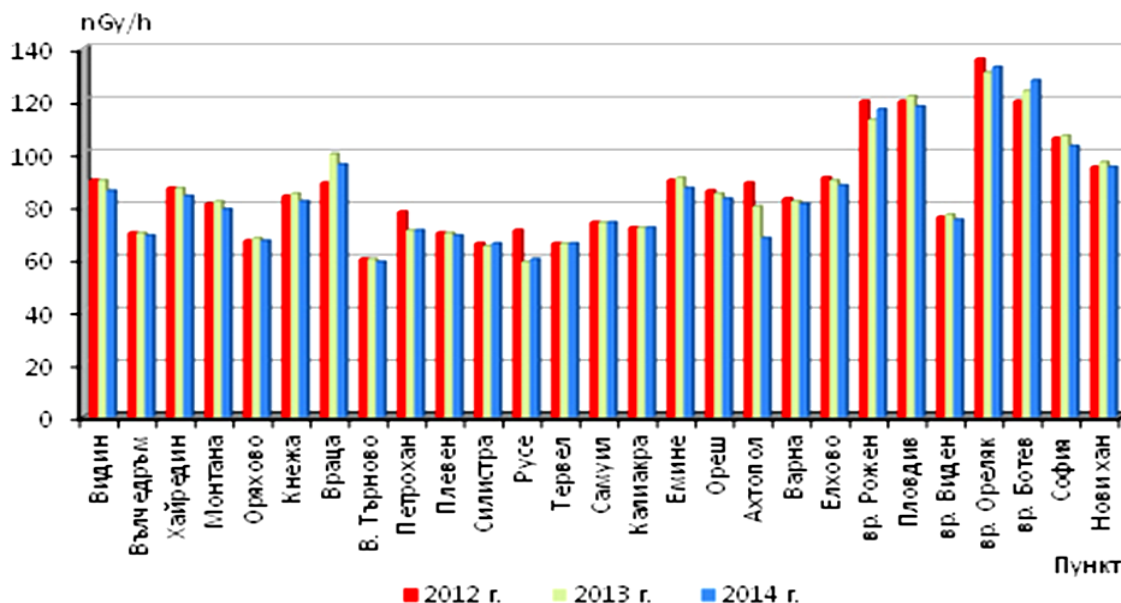


Рис. 1. – Среднегодовые значения гамма-фона в Болгарии [2]

На формирование естественного радиоактивного фона, кроме калия, урана, радия и тория и их дочерних продуктов оказывают влияние радон и торон [3]. Было обнаружено, что воздействие на человека этих элементов значительно (рис. 2).

Радиоактивность приземного слоя воздуха была, в основном, обусловлена радоном и тороном, которые, в свою очередь, являются дочерними продуктами радия и тория [4]. Эти газы эмануруют из горных пород, почв и водных бассейнов.

При использовании ядерных технологий в народном хозяйстве, медицине и научных исследованиях в окружающую среду также попадает незначительное количество радиоактивных веществ [5]. Газообразные отходы выбрасываются в небольших количествах в атмосферу при эксплуатации заводов по переработке ядерного топлива.

При нормальной работе ядерных установок и приборов также может быть допущен выброс небольшого количества радиоактивных веществ в водные бассейны.

Катастрофы Уйндскейл (Великобритания, 1958 г.), Три Майл Айленд (США, 1979 г.), Чернобыля (Украина, СССР, 1986 г.) и Фукусимы (Япония, 2011 г.) широко обсуждались общественностью и в настоящий момент принимаются адекватные меры по повышению безопасности ядерной энергетики во всем мире.



Рис. 2. – Компоненты радиоактивного фона при облучении человека

На радиоактивном загрязнении окружающей среды сказываются метеорологические компоненты, параметры которых неравнозначны в формировании радиоактивного фона. На распространение радиоактивного загрязнения сильнее всего влияют ветра. Также влияние оказывают различные осадки и проницаемость слоев атмосферы для солнечной радиации, достигающей поверхности земли [6]. Другие метеорологические компоненты оказывают незначительное влияние на распространение радиоактивных лучей, частиц и изотопов, и, следовательно, в нашем исследовании предполагается их игнорировать [7].

Во всем мире в настоящее время работают 212 атомных электростанций с 438-ю реакторами. Расположены они в 31 стране общей мощностью 374814 МВт. 64 атомные электростанции общей мощностью 62754 МВт находятся в стадии строительства, из них – 10, которые строятся уже более 15 лет. 125 реакторных блоков общей установленной мощностью 37794 МВт выведены из эксплуатации по разным причинам [8]. По состоянию на март 2016 года в Европе работают 93 атомных энергоблока мощностью 179000 МВт. В стадии строительства находятся 13 новых блоков общей мощностью 14000 МВт. Остановлено 84 блока мощностью 26000 МВт в Бельгии, Болгарии, Германии, Финляндии, Франции, Литве, Нидерландах, Румынии, России, Швеции, Швейцарии, Словакии, Словении, Испании, Чехии, Украине, Венгрии и Великобритании. В 1000-километровой зоне вокруг Болгарии построены и работают АЭС в Румынии, Украине, Чехии, Словакии, Венгрии и Словении [9].

Во время эксплуатации АЭС авария маловероятна, но нельзя пренебрегать вероятностью её возникновения с радиационными последствиями для населения. Основные мероприятия по защите населения в случае аварии с вероятными последствиями представлены в соответствующих законах и правилах, действующих на территории Болгарии.

Потенциальная опасность таких аварий анализируется и оценивается заранее при проектировании атомных электростанций с учетом всех возможных чрезвычайных ситуаций (реальные и гипотетические сценарии), на основе этого плана и принимаются необходимые меры по предотвращению аварий и ограничению их последствий до приемлемого уровня.

В этой связи очень важным представляется анализ Национальной

автоматизированной системы непрерывного контроля радиационного гамма-фона, Автоматизированной системы на АЭС «Козлодуй» и системы контроля метеорологических параметров в случае аварии на АЭС в Национальном институте метеорологии и гидрологии Болгарии.

Национальная автоматизированная система непрерывного контроля гамма-фона в Болгарии BULRAMO имеет 26 станций мониторинга, расположенных в городах Видин, Вылчедрым, Монтана, Кнежа, Враца, Велико Тырново, Плевен, Силистра, Руссе, Тервель, Ахтопол, Варна, Елхово, Пловдиве, Софии, в сельских поселениях Хайредин, Селановци, Самуэля, Ореш, на мысах Эмине и Калиакра, на горных пиках Ботев, Петрохан, Ореляк, Видик и Рожен [10].

С 1999 г. все местные станции на территории Болгарии работают и входят в эту систему. После аварии на Фукусиме в 2011 г. система BULRAMO развивается от ежедневной до ежечасной отчетности с целью обмена радиологическими данными для Европейской платформы – EURDEP. Вся информация, полученная местными станциями, передается в коммуникационный сервер, призванный обеспечивать высокий уровень безопасности и оперативный обмен информацией.

Имеются и дополнительные центры мониторинга, наблюдения и анализа:

- 1) Главное управление «Пожарная безопасность и защита населения» – МВД (бывшая «Гражданская защита»);
- 2) Агентство по ядерному регулированию;
- 3) АЭС «Козлодуй»;
- 4) Министерство обороны Болгарии;
- 5) Министерство окружающей среды (центр Варна);
- 6) Министерство окружающей среды (центр Враца);
- 7) EURDEP – Европейская система радиологического обмена данных [11].

Оборудование BULRAMO поставлено немецкой компанией Normann GmbH (ныне – ENVINET GmbH). Блок-схема приведена на рисунке 3.

Интеллектуальный высокопроизводительный массив зонда IGS421 состоит из трех счетчиков Гейгера-Мюллера, два из которых – для измерения низких доз (LD) и один – для высоких доз (HD), контроллера для вычисления, хранения и передачи измеренных данных и технического состояния [12].

Учитывая себестоимость и качество обслуживания оборудования, Национальная автоматизированная система непрерывного контроля радиационного гамма-фона в настоящее время работает с современными, эффективными и качественными зондами, находящимися на гарантийном обслуживании. Информация представляется, обрабатывается и архивируется в соответствии с последними требованиями договора Европейского сообщества по атомной энергии («Евратом») и его директив. Согласно схемы расположения измерительных зондов, следует отметить, что некоторые из них имеют определенные типы недостатков [13].

В качестве рекомендации при замене оборудования или модернизации источников питания, следует указать, что к выбору перезаряжаемых устройств необходимо подходить очень тщательно и предпочтение отдавать тем, которые доказали свою эффективность и долговечность. Существует некоторая сложность в выборе оптимального места расположения зондов. Наиболее существенной проблемой является чувствительность и безопасность приборов.

Управление Национальной автоматизированной системой непрерывного мониторинга гамма-фона BULRAMO осуществляется экспертами Исполнительного агентства окружающей среды (ИАОС). ИАОС находится в ведении Министерства охраны окружающей среды и водных ресурсов и непосредственно отвечает за мониторинг параметров окружающей среды, в том числе и радиационной обстановки.

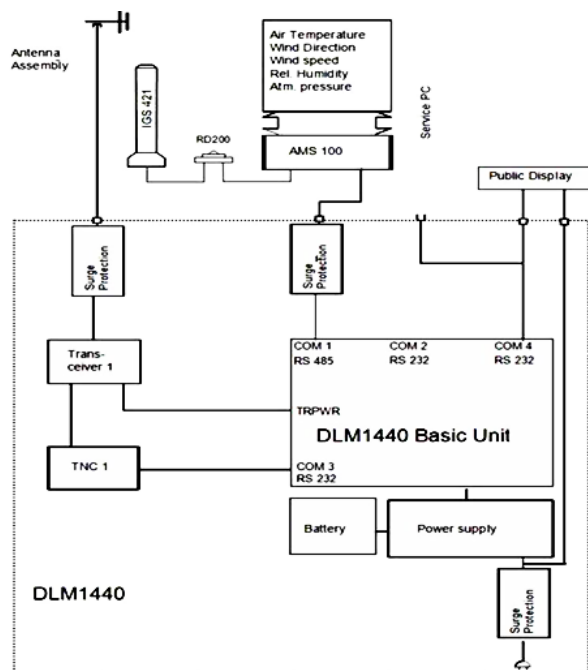


Рис. 3. – Блок-схема Национальной автоматизированной системы непрерывного контроля радиационного гамма-фона:

IGS 421 – интеллектуальный гамма-зонд,

RD 200 – датчик осадков,

DLM 1440 – журнал данных (Data Logger),

AMS – автоматическая метеорологическая станция [14]

Система BULRAMO введена в эксплуатацию с финансированием в рамках программы PHARE в 1995–1997 гг., затраченная сумма составляла около 1 млн. евро. В 2013–2014 гг. BULRAMO была реконструирована в рамках оперативной программы «Окружающая среда 2007–2013», затраченная сумма составляла также около 1 миллиона евро. В стоимость было включено 3-годичное гарантийное обслуживание до конца 2017 г., общая сумма контракта составляла 1988605 левов с НДС, срок действия договора – до 31 декабря 2017 г. [15].

Болгария на юге страны непосредственно граничит с Грецией и Турцией, на западе – с Македонией и Сербией, на севере – с Румынией, восток омывается Черным морем.

Южный сосед – Греция – не имеет действующей АЭС, в обозримом будущем их строительство не планируется. Нет информации и о наличии рабочих ускорителей или других источников ионизирующего излучения в пределах 100 км от границы Болгарии.

Такая же ситуация и в Македонии – там нет действующих АЭС, ядерных реакторов или ускорителей, способных высвободить значительное количество ионизирующей радиации. Также в стране нет предприятий и институтов, которые являлись бы потенциально опасными, способных вызвать резкий рост радиоактивного фона в Болгарии в результате возможной аварии.

Сербия, в свою очередь, с точки зрения радиационной безопасности, также не представляет никакой угрозы. Вблизи болгарских границ нет промышленных объектов, использующих источники ионизирующего излучения со средними и большими дозовыми нагрузками.

Северный сосед – Румыния – построила атомную электростанцию «Черная вода», расположенную на берегу Дуная в 60 км от Силистра и около 40-50 километров по

воздуху от государственной границы Болгарии. В последнее десятилетие быстро развивается черноморский порт Констанца. Кроме коммерческого задач, порт также решает задачи военного значения, там располагаются военные корабли стран-членов НАТО. В центральной части южной Румынии, в 40 км к северу от болгарской границы и деревни Загражден Плевенского района расположен бывший аэропорт ВВС Румынии в селе Девеселу. С середины 2016 г. там находится военная база США, являющаяся частью системы противоракетной обороны НАТО.

Несмотря на то, что на востоке страны нет сухопутной границы, где бы могли располагаться стационарные объекты, ситуация на Черном море постоянно меняется. За последние пять лет было усилено присутствие военной техники, способной развернуть ракетные комплексы с ядерными боеголовками. Причины усиления присутствия военной техники на Черном море:

- Расширение ПРО США и НАТО на Восток;
- Военный конфликт на Украине;
- Контртеррористическая операция в Сирии (с участием Турции, России, Сирии и других держав);
- Территориальные претензии «исламского государства» и других запрещенных организаций.

В этом направлении возникает необходимость в оптимизации Национальной автоматизированной системы непрерывного контроля, и в дополнение к существующим станциям в Калиакре, Варне, мысах Эмины и Ахтопол создать 1-2 станции наблюдения за радиационным фоном.

Последним направлением с точки зрения радиационной безопасности Болгарии является юго-восточная граница, и, в частности, Турция, где в последнее время постоянны значительные политические и экономические изменения. Значительными событиями стали строительство АЭС «Аккую» и АЭС «Синоп». Президент Турции намерен приступить к строительству третьей АЭС, где один из выбранных вариантов размещения предполагается в 20 километрах к югу от Резово на берегу Черного моря.

Рассматривая метеорологические параметры, влияющие на распространение радиоактивных частиц и радиоактивных изотопов в Болгарии, следует анализировать ключевые ветра и воздушные потоки, образующиеся в воздушном пространстве над Болгарией. При этом необходимо опираться на подробные статистические данные базы данных Национального института метеорологии и гидрологии Болгарской академии наук о направлении и силе ветра и воздушных потоков, начиная с 1985 г. [16, 17].

Регистрация данных шла в течение 30 лет, что представляется достаточным для прослеживания тенденций изменения атмосферных масс, водных и наземных поверхностей. Необходимо отметить, что эти 30 лет позволят проследить лишь тенденции и основные направления движения, однако, данные процессы являются слишком динамичными и не подлежат циклической равномерной повторяемости и прогнозированию. Таким образом, не следует исключать постоянный мониторинг параметров окружающей среды.

Параллельно с Национальной автоматизированной системой непрерывного контроля радиационного гамма-фона в Национальном институте метеорологии и гидрологии есть рабочая система прогноза распространения радиоактивного загрязнения в случае серьезной ядерной аварии в Северном полушарии, где расположено свыше 95% АЭС нашей планеты [18].

При прогнозировании движения воздушных масс и распространения радиоактивных частиц оценивалась вероятность аварий на сопредельных болгарской территории АЭС в разные промежутки времени.

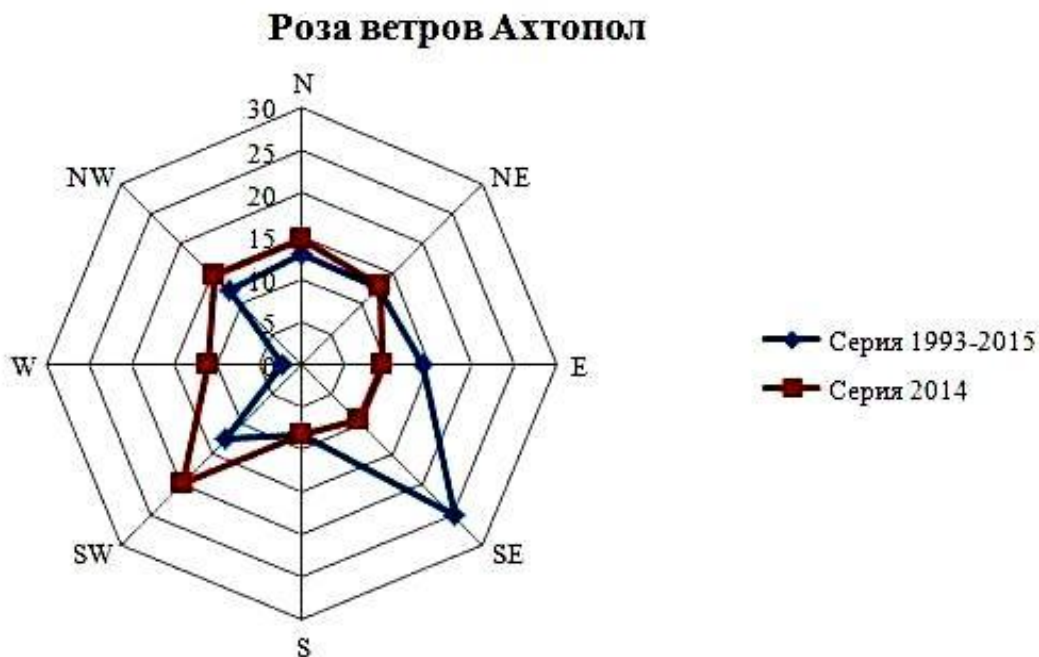


Рис. 4. – Роза ветров в городе Ахтопол

Анализируя метеорологические элементы в области Сомовит, можно прийти к выводу, что сильных радиоактивных загрязнений в случае аварий здесь не ожидается, т.к. ветры преобладают с запада и востока.

Практически такое же положение и на юго-востоке Болгарии. В рассмотренных трех точках нет никаких ядерных объектов и исследование, в данном случае носит, скорее, превентивный характер, направленное на безопасность Болгарии в случае строительства третьей АЭС в Турции или развертывании ядерной техники. Существует тенденция усиления ветров из Турции. На рисунке 4 показана роза ветров в городе Ахтополе, который находится на берегу Черного моря, недалеко от болгаро-турецкой границе.

Наибольшее внимание с точки зрения радиационной безопасности представляет собой северо-восток Болгарии, в том числе и в отношении наличия ядерных объектов.

В рисунках 5 и 6 видна четкая тенденция господствующих ветров в регионах Силистра и Генерал-Тошево, проходящих, в том числе, и через АЭС «Черная вода». Роза ветров Силистра однозначно выявляет их наличие, где их доля – 20% – в 1985–2013 гг. и почти 30% – в 2014 г. (рис. 5). Еще более убедительными выглядят данные по Генерал-Тошево, где преобладает северо-западный ветер (более 35%), в 2014 г. – даже больше, чем 50% дней в году.

Для эффективного ответа на новые вызовы времени и возникновение новых рисков в поиске компетентных ответов на потенциальные опасности радиоактивного загрязнения и критического изменения радиоактивного фона выявлены следующие приоритетные направления развития:

1) Актуализация закона Болгарии «Безопасное использование ядерной энергии» и других законов и правил, касающихся мониторинга радиоактивного фона, эксплуатации ядерных установок, хранения ядерных материалов, отходов и их транспортировки с учетом изменяющихся элементов мониторинга окружающей среды и факторов национальной безопасности. При этом в обсуждении проектов документов должна участвовать не одна структура (МВД), а все, работающие в этой сфере деятельности.

2) Проведение организационных изменений на контролируемых МВД Болгарии предприятиях, формирование эффективной коммуникации на всех уровнях, включая надзор и другие компетентные органы.

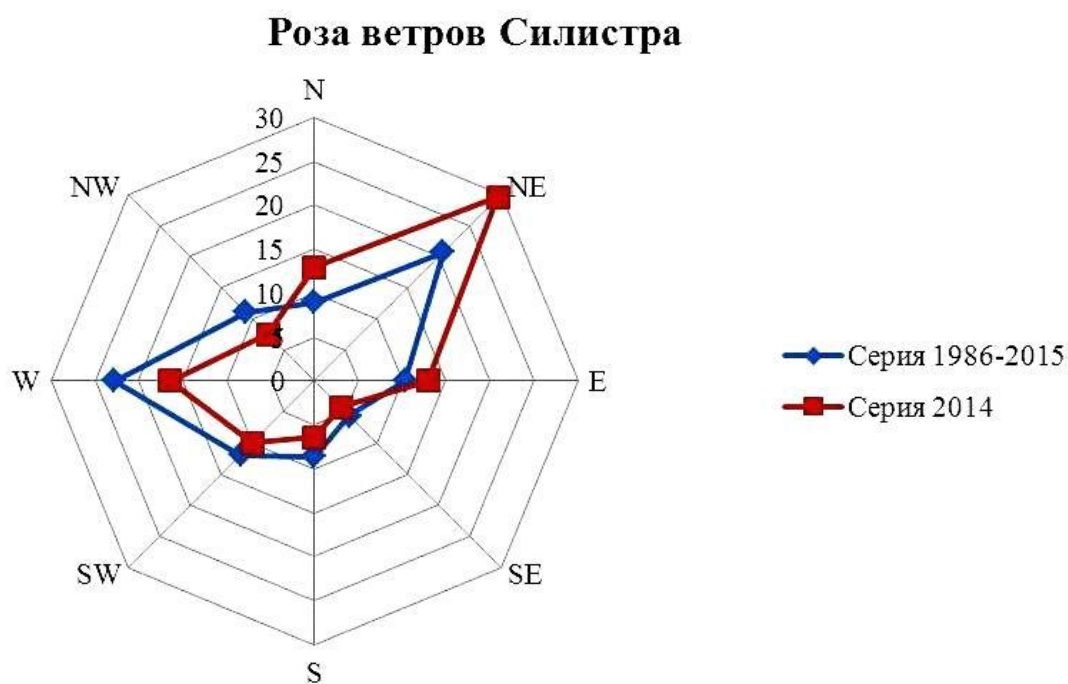


Рис. 5. – Роза ветров в городе Силистра

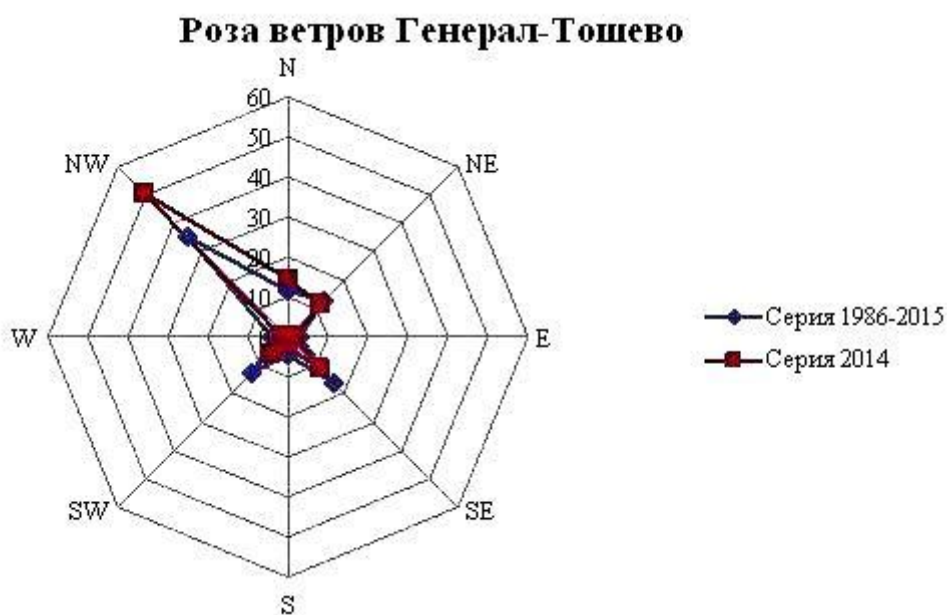


Рис. 6. – Роза ветров в городе Генерал-Тошево

3) Создание команд «оперативного потенциала» на национальном и международном уровнях, с обученным персоналом и отдельных модульных команд с широкими и ограниченными полномочиями. В этом направлении первые шаги уже осуществлены, и такие команды существуют, закуплено оборудование для их

деятельности, возникает необходимость в обеспечении таких команд дополнительным оборудованием. Это относится к Национальному институту метеорологии и гидрологии, которые упоминаются в данной работе и являются проектировщиками резервных гамма-зондов для Исполнительного агентства окружающей среды.

4) Возникла острая необходимость в постоянном обучении населения основам гражданской обороны.

5) Создание на основе современных методов анализа данных и опыта системы принятия адекватных решений в режиме реального времени по сокращению и ограничению последствий радиоактивного загрязнения окружающей атмосферы, почвы и воды.

Анализ систем контроля естественного радиоактивного фона, существующих мер пропаганды населения и принятия превентивных мер по ограничению воздействия радиоактивного воздействия позволил сделать следующие выводы:

1) В Болгарии достаточно хорошо организована национальная система мониторинга радиационной обстановки окружающей среды и своевременного информирования населения при радиационных авариях. Система обслуживается Исполнительным агентством по окружающей среде при Министерстве охраны окружающей среды и водных ресурсов, которая дает информацию о фоновой радиации в Республике Болгария. Данные Национального института метеорологии и гидрологии используются компетентными органами при принятии мер предупреждения, направленных на ограничение воздействия на человека и окружающей среды радиоактивных частиц и изотопов;

2) Гамма-фон приземного слоя атмосферы находится в пределах типичных фоновых значений страны без существенных изменений в течение последних 20 лет. Поверхностные водные потоки и бассейны находятся в хорошем состоянии и контролируются на присутствие радиоактивных элементов со стороны контролирующих органов ЕЭП в соответствии с действующими правилами и законами страны. В отношении радиационного состояния почв, значений фона, выше допустимого в течение последних 15 лет, не было зафиксировано;

3) Разработана и внедрена четкая программа обеспечения ядерной безопасности с участием всех уровней государственного и местного самоуправления. Национальная стратегия безопасного обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами получила необходимый контроль над этим видом деятельности;

4) Документация государственного уровня была принята в целях решения проблем радиационного воздействия на окружающую среду бывших урановых рудников. Эта проблема сохранилась, имеются необустроенные, выведенные из эксплуатации шахты без должной изоляции, где может произойти радиоактивное загрязнение окружающей среды;

5) Слабый обмен информацией, отсутствие дублирующей оптоволоконной системы, связанной с профильными институтами и перебои в интернете приведут к «информационному голоду», недостатку информации, необходимой органам, ответственным за действия в случае ядерной аварии. Это, несомненно, приведет к неэффективной коммуникации между различными ведомствами в государстве в случае аварии;

6) На высоком уровне организован контроль за аварийными ситуациями на АЭС «Козлодуй». Проводится обучение персонала, порой, в условиях, приближенных к реальной радиационной обстановке в случае аварии или террористического акта, что соответствует международным требованиям;

7) В полное соответствие с требованиями ЕС и правилами МАГАТЭ по защите

населения в радиационных авариях приведена документация. Действующее законодательство в Болгарии придерживается положений европейского законодательства и требований Договора «Евратом». Недостаточно полно освещена в СМИ работа Исполнительного агентства окружающей среды при повышенной фоновой радиации, его функциональные обязанности дублируются службой пожарной безопасности, не специализирующейся в области радиационной защиты;

8) Исследования показывают, что специалисты среднего и нижнего звена, ответственные за радиационную защиту, теоретически и практически недостаточно подготовлены к чрезвычайным ситуациям. Именно эти специалисты ежегодно должны проходить курсы повышения квалификации по действиям при радиационной аварии, чрезвычайных ситуациях и других стихийных бедствиях. Такие курсы помогли бы им улучшить знания, навыки и компетенции. Управление Национального института метеорологии и гидрологии нуждается в специалистах по эвакуации, мониторингу фонового излучения в Болгарии, учреждение нуждается в улучшении финансового и ресурсного обеспечения;

9) Близ Болгарии имеются ядерные объекты в Румынии, запланировано строительство ядерных объектов в Турции, что впоследствии может повлиять на радиационную обстановку в стране в случае ядерной аварии. Опасность существует и в виде силового военного присутствия в Черном море, не являющегося постоянным. Это предполагает усиление контроля в этих пограничных районах, при этом не должны игнорироваться другие потенциально опасные участки. Метеорологические параметры и, в частности, ветра могут повлиять на радиационную обстановку в стране в случае ядерной аварии в соседних государствах, а именно: в районе Малко Тырново, Ахтопол, Силистра и Генерал-Тошево. В других областях преобладающее направление ветра не будет причиной переноса радиоактивных частиц;

10) Законодательство в области радиационной защиты страны должно быстро синхронизироваться с требованиями ЕС, МАГАТЭ и других международных институтов. Имеются проблемы в реализации этих положений на местах и разработке конкретных планов действий в случае радиационных и других аварий и катастроф. Даже в Национальном военном университете «Васил Левски», где ведутся специализированные курсы в этой области, имеются корпуса и помещения, не имеющие планы действий при радиационных и других авариях и катастрофах.

Таким образом, нами определены направления дальнейшей работы:

1) В дополнительном изучении нуждаются другие потенциальные источники ионизирующего излучения меньшего воздействия, расположенные на сопредельных с Болгарией территориях;

2) Улучшение и усовершенствование модели воздействия погодных явлений на распространение радиоактивного загрязнения с учетом движения воздушных масс на различных высотах над землей. В этом случае получится более полная картина воздействия потенциально опасного излучения на территории Болгарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулев, И. и др. Колко опасни за населението са течните радиоактивни изхвърляния от АЕЦ „Козлодуй“? [Текст] / И. Кулев, Р. Златанова, П. Костадинов, М. Димитров, Г. Генчев, П. Пеев. – София: БалБок, 2002. – 112 с.
2. Национален доклад за състоянието и опазването на околната среда в Р България през 2014 г. на ИАОС [Текст] / Министерски съвет. – София: МОСВ, 2016.
3. Василев Г. Радиоекология [Текст] / Г. Василев. – София: Тита консулт., 2005 – 576 с.
4. Dolchinkov N.T., Nichev N.B. Characteristics of radiation. Revista academiei for țelor terestre, 2016, №2 (82), pp. 184–189.
5. Бюлетин за гама-фона в Р България на АЯР 2014 [Текст]. – АЯР, София, 2015.

6. *Статев, Ст.* Метеорология [Текст] / Ст. Статев. – ВИ, София, 1984; - 82 с
7. *Сиракова, М. И др.* Метеорология за всеки [Текст] / М. Сиракова, Д. Сираков К. Дончев. – София: Наука и изкуство, 1989. – 284 с.
8. Официальный сайт агентства РИА-новости. 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.ria.ru> – 30.08.2017.
9. AtomInfo.Bg – независим български ядрен сайт. 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.atominfo.bg> – 30.08.2017.
10. Годишен план за 2014 г. за изпълнение на Националната програма при защита от бедствия 2014 -2018 г [Текст] / Министерски съвет. – София, 2014.
11. Наредба за изграждане, експлоатация и развитие на Националната автоматизирана система за непрекъснат контрол на радиационния гама-фон в Р България (ПМС № 434/19.11.1997 г.) [Текст] / Министерски съвет. – София, 1997.
12. Environmental radiation detection: Intelligent gamma probe IGS421A/B-H, ENVINET GmbH. – Munich: ENVINET, 2014.
13. Dolchinkov N.T., Nichev N.B. Structure and management of the National Automated System for permanent control of the radiation gamma background in Bulgaria. Land Forces Academy Review. 2017, №2(86), pp. 115–121.
14. Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС) – администрация към Министъра на околната среда и водите. 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.eea.government.bg> – 30.08.2017.
15. Национална програма при защита от бедствия 2014–2018 гг. [Текст] / Министерски съвет, София, 2014.
16. Ежемесечен бюлетин на НИМХ, февруари 2017 [Текст]. – София: НИМХ, 2017.
17. Ежемесечен бюлетин на НИМХ, март 2017 [Текст] / НИМХ – София: НИМХ, 2017.
18. Система за прогноза разпространението на радиоактивното замърсяване в случай на крупна ядрена авария на НИМХ при БАН, март 2017 [Текст] / НИМХ – София: НИМХ, 2017.

REFERENCES

- [1] Kulev, I. etc. How dangerous are the liquid radioactive discharges from the Kozloduy NPP? BalBok, Sofia, 2002, 112 p. (in Bulgarian)
- [2] National Report on the Status and Protection of the Environment in Bulgaria in 2014 of the EEA, Council of Ministers – MOEW, Sofia, 2016 (in Bulgarian)
- [3] Vasilev G. Radioecology, Tita Consult. Sofia, 2005, 576 p. (in Bulgarian);
- [4] Dolchinkov N.T., Nichev N.B. Characteristics of radiation. Revista academiei for țelor terestre, 2016, №2 (82), pp. 184–189. (in English)
- [5] Nuclear Regulatory Framework in the Republic of Bulgaria 2014, NRA, Sofia, 2015 (in Bulgarian)
- [6] Статев Ст. Meteorology, VI, Sofia, 1984, 82 p (in Bulgarian)
- [7] Sirakova M., Sirakov D., Donchev K. Meteorology for Everyone, Science and Art, Sofia, 1989, 284 p (in Bulgarian)
- [8] Available at: <https://www.ria.ru>, януари 2017 (in Russian)
- [9] Available at: <http://www.atominfo.bg>, декември 2016 (in Bulgarian)
- [10] Annual plan for 2014 to implement the National Program for Disaster Protection 2014-2018, Council of Ministers, Sofia, 2014 (in Bulgarian)
- [11] Ordinance for construction, operation and development of the National Automated System for Continuous Control of the Radiation Gamma Background in the Republic of Bulgaria (Decree of the Council of Ministers No 434 / 19.11.1997), Council of Ministers, Sofia, 1997 (in Bulgarian)
- [12] Environmental radiation detection: Intelligent gamma probe IGS421A / B-H, ENVINET GmbH, Munich, 2014 (in English)
- [13] Dolchinkov N.T., Nichev N.B. Structure and management of the National Automated System for permanent control of the radiation gamma background in Bulgaria. Land Forces Academy Review, 2017, №2(86), pp. 115–121 (in English)
- [14] Available at: <http://www.eea.government.bg>, януари 2017 (in Bulgarian)
- [15] National Disaster Protection Program 2014-2018, Council of Ministers, Sofia, 2014 (in Bulgarian)
- [16] Monthly bulletin of NIMH, February 2017, NIMH - Sofia, 2017 (in Bulgarian)
- [17] Monthly Bulletin of NIMH, March 2017, NIMH - Sofia, 2017 (in Bulgarian)
- [18] System for forecasting the spread of radioactive contamination in case of a major nuclear accident at NIMH at the Bulgarian Academy of Sciences, March 2017, NIMH – Sofia, 2017 (in Bulgarian)

Modernization of Surveillance Systems and Public Notification in Case of Radioactive Contamination of the Environment in Bulgaria

N.T. Dolchinkov

*National Military University "Vasil Levski",
Bld. "Bulgaria" №76, Veliko Tarnovo, Bulgaria 5000
ORCID: 0000-0002-6171-6083
WoS Researcher ID: M-6161-2017
e-mail: n_dolchinkov@abv.bg*

Abstract – The article reviews the effect of the radiation gamma background on a person and the environment. It presents the National Automatic System for Continuous Monitoring of the Radiation Gamma Background (NASNCRGF) in Bulgaria, its history, operation, structure and management. The paper gives proposals for further work and its more streamlined work based on a study of meteorological factors, the presence of nuclear facilities around Bulgaria and some key border Bulgarian regions.

Keywords: radiation, system, meteorological factors, natural radioactive gamma background, nuclear installations, accident, wind rose.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК [621.311.25:551.5](569.5)

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНА АЭС
В ИОРДАНИИ**

© 2017 Е.А. Алалем*, А.П. Елохин*, А.И. Ксенофонов*, П.И. Федоров**

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

*** Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия*

В работе приводятся данные метеорологических характеристик района строительства АЭС в Иордании, представляющих собой измерения скорости ветра и температуры на различной высоте на метеомачте, для различных сезонов в различное время суток. Полученные характеристики дают возможность провести расчёты метеорологических параметров приземного слоя атмосферы – скорости воздушного потока, температуры, коэффициента турбулентной диффузии и энергии турбулентных пульсаций в виде функций высоты, что позволяет сформулировать задачу по оценке радиоактивного загрязнения окружающей среды в рамках модели приземного слоя атмосферы в условиях гипотетической аварии на АЭС в Иордании, а также провести исследования необходимого и достаточного количества детекторов ионизирующего излучения, размещаемых вокруг АЭС. Указанная модель в дальнейшем может быть использована для оперативной оценки последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: радиационная авария, метеорологические характеристики, ионизирующее излучение, радиоактивное загрязнение окружающей среды, детекторы ионизирующего излучения.

Поступила в редакцию: 15.09.2017

В предыдущей работе [1] авторами рассматривались основные параметры района размещения проектируемой АЭС в Иордании с последующей систематизацией данных по основным характеристикам площадки, намеченной для строительства атомной электростанции. В представленной работе тема получила дальнейшее развитие, но основное внимание было уделено изучению метеорологических характеристик площадки АЭС.

Моделирование распространения радиоактивного загрязнения окружающей играет важную роль при проектировании объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), в частности, атомных станций. В случаях, когда необходимо минимизировать степень экологической опасности, важно своевременно и максимально точно определить направление возможного распространения загрязнений, их плотность, а также характер распределения на местности.

В рассматриваемом нами случае ОИАЭ является стационарным объектом (АЭС). Его особенностью является то, что выход радионуклидов в атмосферу, происходит, как правило, на большой высоте, что является причиной распространения радиационного загрязнения на обширной территории. Газоаэрозольные выбросы создают в атмосферном воздухе аэродисперсные массы, которые в результате турбулентного движения долгое время удерживаются в воздухе и выносятся воздушными потоками из района расположения станции на значительное расстояние [2]. Скорость и дальность переноса таких масс зависит от турбулентных течений в атмосфере, времени их существования в воздухе, метеорологических условий, а также скорости и направления атмосферных потоков и периода полураспада радионуклидов. Физическая сторона

рассматриваемой проблемы связана с анализом распространения и поглощения радионуклидов. Однако практически все компьютерные модели нуждаются в постоянной корректировке определенных данных, основанных на экологических и метеорологических наблюдениях.

В рассматриваемой работе необходимые метеорологические параметры предварительно получали путём их измерения на метеорологической вышке, а общий характер их зависимости как функции высоты – на основе решения замкнутой системы уравнений приземного слоя атмосферы.

Для моделирования возникновения гипотетической аварии с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу и определения уровней радиоактивного загрязнения окружающей среды, а также дозовых нагрузок на персонал и население предполагается использование автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), общие характеристики которой достаточно подробно представлены в работах [3-6]. Данная система способна предоставить текущую информацию по развитию радиационной аварии в режиме реального времени всем необходимым структурам для своевременной оценки риска и принятия решений с целью минимизации последствий аварии.

В соответствии со сказанным выше, можно считать, что система АСКРО обеспечена соответствующими приборами и оборудованием, которое предназначено для целей сбора и обработки информации по радиоактивному загрязнению окружающей среды, оценки дозовых нагрузок на персонал и население, передачи обработанной информации руководству для принятия решений.

В настоящей работе при рассмотрении сценария, обусловленного выходом радиоактивных газоаэрозольных примесей в атмосферу, производится оценка радиоактивного загрязнения воздушного пространства и подстилающей поверхности, оценка дозовых нагрузок на персонал и население региона, оказавшегося под струей радиоактивного выброса, а также приводится математическая формулировка постановки задачи и методов ее решения.

Рассматривая в качестве субстанции объемную активность газоаэрозольной радиоактивной примеси, загрязняющей окружающую среду, $q(x, y, z)$ (Ки/м³), метеопараметры атмосферы: $u(z)$ – продольную скорость воздушного потока (поперечную скорость полагаем равной нулю), $k(z)$ – коэффициент турбулентной диффузии и $b(z)$ – энергию турбулентных пульсаций, определяемые, как указывалось, в рамках модели приземного слоя атмосферы, находим, используя физико-математический аппарат работы [7].

$$k(z) = \chi v_* L k_n; \quad u(z) = v_* u_n / \chi; \quad b = v_*^2 c^{-1/2} b_n = 4,6625 v_*^2 b_n, \quad (1)$$

где $z_n = z/L$ – безразмерная высота;

L – масштаб Монина–Обухова (масштаб приземного слоя атмосферы);

b_n – безразмерная энергия турбулентных пульсаций;

c – постоянная;

u_n – безразмерная скорость ветра;

v_* – динамическая скорость;

$\chi = 0,4$ – постоянная Кармана;

θ – потенциальная температура $\theta = T(1000/P)^{0,29}$ (T – температура °K; P – атмосферное давление мбар;

θ_n – ее безразмерная величина $\theta_n = -\chi \theta / \theta_*$, $\theta_* = P_0 / (\rho c_p v_*)$, P_0 – поток тепла,

ρ – плотность воздуха, c_p – удельная теплоемкость);

$\alpha_T = k_T/k$ – отношение коэффициента турбулентности для тепла и количества движения.

$$z_n = 2/y - 2y^3/3 - 4/3; \quad (2)$$

$$k_n = 1 - y^4, \quad (3)$$

где y – табулированное значение для различных z_n . Для безразмерных u_n , b_n , получаем следующие выражения:

$$u_n = 2/y + 2 \arctg(y) + \ln \frac{|1-y|}{1+y} + c_1; \quad (4)$$

$$b_n = y^2; \quad (5)$$

$$\theta_n = \int_{z_{0n}}^{z_n} \frac{dz_n}{\alpha_T k_n}; \quad (6)$$

$$L = - \frac{v_*}{\chi(g/T_0)(P_0/\rho c_p)}, \quad (7)$$

где g – ускорение свободного падения;

T_0 – температура на уровне земли.

Уравнение (2) относительно y имеет аналитическое решение Феррари [5, 6] и зависит от z_n следующим образом:

$$y = \begin{cases} \frac{-\sqrt{A+B} + \sqrt{(A+B) - 4 \left[\frac{A+B}{2} - \sqrt{\left(\frac{A+B}{2} \right)^2 + 3} \right]}}{2}; & z_n \geq -4/3; \\ \frac{\sqrt{A+B} + \sqrt{(A+B) - 4 \left[\frac{A+B}{2} - \sqrt{\left(\frac{A+B}{2} \right)^2 + 3} \right]}}{2}; & z_n \leq -4/3, \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{где } A = \sqrt[3]{\frac{(2+1,5z_n)^2}{2} + \sqrt{64 + \frac{(2+1,5z_n)^4}{4}}}; \quad B = \sqrt[3]{\frac{(2+1,5z_n)^2}{2} - \sqrt{64 + \frac{(2+1,5z_n)^4}{4}}}.$$

Зависимости скорости приземного ветра $u(z)$, коэффициента турбулентной диффузии $k(z)$ и энергии турбулентных пульсаций $b(z)$ как функций высоты z в рамках модели приземного слоя атмосферы могут быть успешно найдены, если известны параметры приземного слоя v_* и L . Значения последних находят, используя методику градиентных наблюдений над скоростью ветра и температурой следующим образом [5-7]. Измеряют на двух уровнях скорость ветра и температуру, например, $z_1 = 2H$, $z_2 = 0,5H$ ($H = 1$ м). Находят разности $Du = u(z_1) - u(z_2)$; $D\theta = \theta(z_1) - \theta(z_2)$. Используя формулу (7) и выражение для скорости ветра и температуры через безразмерные величины, получаем $P_0/\rho c_p = -\chi v_* D\theta/D\theta_n$;

$$Du = v_* Du_n / \chi; (Du/Du_n)^2 = (g/T_0)L(D\theta/D\theta_n), \quad (9)$$

где u_n ; θ_n – табулированные значения универсальных функций, вычисленных для различных z_n ($z_n = z/L$) [7],
 Du_n ; $D\theta_n$ – их разность.

Поскольку Du , $D\theta$ – измеряемые величины, а Du_n , $D\theta_n$ зависят от масштаба Монино–Обухова L , то выражение (9) есть явно-неявная функция L .

Для нахождения L задаются некоторым значением $L_{\max}$ и варьируют его, например, $L_i = DL^*i$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$; $DL = L_{\max}/N$ до тех пор, пока разность или относительная погрешность:

$$\left| \left(\frac{Du}{Du_n} \right)^2 - \frac{g}{T_0} L \frac{D\theta}{D\theta_n} \right|, \quad \varepsilon = \left| \frac{(Du/Du_n)^2 - (gL/T_0)(D\theta/D\theta_n)}{(Du/Du_n)^2} \right| \times 100\% \quad (10)$$

не будет минимальной (в пределе $\varepsilon \rightarrow 0$). Найденное значение L^* , при котором ε минимальна, и определит искомое значение L : $L^* = DL^*i^*$. Определив масштаб Монино–Обухова L и пересчитав z_n при фиксированных z_1 и z_2 , т.е., таким образом, пересчитав $D\theta_n$; Du_n , найдем v_* :

$$v'_* = \chi \frac{Du}{Du_n} \quad (11)$$

или

$$v''_* = \chi \sqrt{(gL/T_0)(D\theta/D\theta_n)}. \quad (12)$$

При стремлении $\varepsilon \rightarrow 0$ $v'_* \rightarrow v''_*$. Рассмотренный метод более целесообразен при расчёте метеопараметров на ЭВМ. Поскольку параметр L может быть как $L > 0$ так и $L < 0$ (при $L = 0$ режим движения теряет турбулентный характер [7]), то всевозможные вариации L_i должны проводиться по формуле: $L_i = DL(N + 1 - i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, N, N+1, N+2, \dots, 2N+1$. Последнее позволяет учесть различную стратификацию слоя атмосферы, задаваемую температурным режимом. Для расчета $u_n(z_n)$, $k_n(z_n)$ при найденном L целесообразно пользоваться не таблицами, а аналитическим значением u как функцией z_n , определяемой формулой (8). Выбор u_n , θ_n по заданному z_n осуществляется следующим образом: при известном z_n находят u , по которому, в соответствии с формулами (4), (6), находят значения соответствующие u_n или θ_n . Аналогично находят значения этих функций для другого значения z_n (другого уровня), вычисляя затем разности Δu_n , $\Delta \theta_n$. После определения параметров L , v_* значения $u(z)$, $k(z)$ находят по формулам (1). Постоянную c_1 в (4) находят при $z = z_0$ и $u(z)|_{z=z_0} = 0$.

Для определения зависимости метеопараметров атмосферы, таких как скорость приземного ветра $u(z)$ и коэффициент турбулентной диффузии $k(z)$, как функций от высоты над подстилающей поверхностью (z), использовались параметры, полученные с метеовышки, находящейся на расстоянии около 100 км от промплощадки АЭС. Собранные с двух высотных отметок метеоданные по температуре, давлению, скорости и направлению ветра были усреднены при распределении по четырем сезонам года и четырем шестичасовым суточным отрезкам времени, начиная с двух часов ночи.

Усредненные метеорологические данные с учетом указанного распределения и оценкой минимальных и максимальных значений, а также значения температуры воздуха на уровне подстилающей поверхности представлены в таблице 1. Расчёт метеопараметров проводился для каждого из указанных в таблице сезонов и заданное время суток: 2:00, 8:00, 14:00, 20:00 часов.

Таблица 1. – Усредненные метеорологические данные района АЭС в Иордании [8]

	Min--> Max-->	7,25 31,71	8,81 30,17	189,6 274,5	2,0 5,0	9,39 28,85	190,1 276,3	2,7 6,8		32,02 6,98
Сезон	Время	Температура на высоте 1,5 м (°C)	Температура на высоте 10 м (°C)	Направление ветра на высоте 10 м (град)	Скорость ветра на высоте 10 м (м/с)	Температура на высоте 58 м (°C)	Направление ветра на высоте 58 м (град)	Скорость ветра на высоте 58 м (м/с)	Среднее значение давления (кПа)	* Температура на высоте 0 м (°C)
Лето С 21.06 по 22.09	2:00	19,67	20,96	229,30	2,09	22,04	246,02	3,55	939	19,41
	8:00	23,17	22,16	218,49	2,45	21,64	239,76	3,36	940	23,38
	14:00	31,71	30,17	217,42	5,01	28,85	240,39	6,79	938	32,02
	20:00	24,73	24,83	242,77	3,73	24,75	267,67	6,25	939	24,71
Осень С 23.09 по 20.12	2:00	13,03	14,48	212,20	2,28	16,28	224,38	3,49	945	12,74
	8:00	14,55	14,57	209,78	2,20	15,58	211,00	3,13	945	14,55
	14:00	23,45	22,37	190,02	4,14	21,42	204,33	5,42	943	23,67
	20:00	16,88	17,64	221,46	2,32	18,58	234,72	3,99	944	16,73
Зима С 21.12 по 20.03	2:00	7,25	8,81	202,15	2,03	9,85	207,99	2,75	946	6,98
	8:00	9,21	9,10	195,53	2,36	9,39	197,56	3,26	947	9,23
	14:00	17,70	16,37	189,59	4,02	15,72	190,11	4,86	945	17,97
	20:00	9,95	11,23	221,15	2,28	12,21	219,48	3,09	946	9,69
Весна С 21.03 по 20.06	2:00	13,95	15,43	210,45	1,96	16,64	231,95	2,73	942	13,65
	8:00	18,40	17,39	190,02	2,54	17,02	198,15	3,34	942	18,61
	14:00	26,40	24,84	234,98	4,87	23,77	252,16	6,09	941	26,72
	20:00	19,52	19,48	274,51	3,03	19,39	276,31	4,79	942	19,53

* Параметр рассчитан методом квадратичной экстраполяции: $y = ax^2 + bx + c$.

При определенной в ходе расчета минимальной относительной погрешности $\varepsilon(i)$ были получены значения индекса i^* для дальнейшего вычисления масштаба Мони́на–Обухова L в каждое время суток, указанное в таблице 1. На рисунках 1–3 эти зависимости приведены на 20.00 в зимний, весенний и осенний периоды. Анализ зависимостей, приведенных на указанных рисунках, показывает, что с ростом индекса i относительная погрешность $\varepsilon(i)$ стремится к минимуму в широкой области его изменения, уменьшаясь до нуля при некотором i^* , определяя, таким образом, искомый масштаб Мони́на–Обухова $L_i^* = \Delta L_i^*$, и затем снова возрастает. Подобный характер зависимости $\varepsilon(i)$ оказывается справедливым практически для всех сезонов. Однако в ряде случаев, в поведении функции $\varepsilon(i)$ может наблюдаться два минимума: первый – широкий в области $i < N$ ($\varepsilon_i = 0$), второй узкий при $i > N$. Второй минимум для функции $\varepsilon(i)$ в области значений индекса $i > N$ ($\varepsilon_i < 100\%$, но $\neq 0$) может быть обусловлен небольшой величиной разности $(N+1-i)$ близкой к нулю, которая определяет состояние устойчивости атмосферы (см., например, рис. 3). В этом случае следует обратить внимание на характер спада и диапазон изменений индекса i , при котором происходит этот спад. Если диапазон изменений i , при которых наблюдается второй минимум, незначителен, то его не следует принимать во внимание. Анализ полученных в ходе расчета значений масштаба приземного слоя (параметра Мони́на–Обухова) L позволил сделать вывод, что характер состояния атмосферы в общем случае является устойчивым $L > 0$. Область неустойчивости ($L < 0$) характерна для летнего и весеннего сезонов в вечернее время ~ 20.00 . Найденные значения L и v_* по формуле (11), дали возможность рассчитать по формулам (1) значения скорости воздушного потока $u(z)$, коэффициента турбулентной диффузии $k(z)$ и энергии турбулентных пульсаций $b(z)$ для различных сезонов, усреднённые значения которых приведены в таблице 2. На рис. 4, 5 приведены зависимость скорости приземного слоя атмосферы как функции высоты для устойчивого и неустойчивого состояний атмосферы. На рисунках 6, 7 и рисунках 8, 9 приведены зависимость коэффициента турбулентной диффузии и энергии турбулентных пульсаций, как функции высоты, соответственно для устойчивого и неустойчивого состояний атмосферы.

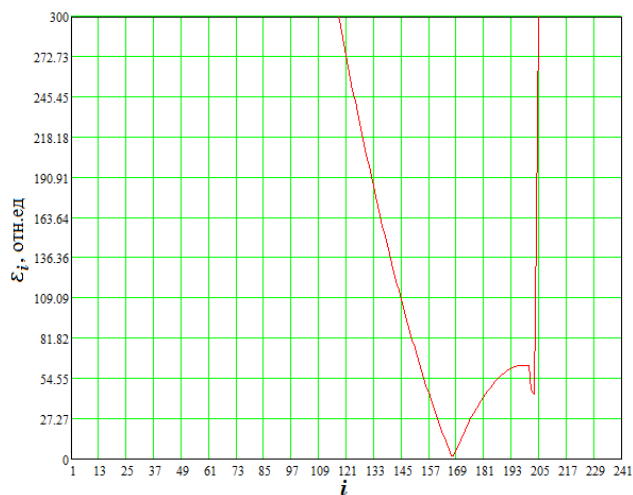


Рис. 1. – Относительная погрешность ε_i . Зима, 20:00; $L = 17$

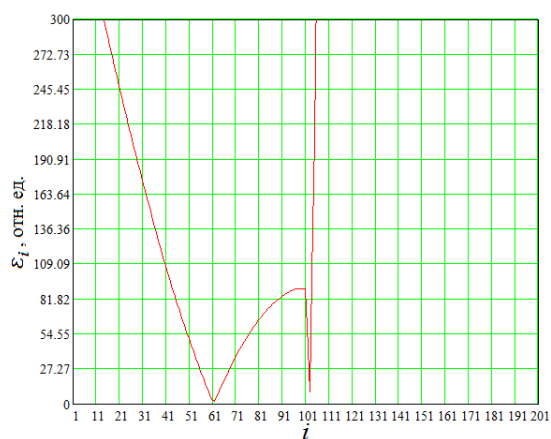


Рис. 2. – Относительная погрешность ε_i .
Осень, 20:00; $L = 39$

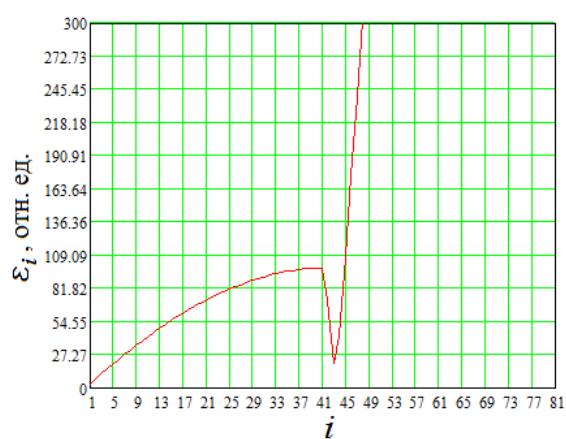


Рис. 3. – Относительная погрешность ε_i .
Весна, 20:00; $L = -5$

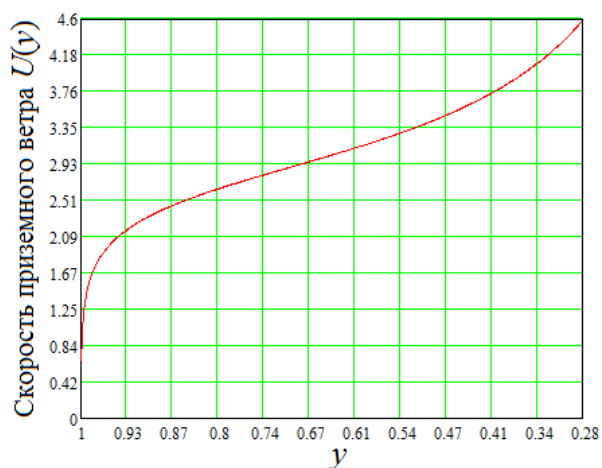


Рис. 4. – Зависимость скорости воздушного потока приземного слоя атмосферы $u(z)$ зимой при устойчивом состоянии атмосферы $L = 17$ м; $v_* = 0,139$

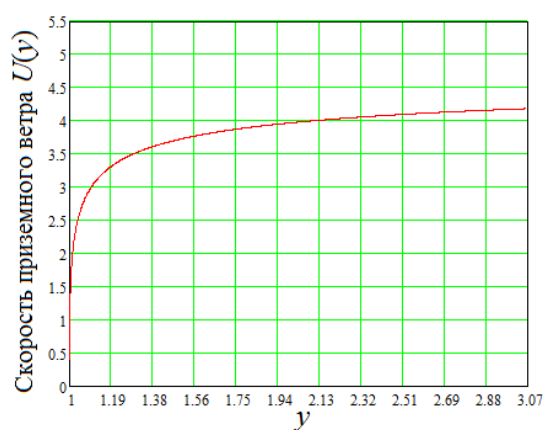


Рис. 5. – Зависимость скорости воздушного потока приземного слоя атмосферы $u(z)$ весной при неустойчивом состоянии атмосферы $L = -5$ м; $v_* = 0,232$

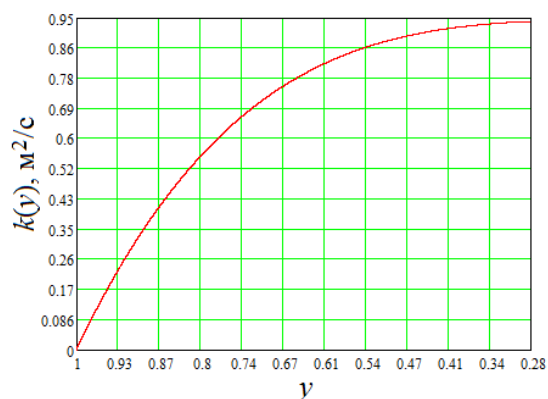


Рис. 6. – Зависимость коэффициента турбулентной диффузии $k(y)$ при устойчивом состоянии атмосферы (зима) $L = 17$ м; $v_* = 0,139$

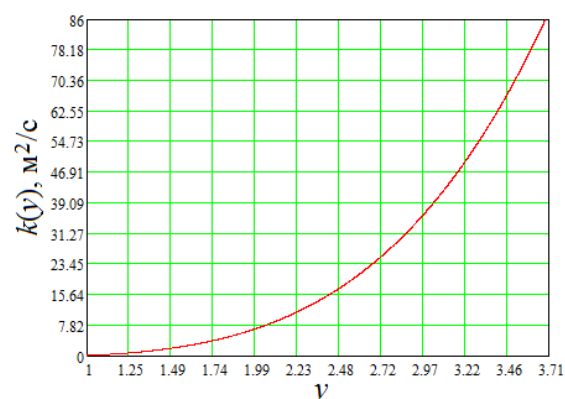


Рис. 7. – Зависимость коэффициента турбулентной диффузии $k(y)$ при неустойчивом состоянии атмосферы (весна) $L = -5$ м; $v_* = 0,232$

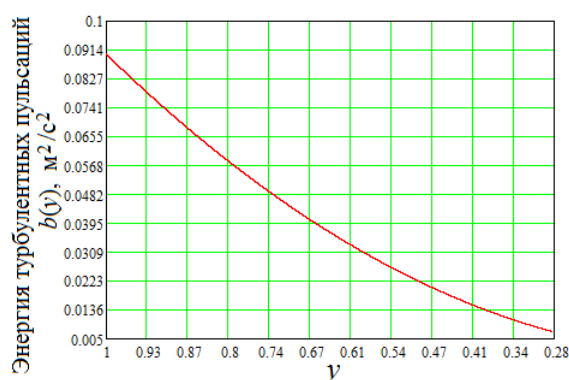


Рис. 8. – Зависимость энергии турбулентных пульсаций $b(z)$ для устойчивого состояния атмосферы (зима) $L = 17$ м; $v_* = 0,139$

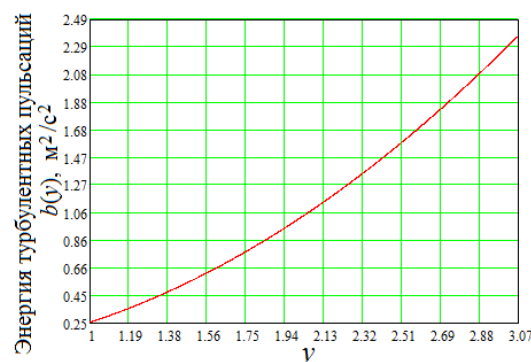


Рис. 9. – Зависимость энергии турбулентных пульсаций $b(z)$ для неустойчивого состояния атмосферы (весна) $L = -5$ м; $v_* = 0,232$

Анализ приведённых зависимостей показывает их существенное различие как по абсолютной величине, так и по характеру их изменения с высотой « y ». Например, при устойчивом состоянии скорость ветра растёт с высотой¹ (см. рис. 4), а при неустойчивом (рис. 5) становится практически постоянной величиной. Коэффициент турбулентной диффузии при неустойчивом состоянии атмосферы (см. рис. 6, 7) отличается, практически, на два порядка от такового в отличие от устойчивого состояния атмосферы, изменяя при этом характер роста с высотой. Энергия турбулентных пульсаций изменяется не только по абсолютной величине при устойчивом и неустойчивом состояниях атмосферы, но и изменяет характер зависимости производной указанной величины, т.е. носит спадающий характер при устойчивом состоянии (см. рис. 8) и, напротив, демонстрирует рост при неустойчивом состоянии атмосферы (рис. 9).

Характер полученных зависимостей скорости ветра $u(z)$ (рис. 4, 5) и коэффициента турбулентной диффузии $k(z)$ (рис. 6, 7) как функций высоты z хорошо

¹ Максимальные значения y_{max} приведенные на оси абсцисс на каждом из графиков и вычисляемой по формуле (8), соответствуют наибольшей из рассматриваемых высот $Z_{max} = 100$ м, а их различие обусловлено разным масштабом турбулентности L при определении указанной величины.

согласуется с известными в литературе данными для указанных зависимостей при соответствующем состоянии атмосферы [5–7, 9]. Последнее позволяет констатировать, что и расчёты зависимостей энергии турбулентных пульсаций, приведённых на рисунках 8, 9, также проведены корректно.

Таблица 2. – Усреднённые характеристики метеопараметров

Сезон времени года	$\bar{u}$, м/с	$\bar{k}$, м ² /с	$\bar{b}$, м ² /с ²	L , м	v_*
Зима, 20:00	3,057	0,684	0,041	17	0,139
Весна, 20:00	3,836	11,743	1,129	-5	0,232

Перенос радиоактивной примеси в атмосфере рассчитывают, используя уравнение турбулентной диффузии, полагая при этом, что размывание примеси по оси Y осуществляется по закону Гаусса, и, определяя, таким образом, объёмную активность примеси выражением [7]:

$$q(x, y, z) = \frac{S(x, z)}{\sqrt{2\pi}\sigma_y(x)} \exp(-y^2/2\sigma_y^2), \quad (13)$$

где $\sigma_y(x)$ – среднеквадратичное отклонение; функция $S(x, z)$ определяется выражением:

$$S(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(x, y, z) dy = 2 \int_0^{+\infty} q(x, y, z) dy. \quad (14)$$

Таким образом, для объёмной концентрации газоаэрозольной примеси получают уравнение:

$$u \frac{\partial S}{\partial x} - w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(z) \frac{\partial S}{\partial z} \right] - \sigma S + \varphi, \quad (15)$$

где $\varphi(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) dy = M\delta(x)\delta(z - h_{эф})$;

$f = M\delta(x)\delta(y)\delta(z - h_{эф})$ – источник газоаэрозольной примеси, загрязняющий окружающую среду;

M – мощность выброса (Бк/с);

$h_{эф}$ – эффективная высота выброса;

σ – постоянная релаксации радиоактивной газоаэрозольной загрязняющей примеси, представляющая собой постоянную вымывания примеси из атмосферы σ_0 (с⁻¹), так что $\sigma = \sigma_0$; w – гравитационная скорость осаждения примеси.

В рамках рассматриваемой модели переноса величину $\sigma_y^2(x)$ представляют в виде: $\sigma_y^2(x) = \bar{b}x^2/\bar{u}^2(1 + \alpha x\bar{b}/\bar{k}\bar{u})$, где $\bar{b}$, $\bar{k}$, $\bar{u}$ – усредненные по приземному слою высотой $H_{пр} \approx 100$ м с весом $S(x, z)$ значения энергии турбулентных пульсаций $b(z)$, коэффициента турбулентной диффузии $k(z)$ и скорости ветра $u(z)$, $\alpha = 0,015$.

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

$$\bar{u} = \frac{\int_0^{H_{np}} u(z) \left(\int_0^\infty S(x, z) dx \right) dz}{\int_0^{H_{np}} \left(\int_0^\infty S(x, z) dx \right) dz}.$$

Граничные условия определяются выражениями:

$$S(x, z)|_{x=0} = 0; \quad (16)$$

$$S(x, z)|_{x \rightarrow \infty} = 0; \quad (17)$$

$$S(x, z)|_{z \rightarrow \infty} = 0; \quad (18)$$

$$k \frac{\partial S}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = (\beta - w) S|_{z=z_0}, \quad (19)$$

где β – скорость сухого осаждения газоаэрозольной примеси на подстилающую поверхность;

z_0 – параметр шероховатости подстилающей поверхности.

Аналитическое решение этой частной задачи (15) – (19) дается выражением (20), непосредственно объемная активность газоаэрозольной примеси радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере, вычисляется по формуле (13).

$$S(x, z) = \frac{M}{2} \exp \left(- \left[\frac{\sigma_0 x}{\bar{u}} + \frac{w^2 x}{4k\bar{u}} + \frac{w(z - h_{эф})}{2k} \right] \right) \left\{ \frac{\exp(-[z + h_{эф}]^2 \bar{u} / 4kx) + \exp(-[z - h_{эф}]^2 \bar{u} / 4kx)}{\sqrt{\pi k \bar{u} x}} - \frac{(2\beta - w)}{k\bar{u}} \exp \left[- \frac{(2\beta - w)(z + h_{эф})}{2k} + \left(\frac{2\beta - w}{2k} \right)^2 \frac{kx}{\bar{u}} \right] \times \right. \\ \left. \times \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{2\beta - w}{2k} \right) \sqrt{kx/\bar{u}} + \frac{(z + h_{эф})}{2\sqrt{kx/\bar{u}}} \right] \right\}, \quad (20)$$

Результаты расчётов указанных зависимостей $u(z)$, $k(z)$ и $b(z)$ как функций высоты над подстилающей поверхностью, а также их усреднённые значения дают возможность получить осевые, поперечные распределения объёмной активности в зависимости от состояния устойчивости приземного слоя атмосферы, а также представить её общий характер.

Наглядное представление общего характера распределения объёмной активности, которая описывается формулами (13), (20), дает зависимость, представленная на рис. 10. К сожалению, точность такого рода распределений не всегда бывает достаточно высокой, поскольку ряд параметров, определяющих функцию распределения $S(x, z)$ (см. выражение (20)) и дисперсию $\sigma_y(x)$, содержат данные, полученные экспериментально, т.е. с определенной погрешностью. Последнее может привести к тому, что на расстояниях от источника выброса, начиная с 10 км, точность оценки будет превышать порядок рассматриваемой величины [10]. Поэтому в условиях радиационных аварий необходимо, по возможности, уточнить состояние устойчивости атмосферы, используя более надежные технологии измерения, а также использовать радиоуправляемые беспилотные средства дозиметрического контроля типа беспилотного дозиметрического комплекса (БДК) [5], позволяющие провести как дозиметрический, так и радиометрический контроль воздушного бассейна и подстилающей поверхности в режиме реального времени.

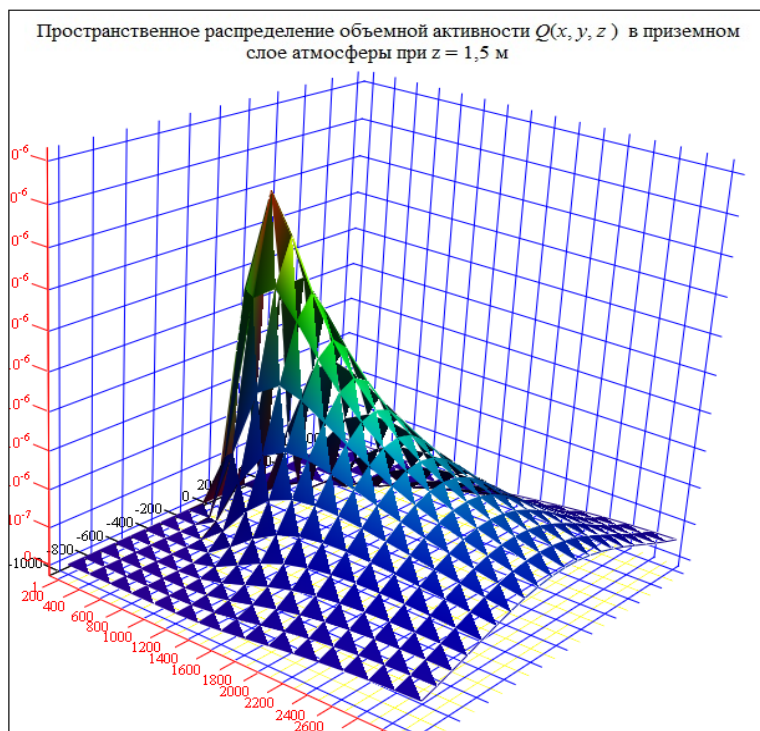


Рис. 10. – Распределение объемной активности газоаэрозольной радиоактивной примеси как функции x, y при $z = 1,5$ м, характерное для неустойчивого состояния атмосферы

Знание величины объемной активности и характер её распределения в атмосфере позволяет получить расчетные оценки мощности дозы от объемного источника и от поверхностного загрязнения подстилающей поверхности, используя интегральные методы [11] или метод Монте-Карло [12-15] вблизи источника выбросов, или, при измеренных значениях объёмной активности, получить указанные оценки в рамках концепции лучевого равновесия [16] на территории, расположенной на расстояниях от источника от 700 до 10000 м [5,6].

На рисунках 11, 12 приведены результаты расчетов изолиний пространственного распределения радиоактивной примеси в приземном слое атмосферы (на высоте $z = 1,5$ м), описываемого системой уравнений (13) – (20). Эти расчеты наглядно показывают, какую важную роль может играть состояние устойчивости атмосферы при оценке площади радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности и ущерба населенным пунктам, сельскохозяйственным угодьям и окружающей среде в целом. Характерной особенностью распределений, представленных на указанных рисунках, является очевидное гауссово уширение зависимости, представленной на рисунке 12 по сравнению с рисунком 11. Последнее обусловлено тем, что среднее значение коэффициента $\bar{b}$, определяющего поперечную диффузию факела выбросов при устойчивом состоянии (см. рис. 11), меньше в 27 раз, чем на аналогичном распределении, представленном на рисунке 12. На рисунке 13 в рамках рассматриваемой задачи, приведены результаты расчета осевого распределения радиоактивной примеси для полученных значений состояний устойчивости атмосферы. Из анализа характера распределения изолиний, приведенного на этом рисунке, следует, что максимум поверхностного загрязнения в зависимости от состояния устойчивости атмосферы располагается на различных расстояниях от источника выбросов, что непосредственно следует из рисунков 11, 12. Также, в ходе проведенного анализа были получены значения поперечного распределения выбросов объемной активности на различных расстояниях от источника радиоактивного выброса (рис. 14 а, б). Характер

распределений, представленных на рисунке 13, обусловлен существенным различием поведения скорости воздушного потока как функции высоты, а также высоким коэффициентом турбулентной диффузии при неустойчивом состоянии атмосферы.

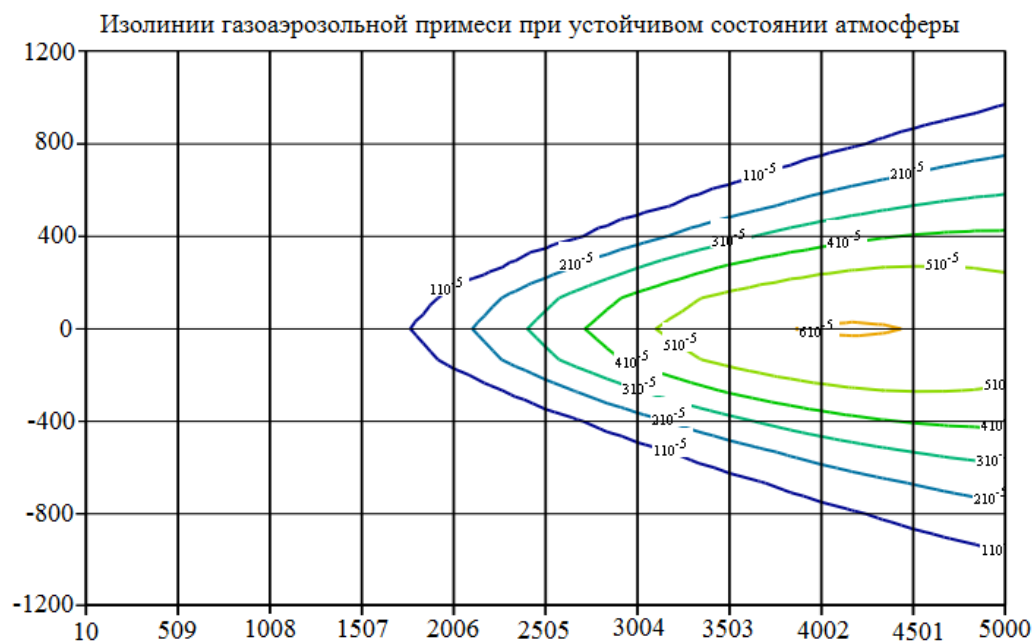


Рис. 11. – Уровни поверхностного загрязнения подстилающей поверхности для устойчивого состояния атмосферы при $L = 17$, $z = 1,5$ м, $\bar{b} = 0,041$

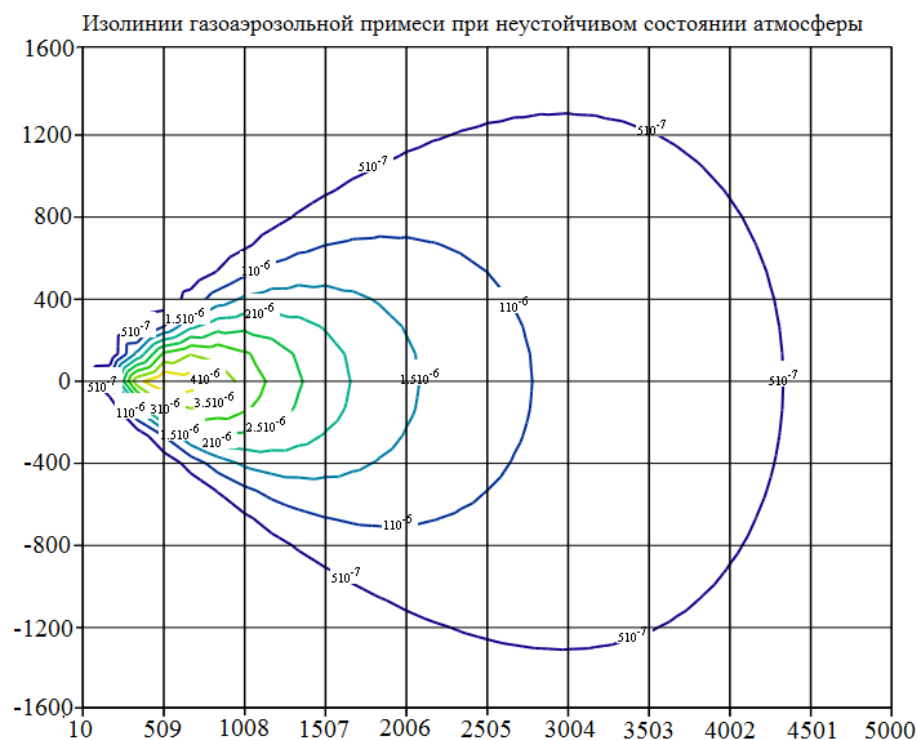


Рис. 12. – Уровни поверхностного загрязнения подстилающей поверхности для неустойчивого состояния атмосферы при $L = -5$, $z = 1,5$ м, $\bar{b} = 1,129$

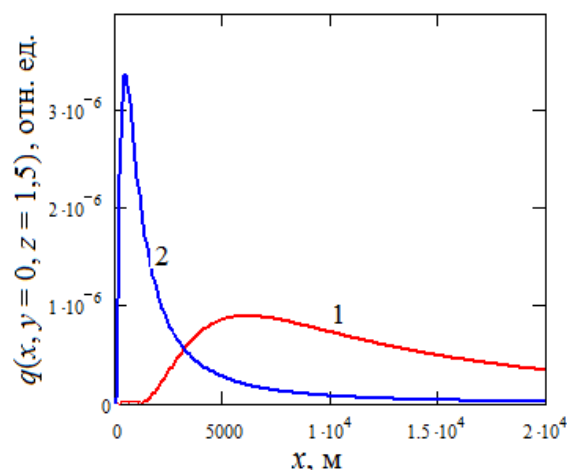


Рис. 13. – Осевые распределения выбросов объемной активности $q(x, y = 0, z = 1,5)$ газоаэрозольной радиоактивной примеси при устойчивом состоянии атмосферы 1 ($L = 17$) и при неустойчивом 2 ($L = -5$)

Характер поперечных распределений, представленных на рисунке 14 (а, б), не противоречит распределениям, приведённым на рисунках 11 и 12. Гауссово уширение струи, которое демонстрируется на рисунке 12, соответствует тому, что кривые 2 на рисунке 14 а и б шире, чем кривые 1, а на больших расстояниях ($x = 3000$, рис. 8 б) этот эффект более заметен. На небольших расстояниях от источника выбросов амплитуда кривой 2 заметно больше, чем кривой 1, что соответствует кривым осевого распределения, представленных на рисунке 13.

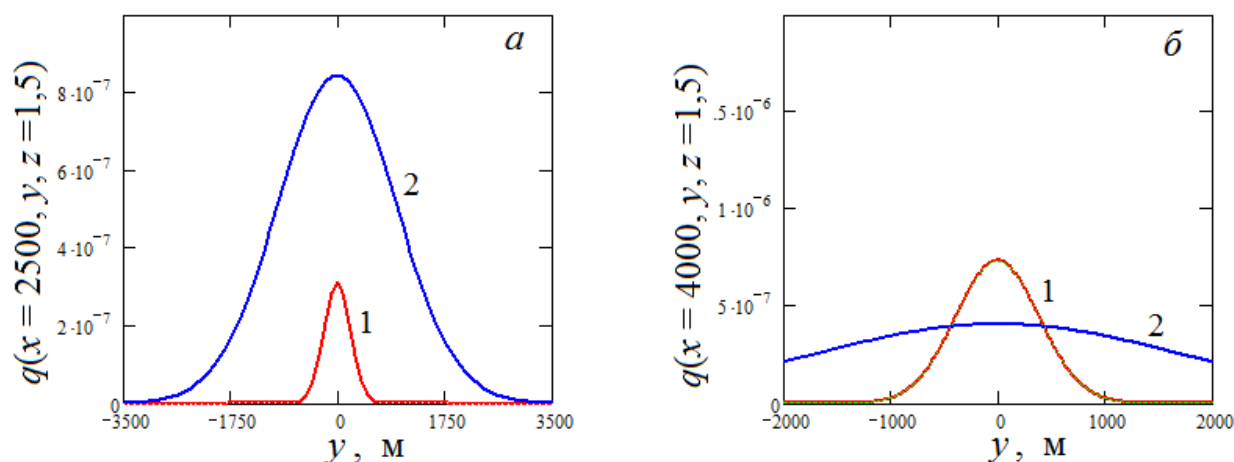


Рис. 14. – Поперечные распределения выбросов объемной активности: $q(x = 2500, y, z = 1,5)$ (а) и $q(x = 4000, y, z = 1,5)$ (б) газоаэрозольной радиоактивной примеси при устойчивом $L = 17$ (1) и неустойчивом $L = -5$ (2) состояниях атмосферы

Использование этого эффекта, т.е. зависимость уширения распределения от состояния устойчивости атмосферы, позволяет найти оптимальные значения необходимого N_n и достаточного N_d числа датчиков АСКРО для любого состояния устойчивости атмосферы, которым характеризуется тот или иной регион, в котором размещается АЭС [17, 18] и, в частности, район строительства АЭС в Иордании.

Метод оценки значений N_n и N_d иллюстрируется на рисунке 15, на котором в центре санитарно-защитной зоны (СЗЗ) радиусом R_0 размещается условный источник выброса, ось которого направлена по оси OX . В системе координат XOY строят кривую распределения мощности дозы подобную распределению, приведенному на рисунке

14а. На расстоянии δ от оси факела выбросов по графику определяют значение мощности дозы, соответствующее предельной чувствительности детектора, при различном состоянии устойчивости атмосферы [4, 17, 18], полагая, что в максимуме кривой мощность дозы соответствует значению, характерному мощности дозы допустимой для населения, при котором, согласно [19], значение годовой дозы составляет 5 мЗв/год. Определив δ , и, полагая, что датчики распределяются по периметру СЗЗ равномерно по азимуту, находят длину дуги l , равную, согласно рисунку, $l = R_0 \arctg(\delta/R_0)$, после чего находят значение $N_n = \pi R_0/l$ и, окончательно:

$$[N_n] = \pi / \arctg(\delta/R_0), N_d = N_n + 1. \quad (21)$$

При малых значениях отношения $\delta/R_0 \ll 1$, которые характерны для устойчивого состояния атмосферы (см. рис. 14 а), вместо значения $[N_n]$, определяемого формулой (3), находят $[N_n] = \pi R_0/\delta$.

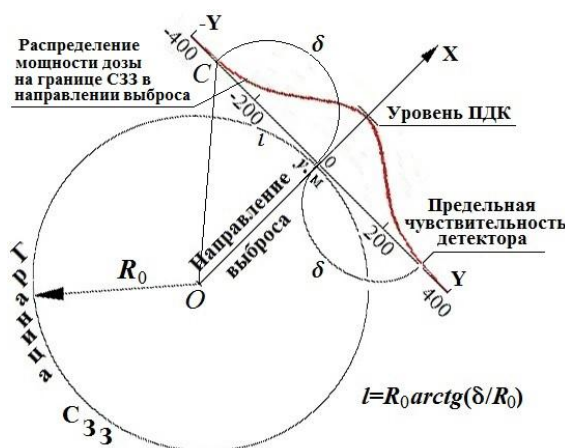


Рис. 15. – Иллюстрация выбора оптимального количества датчиков АСКРО. На оси X0Y на границе СЗЗ в направлении выброса приведено поперечное распределение мощности дозы, создаваемой газоаэрозольной радиоактивной примесью. R_0 – радиус СЗЗ

Таким образом, рассмотренная выше методика определения состояния устойчивости атмосферы позволяет определить необходимое и достаточное число постов радиационного контроля, размещаемых вокруг АЭС в Иордании, что представляет определённый интерес для проектировщиков и разработчиков АСКРО АЭС в этой стране. Следует отметить, что для России соответствующая оценка даёт 12 и 23 датчика соответственно для неустойчивого и устойчивого состояний атмосферы. Такое различие обусловлено именно существенно различным состоянием устойчивости атмосферы не только по величине, но и по знаку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елохин, А.П. и др. Анализ основных характеристик района размещения проектируемой АЭС в Иордании [Текст] / А.П. Елохин, А.И. Ксенофонтов, П.И. Федоров, Е.А. Алалем // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №2(19). – С. 7–15.
2. Методы расчета распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и доз облучения населения. – М.: МХО Интератомэнерго, 1992. 334 с.
3. Елохин, А.П. и др. Оценка материальных затрат при ликвидации последствий радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при радиационной аварии на ОИАЭ [Текст] / А.П. Елохин, И.А. Стародубцев // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №3(20). – С. 7–34.
4. Елохин, А.П. и др. Некоторые оценки материальных затрат при ликвидации последствий

- радиоактивного загрязнения окружающей среды в результате радиационной аварии на ОИАЭ [Текст] / А.П. Елохин, И.А. Стародубцев // The XIIth International Conference Science and Education, 1-2 июля 2016 г.: сборник статей. – Мюнхен, 2016. С. 55–81.
5. Елохин, А.П. Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды: монография [Текст] / А.П. Елохин. М-во образования и науки Российской Федерации, Нац. исслед. ядерный ун-т "МИФИ". – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. – 520 с.
 6. Елохин, А.П. Оптимизация методов и средств автоматизированных систем контроля радиационной обстановки окружающей среды [Текст] / А.П. Елохин. Дисс. уч. ст. докт. техн. наук. – М.: МИФИ, 2001. – 325 с.
 7. Лайхтман, Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы [Текст] / Д.Л. Лайхтман. – Л.: Гидромет. изд-во, 1970. – 340 с.
 8. Jordan Atomic Energy Commission. Meteorological data. Weather Station readings. 06.09.2014.
 9. Бобылева, М.М. Расчет характеристик турбулентности в планетарном пограничном слое атмосферы [Текст] / М.М. Бобылева // Труды Ленинградского Гидрометеорологического института. Вып. 40 (Некоторые вопросы физики пограничного слоя в атмосфере и море). – Л., 1970. – С. 64–73.
 10. Елохин, А.П. и др. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РБ – 053 – 09. Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.06.2010 г. № 465. [Текст] / А.П. Елохин, М.В. Жилина, Д.Ф. Рау, Е.А. Иванов. [Б.м.], 2010. – 79 с.
 11. Метеорология и атомная энергия / Пер. с англ., под ред. Н.Л. Бызовой и К.П. Махонько. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 618 с.
 12. Метод Монте-Карло в проблеме переноса излучений / Под ред. чл.-кор. АН СССР Г.И. Марчука. – М.: Атомиздат, 1967. – 256 с.
 13. Leimdorfer M. On the Use of Monte-Carlo Methods for Solving Gamma Radiation Transport Problems. Nukleonik, 1964, Vol. 6, p. 14.
 14. Золотухин, В.Г. и др. Поле излучения точечного мононаправленного источника гамма-квантов [Текст] / В.Г. Золотухин, Л.Р. Кимель, А.И. Ксенофонов и др. – М.: Атомиздат, 1974. – 160 с.
 15. Соболев, И.М. Численные методы Монте-Карло [Текст] / И.М. Соболев. – М.: Наука, 1973. – 311 с.
 16. Гусев, Н.Г. и др. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник [Текст] / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.
 17. Елохин, А.П. и др. К вопросу об использовании автоматизированных систем контроля экологической обстановки на территориях, прилегающих к предприятиям черной, цветной металлургической и атомной промышленности [Текст] / А.П. Елохин, И.А. Стародубцев // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – №4(17). – С. 15–34.
 18. Alexander P. Elokhin and Ilia A. Starodubtcev. On the Ecological Situation at the Territories Adjacent to Chemical and Metallurgical Facilities. (Subtitle: Using Sensors and an Automated Control System to Monitor Environmental Conditions). Environmental Quality Management. (USA) 2017, Vol. 26, №2, pp. 23–43.
 19. Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) [Текст].

REFERENCES

- [1] Elokhin A.P., Ksenofontov A.I., Fedorov P.I., Alalem E.A. Analiz osnovnykh kharakteristik rajjona razmeshhenija proektiruemojj AEhS v Iordanii [Main Characteristics Analysis of the NPP Placement Area Designed in Jordan]. Globalnaja yadernaja bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №2(19), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 7–15. (in Russian)
- [2] Metody rascheta rasprostraneniya radioaktivnykh veshhestv v okruzhajushhejj srede i doz obluchenija naselenija [Methods for Calculating the Spread of Radioactive Substances in the Environment and Doses to the Public]. M. Pub. MXO Интератомэнерго, 1992, 334 p. (in Russian)
- [3] Elokhin A.P., Starodubtcev I.A. Ocenka materialnykh zatrat pri likvidacii posledstviij radioaktivnogo zagraznenija podstilajushhejj poverkhnosti pri radiacionnoj avarii na OIAEh [The Material Costs in the Aftermath of Radioactive Pollution as a Result of Radiation Accident at Nuclear Facilities]. Globalnaja yadernaja bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №3(20), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 7–34. (in Russian)

- [4] Elokhin A.P., Starodubcev I.A. Nekotorye ocenki materialnykh zatrat pri likvidacii posledstviij radioaktivnogo zagryaznenija okruzhajushhejj sredy v rezultate radiacionnoj avarii na OIAEh [Some Estimates of Material Costs during the Liquidation of the Consequences of Radioactive Contamination of the Environment as a Result of a Radiation Accident at the Nuclear Facilities]. Materials of the XIIth International Conference Science and Education. July, 1–2 2016. München, 2016. pp. 55–81. (in Russian)
- [5] Elokhin A.P. Metody i sredstva sistem radiacionnogo kontrolja okruzhajushhejj sredy: monografija [Methods and Means of Radiation Monitoring Systems of the Environment: monograph]. M. Pub. NRNU MEPhI, 2014, 520 p. (in Russian)
- [6] Elokhin A.P. Optimizacija metodov i sredstv avtomatizirovannykh sistem kontrolja radiacionnoj obstanovki okruzhajushhejj sredy. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk [Optimization of Methods and Means of the Automated Control Systems of Environment Radiation Situation. The thesis for the Doctor of Engineering degree]. M. Pub. MEPhI, 2001, 325 p. (in Russian)
- [7] Lajjkhtman D.L. Fizika pograničnogo sloja atmosfery [Physics of an Interface of the Atmosphere]. Leningrad. Pub. Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1970, 340 p. (in Russian)
- [8] Jordan Atomic Energy Commission. Meteorological data. Weather Station readings. 06.09.2014. (in English)
- [9] Bobyleva M.M. Raschet kharakteristik turbulentnosti v planetarnom pograničnom sloe atmosfery. Trudy Leningradskogo Gidrometeorologicheskogo instituta. Vol. 40 (Nekotorye voprosy fiziki pograničnogo sloja v atmosfere i more) [Calculation of the Turbulence Characteristics in the Planetary Boundary Layer of the Atmosphere. Proceedings of the Leningrad Hydrometeorological Institute. Issue. 40 (Some issues of the Physics of the Boundary Layer in the Atmosphere and the Sea)]. Leningrad, 1970, pp. 64–73. (in Russian)
- [10] Elokhin A.P., Zhilina M.V., Rau D.F., Ivanov E.A. Polozhenie o povyshenii točnosti prognosticheskikh ocenok radiacionnykh kharakteristik radioaktivnogo zagryaznenija okruzhajushhejj sredy i dozovykh nagruzok na personal i naselenie. Ministerstvo prirodnykh resursov i ehkologii Rossijskojj Federacii, Federal'naja sluzhba po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru RB – 053 – 09. Utverzhdeno prikazom Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 08.06.2010 goda №465 [Provision on Increase in Accuracy of Predictive Estimates of Radiation Characteristics of Radioactive Environmental Pollution and Dose Loads of Personnel and Population. The Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Russian Federation, Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of RB – 053 – 09. Approved by the order of Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, 08.06.2010 №465], 79 p. (in Russian)
- [11] Meteorologija i atomnaja ehnergija. Perevod s anglijskogo. Pod redakciejj N.L. Byzovoj i K.P. Makhonko [Meteorology and Nuclear Energy. Trans. from English. Edited by N.L. Byzova and K.P. Mahonko]. Leningrad. Pub. Gidrometeoizdat, 1971. 618 p. (in Russian)
- [12] Metod Monte-Karlo v probleme perenosa izlucheniij. Pod redakciejj G.I. Marchuka [The Monte Carlo Method in the Problem of Radiation Transfer. Edited by G.I. Marchuk]. M. Pub. Atomizdat, 1967. 256 p. (in Russian)
- [13] Leimdorfer M. On the Use of Monte-Carlo Methods for Solving Gamma Radiation Transport Problems [Об использовании методов Монте-Карло для решения задач гамма-излучения]. Nukleonik, 1964, V.6, R.14. (in English)
- [14] Zolotukhin V.G., Kimel L.R., Ksenofontov A.I. etc. Pole izlucheniya tochechnogo mononapravlenno go istochnika gamma-kvantov [The Radiation Field of a Point Monodirectional Source of Gamma Quanta]. M. Pub. Atomizdat, 1974. 160 p. (in Russian)
- [15] Sobolev I.M. Chislennye metody Monte-Karlo. [Numerical Monte Carlo Methods] M. Pub. Nauka, 1973, 311 p. (in Russian)
- [16] Gusev N.G., Beljaev V.A. Radioaktivnye vybrosy v biosfere. Spravochnik [Radioactive Emissions in the Biosphere: a reference book]. M. Pub. Ehnergoatomizdat, 1986, 224 p. (in Russian)
- [17] Elokhin A.P., Starodubcev I.A. K voprosu ob ispol'zovanii avtomatizirovannykh sistem kontrolja ehkologicheskoy obstanovki na territorijakh, prilegajushhikh k predpriyatijam chernoj, cvetnoj metallurgicheskoy i atomnoj promyshlennosti [Use of Automated Systems for Environmental Monitoring in the Area Surrounding Ferrous, Nonferrous Metallurgical Enterprises and Nuclear Industry]. Globalnaja yadernaja bezopasnost [Global nuclear safety], 2015, №4(17), ISSN 2305-414Kh, eISSN 2499-9733, pp. 15–34. (in Russian)
- [18] Alexander P. Elokhin and Ilia A. Starodubtcev. On the Ecological Situation at the Territories Adjacent to Chemical and Metallurgical Facilities. (Subtitle: Using Sensors and an Automated Control System to Monitor Environmental Conditions). Environmental Quality Management. (USA)

2017. Vol. 26, №2, pp. 23–43. (in English)
- [19] Sanitarnye pravila i normativy. SanPiN 2.6.1.2523-09 «Normy radiacionnoj bezopasnosti» [Sanitary Rules and Regulations. SanPiN 2.6.1.2523-09 "Norms of Radiation Safety"] (NRB-99/2009). (in Russian)

Metrological Characteristics for the NPP site in Jordan

E.A. Alalem*¹, A.P. Elokhin*², A.I. Ksenofontov*³, P.I. Fedorov⁴**

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

¹ ORCID: 0000-0002-7207-5939

WoS ResearcherID: G-9489-2017

e-mail: issaalem2@yahoo.com ;

² ORCID: 0000-0002-7682-8504

WoS ResearcherID: G-9573-2017

e-mail: elokhin@yandex.ru ;

³ ORCID: 0000-0002-6864-9805

WoS ResearcherID: H-1833-2017

e-mail: AIKsenofontov@mephi.ru

*** Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (SECNRS),
Malaya Krasnoselskaya st. 2/8, bld. 5. Moscow, Russia, 107140*

⁴ ORCID: 0000-0002-0529-690X

WoS ResearcherID: H-1625-2017

e-mail: fedorov@secnrs.ru

Abstract – This paper presents meteorological characteristics for the site of the NPP in Jordan, which are a measurement of wind speed and temperature at different heights on meteorological tower, for different seasons at different times of the day.

The obtained characteristics allow calculations of meteorological parameters in the atmospheric surface layer - air velocity, temperature, coefficient of turbulent diffusion and energy of turbulent pulsations as functions of height, that allows to formulate and to estimate the atmospheric dispersion of Radioactive Materials in the environment in the framework of atmospheric boundary layer model in case of hypothetical accident at the nuclear power plant in Jordan, also to conduct studies to determine the necessary and sufficient amount of radiation detectors that has to be placed around the NPP.

The presented model can be used in the future to estimate the atmospheric dispersion of Radioactive Materials in the environment.

Keywords: radiation accident, meteorological characteristics, ionizing radiation, dispersion of Radioactive Materials in the environment, ionization detectors.

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

УДК 621

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЙ
МИНОБРНАУКИ РОССИИ ПО ПОДГОТОВКЕ И
ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ДОКУМЕНТОВ НА КОМИССИЮ ПО
ПРИЗНАНИЮ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИГОДНОЙ
ЭКСПЛУАТИРОВАТЬ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННООПАСНЫЕ
ОБЪЕКТЫ И УСТАНОВКИ¹**

**© 2017 А.А. Серебряков, В.Н. Федосеев, Л.И. Яковлев, А.А. Портнов,
Е.М. Тюрин, М.И. Писаревский**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В статье обобщается опыт работы специалистов МИФИ в рабочей группе Комиссии Минобрнауки РФ по признанию организации пригодной эксплуатировать ядерную установку, радиационный источник или пункт хранения, а также осуществлять деятельность по обращению с ядерными материалами и радиоактивными веществами. Рассматриваются проблемы, возникающие у организаций на стадиях подготовки и подачи заявления и сопутствующего пакета документов. Анализируются характерные замечания к рассматриваемым документам. Даются рекомендации по перечню подаваемых документов и их оформлению.

Ключевые слова: атомная энергия, ядерная установка, радиационный источник, пункт хранения, обращение с ядерными материалами и радиоактивными веществами, ядерная и радиационная безопасность, потенциальная радиационная опасность, ядерно и радиационно опасный объект, объект использования атомной энергии.

Поступила в редакцию: 15.09.2017

Введение. Для управления ядерной и радиационной безопасностью атомного технологического комплекса России в настоящее время созданы 31 организационно-технические системы ЯРБ, среди которых система признания организации пригодной эксплуатировать ядерно и радиационно опасные объекты (ЯРОО) и установки стоит на первом месте [1]. В соответствии со статьей № 34 Федерального закона от 21.11.1995 N 170-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «Об использовании атомной энергии» порядок признания организации пригодной эксплуатировать ядерную установку, радиационный источник или пункт хранения, а также деятельность по обращению с ядерными материалами и радиоактивными веществами устанавливается Правительством РФ [2]. В настоящее время действующим документом в данной области является Постановление Правительства РФ от 17 февраля 2011 г. №88 «Об утверждении Положения о признании организации пригодной эксплуатировать ядерную установку, радиационный источник или пункт хранения и осуществлять собственными силами или с привлечением других организаций деятельность по размещению, проектированию, сооружению, эксплуатации и выводу из эксплуатации ядерной установки, радиационного источника или пункта хранения, а также деятельность по обращению с

¹ Статья подготовлена в рамках выполнения работ по Государственному заданию №13.4275.2017/НМ от 28.02.2017 г.

ядерными материалами и радиоактивными веществами» [3] (далее Положение). Согласно этому документу признание организации пригодной осуществлять эксплуатацию и обращение проводят органы управления в отношении подведомственных им организаций, а также в отношении организаций, осуществляющих (планирующих осуществлять) деятельность в сфере, государственное регулирование в которой осуществляют данные органы управления. Признание эксплуатирующими организациями, подведомственность которых не определена, осуществляется Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом». Органы управления заключают с организациями соглашения о взаимодействии по вопросам признания организаций пригодными осуществлять эксплуатацию и обращение. Государственная Корпорация «Росатом» вправе заключать соглашения с иными органами управления в отношении подведомственных им организаций. Признание организации эксплуатирующей происходит на основе поданного организацией заявления в орган управления и выражается в выдаче этим органом свидетельства о признании. Выдача свидетельства является государственной услугой и регулируется административным регламентом органа управления. В Минобрнауки России такой административный регламент утвержден Приказом Минобрнауки России от 20.12.2012 №1071 (далее Регламент) [4]. По Регламенту предоставление государственной услуги включает в себя следующие административные процедуры: 1) прием, проверка и регистрация заявления и документов; 2) рассмотрение заявления и прилагаемых к нему документов по существу; 3) принятие решения по результатам рассмотрения заявления и прилагаемых к нему документов; 4) оформление и выдача свидетельства о признании организации пригодной эксплуатировать объекты использования атомной энергии и осуществлять деятельность в области использования атомной энергии или выдача письма об отказе в признании заявителя организацией, пригодной эксплуатировать объекты использования атомной энергии и осуществлять деятельность в области использования атомной энергии.

Проверка полноты и достоверности изложенной в заявлении и в приложенных документах информации путем рассмотрения Комиссией по признанию организации пригодной эксплуатировать ядерную установку, радиационный источник или пункт хранения и осуществлять собственными силами или с привлечением других организаций деятельность по размещению, проектированию, сооружению, эксплуатации и выводу из эксплуатации ядерной установки, радиационного источника или пункта хранения, а также деятельность по обращению с ядерными материалами и радиоактивными веществами (далее – Комиссия), созданной Минобрнауки России в установленном порядке. Комиссия принимает решение о рекомендации в признании заявителя эксплуатирующей организацией, или отказе в подобном признании. Решение о признании заявителя эксплуатирующей организацией на основании рекомендации Комиссии принимает Министр образования и науки Российской Федерации (в случае его отсутствия – лицо, его замещающее), он же и подписывает свидетельство о признании.

В целях обеспечения работы Комиссии создана рабочая группа, которая осуществляет предварительное рассмотрение представленных на Комиссию заявлений, делает замечания и готовит предложения Комиссии по принятию решений. В рабочую группу входят специалисты подведомственных Минобрнауки России организаций. Авторы статьи, принимающие активное участие в деятельности рабочей группы, описывают проблемы, возникшие у ряда организаций при оформлении и подаче заявлений на признание, выделяют пункты, чаще всего вызывавшие вопросы и замечания при рассмотрении заявлений на Комиссии, и предлагают рекомендации по оформлению заявлений и перечню прилагаемых документов.

Проблемы, возникающие при подготовке заявления и пакета документов. Можно выделить два пункта Положения (6,б и 6,з), выполнение которых связано с определенными трудностями. В соответствии с пунктом 6,б Положения заявитель должен представить вместе с заявлением сведения о готовности выполнения организацией требований по обеспечению безопасности при эксплуатации объекта и обращении с материалами и веществами, которые перечислены в пункте 11 Положения (далее - требования по обеспечению безопасности). При этом названия и формы самих документов, в которых должны содержаться эти сведения, не установлены. Поэтому заявители нуждаются в дополнительных разъяснениях по данному вопросу. Очевидно, что решение проблемы относится к компетенции органов управления. Так Минздрав России разработал соответствующие официальные рекомендации для своих подведомственных организаций [5]. Минобрнауки России официальных рекомендаций не издал, а поручил их разработку и доведение до заявителей членам рабочей группы при Комиссии. Предложенные авторами статьи рекомендации обсуждались и получили одобрение на семинаре, проведенном по поручению Минобрнауки России (письмо Министерства образования и науки Российской Федерации от 05.09.2016 №10-3360 «О проведении Семинара») 21.09.2016 в НИЯУ МИФИ. В семинаре принимали участие представители Минобрнауки России, ФАНО и подведомственных ФАНО организаций, НИЯУ МИФИ. Рекомендации представлены в таблицах 1 и 2.

Согласно пункта 6,з Положения заявитель должен представить расчет финансовых средств, необходимых для вывода из эксплуатации каждого из объектов. Этот расчет оформляется в виде бухгалтерской справки, подписываемый главным бухгалтером организации. Руководящих документов по проведению и оформлению таких расчетов нет. Поэтому, с одной стороны, это вызывает проблемы у заявителя, а с другой стороны, если при рассмотрении бухгалтерских справок у членов рабочей группы и Комиссии и возникали вопросы к приведенным в них цифрам, дать оценку верности составленных документов не представлялось возможным. Очевидна необходимость разработки отраслевых нормативных документов.

Надо также отметить следующее. В соответствии со статьей 36 Федерального закона от 21.11.1995 №170-ФЗ организации, использующие радиационные источники, содержащие в своем составе только радионуклидные источники четвертой и пятой категорий радиационной опасности, не обязаны получать признания эксплуатирующими. Здесь необходимо пояснение. Если организация использует только закрытые радиационные источники, содержащие в своем составе только радионуклидные источники четвертой и пятой категорий радиационной опасности, то получение признания необязательно, если же среди этих источников есть открытые, то получение признания обязательно.

Характерные замечания. В поданных на рассмотрение документах встречались следующие недочеты:

1) Заявление не оформлено строго по приведенной в Регламенте форме, не указан исполнитель с контактными телефонами и адресом электронной почты. Это служило основанием для отказа в приеме документов в соответствии с пунктом 20, а Регламента.

2) В уставе организации в разделе «Цели, предмет и виды деятельности» отсутствовали виды деятельности, связанные с эксплуатацией ИЯУ, ЯМ, РВ как объекта использования атомной энергии, либо формулировки этих видов деятельности не соответствовали формулировкам статьи 4 Федерального закона от 21.11.1995 N 170-ФЗ. Виды деятельности в области использования атомной энергии обязательно должны быть прописаны в уставе эксплуатирующей организации, так как согласно статьи 34 этого Федерального закона эксплуатирующая организация должна обладать

полномочиями, финансовыми, материальными и иными ресурсами, достаточными для осуществления своих функций.

3) Отсутствуют согласованные с органами санитарного надзора документы, определяющие категорию потенциальной радиационной опасности (ПРО) объектов использования атомной энергии (устройства, лаборатории, хранилища и т.д.).

4) Отсутствует заключение органов санитарного надзора на установленную санитарно-защитную зону для объектов с третьей категорией ПРО и выше.

5) Представлены незаверенные копии документов: приказы на назначение ответственных лиц, титульные листы инструкций.

Заявителям при подготовке пакета документов следует обратить внимание на эти пункты, так как они чаще всего были причинами отказа в признании организации эксплуатирующей и возвращения документов на доработку.

Таблица 1. – Рекомендации по оформлению заявления и прилагаемых документов.
Общие требования

<i>№№ п.п.</i>	<i>№ пункта поста- новления</i>	<i>Требования Постановления Правительства РФ № 88 от 17 февраля 2011г.</i>	<i>Пояснения и рекомендации</i>
1	2	3	4
1	6, а	Заявление о признании организации пригодной осуществлять эксплуатацию и обращение (далее – заявление), подписанное руководителем организации или лицом, его замещающим, и заверенное печатью организации, с указанием:	Форма заявления приведена в Приложении №2 к Регламенту
		полного наименования и организационно-правовой формы организации, ее местонахождения;	
		перечня объектов, материалов и веществ (в том числе планируемых к эксплуатации или обращению);	
		перечня видов деятельности в области использования атомной энергии, осуществляемых организацией;	1. Сроки эксплуатации и сроки вывода из эксплуатации. 2. Сроки обращения с РВ.
		планируемого срока эксплуатации и срока вывода из эксплуатации объекта, срока обращения материала и вещества, установленных проектной или технической документацией;	
		сведений о наличии ранее заключенных соглашений или принятого ранее решения о признании организации пригодной осуществлять эксплуатацию и обращение	1. Копии ранее заключенных соглашений. 2. Копии ранее принятых решений о признании организации пригодной осуществлять эксплуатацию.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
2	6, б	Сведения о готовности выполнения организацией требований по обеспечению безопасности при эксплуатации объекта и обращении с материалами и веществами в соответствии с пунктом 11 настоящего Положения (далее – требования по обеспечению безопасности);	Сводный отчет о готовности выполнения требований по обеспечению безопасности при эксплуатации объекта использования атомной энергии и обращении с ядерными материалами и радиоактивными веществами. (В отчете необходимо указать все требования по обеспечению безопасности в соответствии с пунктами таблицы 2)
3	6, в	Заверенные в установленном порядке копии учредительных документов организации со всеми изменениями к ним;	Копия устава организации и изменения к нему. (В разделе «Цели, предмет и виды деятельности» обязательное указание об эксплуатации ИЯУ, ЯМ, РВ как объекта использования атомной энергии)
4	6, г	Копия документа, подтверждающего факт внесения записи о юридическом лице в Единый государственный реестр юридических лиц;	Копия свидетельства о внесении записи в ЕГРЮЛ.
5	6, д	Копия свидетельства о государственной регистрации организации;	Копия свидетельства о государственной регистрации.
6	6, е	Копия документа, подтверждающего наличие у организации на праве собственности или ином законном основании объектов, материалов и веществ;	Копии документов, подтверждающих наличие у организации на праве собственности или ином законном основании объектов, материалов и веществ, как объекта использования атомной энергии.
7	6, ж	Проектная или техническая документация с указанием сроков эксплуатации и вывода из эксплуатации каждого объекта, документация о сроках обращения с материалами или веществами;	Копии технической или проектной документации с указанием сроков эксплуатации и вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии.
8	6, з	Расчет финансовых средств, необходимых для вывода из эксплуатации каждого из объектов;	Справка о расчете финансовых средств, необходимых для вывода из эксплуатации каждого из объектов.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
9	6, и	Копии документов, подтверждающих наличие у организации источников финансирования работ по выводу из эксплуатации объектов;	Справка о наличии средств необходимых для вывода из эксплуатации.
10	6, к	Копия свидетельства о постановке организации на учет в налоговом органе по месту ее нахождения на территории Российской Федерации;	Копия свидетельства о постановке на учёт в налоговом органе.
11	6, л	Сведения о выполнении организацией обязательств в области государственного учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов;	1. Копия приказа о назначении лица, ответственного за учёт и контроль РВ и РАО. 2. Перечень учётных и отчётных документов по контролю РВ и РАО в организации. 3. Справка о ведении учета и контроля радионуклидных источников по формам государственного учета и контроля.
12	6, м	Копии документов, подтверждающих наличие у организации предусмотренного законодательством Российской Федерации финансового обеспечения гражданской ответственности за убытки и вред, причиненные радиационным воздействием (для организаций, эксплуатирующих объекты).	Полис страхования гражданской ответственности, как объекта использования атомной энергии.
13	6, н	Копии утвержденных в установленном порядке планов (целевых показателей) организаций, планирующих осуществлять деятельность в области использования атомной энергии.	Выписка из планов научно-исследовательских работ в области использования атомной энергии (не менее чем на год вперед).
14	6, о	Сведения о категориях радиационной опасности радионуклидных источников (для организаций, эксплуатирующих радиационные источники, содержащие в своем составе радионуклидные источники). (пп. о введен Постановлением Правительства РФ от 22.10.2012 № 1079)	1. Копии документов, определяющих категорию радиационной опасности радионуклидных источников используемых в организации. 2. Копии согласованных с органами санитарного надзора документов, определяющих категорию потенциальной радиационной опасности (ПРО) объектов использования атомной энергии (устройства, лаборатории, хранилища и т.д.). (Данная информация необходима при рассмотрении требований по обеспечению безопасности табл. 2)

Таблица 2. – Рекомендации по оформлению прилагаемых документов. Требования по обеспечению безопасности

№№ п.п.	№ пункта постановления	Требования Постановления Правительства РФ №88 от 17 февраля 2011г.	Пояснения и рекомендации
1	2	3	4
1	11, а	Ведение учета индивидуальных доз облучения работников при эксплуатации объектов, обращении с материалами и веществами;	1. Приказ о назначении ответственного за радиационную безопасность [6]. 2. Приказ о допуске сотрудников к работам с РВ, ИИИ и РАО (по соответствующему классу работ). 3. Справка об организации работ по контролю за радиационной безопасностью в организации [7]. 4. Справка о прохождении персоналом медицинского освидетельствования и допуске к работам с РВ [2,8].
3	11, б	Ведение учета и контроля материалов и веществ, радиоактивных отходов;	Справка об организации и технических мероприятиях по ведению учета и контроля материалов и веществ, радиоактивных отходов (все приказы, перечень инструкций, положений, программ и методик по учету и контролю [9,10]). Приказ о назначении ответственного за учет и контроль РВ.
4	11, в	Ведение радиационного контроля в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения (в случае наличия таких зон);	Справка о ведении радиационного контроля в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения (в случае наличия таких зон) [7].
5	11, г	Обеспечение физической защиты объектов, материалов и веществ;	1. Приказ о назначении ответственного за систему физической защиты [11,12]. 2. Справка о системе обеспечения физической защиты: – наличие необходимых инструкций; – разрешение Ростехнадзора на право ведения работ по физической защите РВ [13]; – перечень угроз в отношении РВ; – положение о самообороне (при необходимости).
6	11, д	Своевременное информирование населения о радиационной обстановке в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения (в случае наличия таких зон);	Справка об организации информирования населения о радиационной обстановке в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения (в случае наличия таких зон) [7].

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
7	11, е	Организация и координация разработки и выполнения программ обеспечения качества на всех этапах создания, эксплуатации и вывода из эксплуатации объекта, контроль за выполнением этих программ; (пп. «е» в ред. Постановления Правительства РФ от 22.10.2012 № 1079)	Перечень действующих документов по разработке и выполнению программ обеспечения качества на этапах создания, эксплуатации и вывода из эксплуатации объектов атомной энергии.
8	11, ж	Обеспечение готовности к предотвращению аварий на объекте и снижение их негативных последствий для работников объекта, населения и окружающей среды;	План мероприятий, обеспечивающих готовность предотвращения аварий на объекте: – наличие инструкций по действиям персонала в аварийных ситуациях; – планы, графики проведения противоаварийных мероприятий по защите персонала; – сведения о наличии материально-технических средств для обеспечения ликвидации аварий.
9	11, з	Выполнение требований федеральных норм и правил, регламентов, стандартов, правил метрологии и сертификации в области использования атомной энергии;	Справка о выполнении требований федеральных норм и правил, регламентов, стандартов, правил метрологии и сертификации в области использования атомной энергии.
10	11, и	Соблюдение мер пожарной безопасности;	Справка о соблюдении мер пожарной безопасности. Копия приказа о назначении ответственного за пожарную безопасность [14].
11	11, к	Соблюдение правил эксплуатации объекта, а также при обращении с материалами и веществами;	Справка о выполнении требований федеральных норм и правил (наличие необходимого комплекта производственной документации, наличие аттестованного персонала, наличие разрешений на работу с РВ).
12	11, л	Справка об обеспечении готовности принять необходимые меры по защите работников и населения в случае аварии на объекте.	Справка об обеспечении готовности принять необходимые меры по защите работников и населения в случае аварии на объекте.

Заключение. На основании опыта и результатов работы в рабочей группе Комиссии Минобрнауки России по признанию организации пригодной

эксплуатировать ядерную установку, радиационный источник или пункт хранения, а также осуществлять деятельность по обращению с ядерными материалами и радиоактивными веществами авторы статьи разработали рекомендации по оформлению заявления на признание и пакета документов для подведомственных Минобрнауки России. Данные рекомендации могут полезными быть и для организаций другой ведомственной принадлежности при оформлении документов в свои органы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ядерная энергетика. Проблемы. Решения [Текст] / Под ред. М.Н. Стриханова. – В 2-х частях. – Часть 1. – М.: ЦСПиМ, 2011. – 424 с.
2. Федеральный закон от 21.11.1995. №170-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «Об использовании атомной энергии» [Текст].
3. Постановление Правительства РФ от 17 февраля 2011 г. №88 «Об утверждении Положения о признании организации пригодной эксплуатировать ядерную установку, радиационный источник или пункт хранения и осуществлять собственными силами или с привлечением других организаций деятельность по размещению, проектированию, сооружению, эксплуатации и выводу из эксплуатации ядерной установки, радиационного источника или пункта хранения, а также деятельность по обращению с ядерными материалами и радиоактивными веществами». С изменениями и дополнениями от 22 октября 2012 г., 29 марта 2013 г. [Текст].
4. Приказ Минобрнауки России от 20.12.2012 г. №1071 «Об утверждении Административного регламента предоставления Министерством образования и науки Российской Федерации государственной услуги по выдаче документа о признании организации пригодной эксплуатировать ядерную установку, радиационный источник или пункт хранения и осуществлять собственными силами или с привлечением других организаций деятельность по размещению, проектированию, сооружению, эксплуатации и выводу из эксплуатации ядерной установки, радиационного источника или пункта хранения, а также деятельность по обращению с ядерными материалами и радиоактивными веществами» [Текст].
5. Письмо Министерства здравоохранения РФ от 27 января 2014 г. №24-3/10/2-494 [Текст].
6. СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)» [Текст].
7. Федеральный закон от 09.01.1996 №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» [Текст].
8. См. Трудовой кодекс Российской Федерации.
9. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные правила учета и контроля ядерных материалов» НП-030-12 [Текст].
10. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации» НП-067-16 [Текст].
11. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» НП-083-15 [Текст].
12. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила физической защиты радиоактивных веществ, радиационных источников и пунктов хранения» НП-34-15 [Текст].
13. Административный регламент по предоставлению Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной услуги по выдаче разрешений на право ведения работ в области атомной энергии». Утвержден приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 21.12.2011 №721 [Текст].
14. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [Текст].

REFERENCES

- [1] Jadernaja ehnergetika. Problemy. Reshenija. Pod redakciej M.N. Strikhanova [Nuclear Energy. Problems. Solutions. Edited by M.N. Strikhanov]. Part 1. M. Pub. CSPiM [Center for Social Forecast and Marketing], 2011, 424 p. (in Russian)
- [2] Federal'nyjj zakon ot 21.11.1995 goda №170-FZ (redakcija ot 03.07.2016) «Ob ispol'zovanii atomnojj ehnergii» [Federal Law 21.11.1995 № 170-FL (July 3, 2016 Edition) "Use of Nuclear

- Energy"]]. (in Russian)
- [3] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 17 fevralja 2011 goda №88 «Ob utverzhdenii Polozhenija o priznanii organizacii prigodnoj ehkspluatirovat' jadernuju ustanovku, radiacionnyj istochnik ili punkt khraneniya i osushhestvlyat' sobstvennymi silami ili s privlecheniem drugih organizacij dejatel'nost' po razmeshheniju, proektirovaniyu, sooruzheniju, ehkspluatacii i vyvodu iz ehkspluatacii jadernoj ustanovki, radiacionnogo istochnika ili punkta khraneniya, a takzhe dejatel'nost' po obrashheniju s jadernymi materialami i radioaktivnymi veshhestvami». S izmenenijami i dopolnenijami ot 22 oktyabrya 2012 g., 29 marta 2013 g. [Decree of the Russian Federation Government of February 17, 2011 No. 88 "Approval of the Regulation of organization recognition suitable for operating a nuclear installation, radiation source or storage facility and carrying out its own activities or with the involvement of other organizations activities for the placement, design, construction, operation and decommissioning of nuclear installation, radiation source or storage facility, as well as activities related to the handling of nuclear materials and radioactive substances. " With amendments and additions dated October 22, 2012, March 29, 2013] (in Russian)
 - [4] Prikaz Minobrnauki Rossii ot 20.12.2012 goda №1071 «Ob utverzhdenii Administrativnogo reglamenta predostavleniya Ministerstvom obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii gosudarstvennoj usluzhi po vydache dokumenta o priznanii organizacii prigodnoj ehkspluatirovat' jadernuju ustanovku, radiacionnyj istochnik ili punkt khraneniya i osushhestvlyat' sobstvennymi silami ili s privlecheniem drugih organizacij dejatel'nost' po razmeshheniju, proektirovaniyu, sooruzheniju, ehkspluatacii i vyvodu iz ehkspluatacii jadernoj ustanovki, radiacionnogo istochnika ili punkta khraneniya, a takzhe dejatel'nost' po obrashheniju s jadernymi materialami i radioaktivnymi veshhestvami» [Order No. 1071 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, December 20, 2012 "Approval of the Administrative Regulations for the provision by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of a state service for issuing a document recognizing the organization suitable to operate a nuclear installation, radiation source or storage facility and carry out its own activities or with the involvement of other organizations on location, design, construction, operation and decommissioning of a nuclear installation, radiation source or item storage, as well as activities for the handling of nuclear materials and radioactive substances "]. (in Russian)
 - [5] Pis'mo Ministerstva zdravookhraneniya RF ot 27 janvarja 2014 goda №24-3/10/2-494 [Letter of the Ministry of Health of the Russian Federation, January 27, 2014 No. 24-3 / 10 / 2-494]. (in Russian)
 - [6] SP 2.6.1.2612-10 «Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiacionnoj bezopasnosti (OSPORB 99/2010)» [SP 2.6.1.2612-10 "Basic Sanitary Rules for Ensuring Radiation Safety (OSPORB 99/2010)"]]. (in Russian)
 - [7] Federal'nyj zakon ot 09.01.1996 goda № 3-FZ «O radiacionnoj bezopasnosti naselenija» [Federal Law, 09.01.1996 No. 3-FL "Population Radiation Safety"]. (in Russian)
 - [8] Smotret': Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii [See: Labor Code of the Russian Federation]. (in Russian)
 - [9] Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii «Osnovnye pravila ucheta i kontrolja jadernykh materialov» NP-030-12 [Federal rules and regulations in the field of nuclear energy use "Basic Rules for Accounting and Control of Nuclear Materials" NP-030-12]. (in Russian)
 - [10] Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii «Osnovnye pravila ucheta i kontrolja radioaktivnykh veshhestv i radioaktivnykh otkhodov v organizacii» NP-067-16 [Federal norms and regulations in the field of nuclear energy use "Basic Rules for Accounting and Control of Radioactive Substances and Radioactive Waste in the Organization" NP-067-16]. (in Russian)
 - [11] Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii «Trebovaniya k sistemam fizicheskij zashhity jadernykh materialov, jadernykh ustanovok i punktov khraneniya jadernykh materialov» NP-083-15 [Federal rules and regulations in the field of nuclear energy use "Requirements for Physical Protection Systems for Nuclear Materials, Nuclear Facilities and Nuclear Material Storage Facilities" NP-083-15]. (in Russian)
 - [12] Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii «Pravila fizicheskij zashhity radioaktivnykh veshhestv, radiacionnykh istochnikov i punktov khraneniya» NP-34-15 [Federal rules and regulations in the field of the use of atomic energy "Rules for the Physical Protection of Radioactive Substances, Radiation Sources and Storage Points" NP-34-15]. (in Russian)
 - [13] «Administrativnyj reglament po predostavleniju Federal'noj sluzhboj po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru gosudarstvennoj usluzhi po vydache razreshenij na pravo vedeniya rabot v oblasti atomnoj ehnergii». Utverzhden prikazom Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 21.12.2011 goda № 721 ["Administrative Regulations for the Provision by the Federal Service for Environmental,

Technological and Nuclear Supervision of the State Service for Issuing Permits for the Right to Work in the Field of Atomic Energy". Approved by the order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, December 21, 2011, No. 721]. (in Russian)
 [14] Federal'nyjj zakon ot 21.12.1994 goda №69-FZ «O pozharnojj bezopasnosti» [Federal Law, December 21, 1994 No. 69-FZ "Fire Safety"]. (in Russian)

Practical Recommendations for the Institutions of Ministry of Education and Science of the Russian Federation on the Preparation and Submission of Documents to the Commission for Recognizing the Organization to Apply Nuclear and Radiationally Dangerous Objects and Installations

**A.A. Serebryakov¹, V.N. Fedoseev², L.I. Yakovlev³, A.A. Portnov⁴,
 Ye.M. Tyurin⁵, M.I. Pisarevskii⁶**

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

¹ ORCID: 0000-0002-4549-7933

WoS ResearcherID: R-4218-2017

e-mail: AASerebryakov@mephi.ru ;

² ORCID: 0000-0002-1612-5161

WoS ResearcherID: R-7626-2017

e-mail: fedvn59@mail.ru ;

³ ORCID: 0000-0001-6981-3585

WoS ResearcherID: R-4259-2017

e-mail: LIYakovlev@mephi.ru ;

⁴ ORCID: 0000-0002-1405-4021

WoS ResearcherID: J-9316-2013

e-mail: AAPORTNOV@mephi.ru ;

⁵ ORCID: 0000-0002-0100-0702

WoS ResearcherID: R-3471-2017

e-mail: tempost@mail.ru ;

⁶ ORCID: 0000-0002-3578-6942

WoS ResearcherID: O-8221-2017

e-mail: MIPisarevskij@mephi.ru ;

Abstract – The article sums up the experience of the MEPhI specialists in the working group of the Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in recognizing the organization suitable to operate a nuclear installation, radiation source or storage facility and to carry out activities to handle nuclear materials and radioactive substances. This paper considers problems encountered by organizations at the stages of preparation and submission of an application and an accompanying package of documents. Characteristic remarks to the documents under consideration are analyzed. Recommendations on the list of submitted documents and their registration are given.

Keywords: nuclear energy, nuclear installation, radiation source, storage facility, handling of nuclear materials and radioactive substances, nuclear and radiation safety, potential radiation hazard, nuclear and radiation hazardous object, object of atomic energy use.

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

УДК 621.91

**ПРИМЕНЕНИЕ D-ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ
НАПЛАВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА**

© 2017 А. Марко^{*}, Б. Граф^{*}, С. Гокк^{*}, М. Ретмайер^{*,**}

^{*} *Общество Фраунгофера, Институт производственных систем и технологий конструирования ИПК,
Берлин, Германия*

^{**} *Федеральное ведомство по исследованию и испытаниям материалов БАМ,
Берлин, Германия*

Процесс лазерной наплавки металлического порошка Laser Metal Deposition (LMD) находит все более широкое применение в энергетическом машиностроении. В качестве наиболее актуальных приложений данной технологии можно выделить нанесение покрытий с заданными свойствами на исходную деталь, а также восстановление изношенной или поврежденной геометрии изделий машиностроительного производства, например лопаток турбин. Для достижения наибольшей эффективности и производительности процесса LMD необходимо привлечение наиболее полной информации о степени влияния основных параметров процесса, таких как мощность лазерного излучения, скорость процесса и расход порошка на конечный результат наплавки, а именно на ширину и высоту валиков наплавки. Подобные задачи оптимизации могут эффективно решаться с использованием методов статистического планирования эксперимента, которые в зависимости от выбранной стратегии оптимизации могут быть довольно трудоемкими. По соображениям экономии времени на проведение исследования актуальным является ограничение числа отдельных точек эксперимента. Введение D-оптимального плана позволяет извлечь максимальное количество информации о зависимой переменной в экспериментальной области, используя меньшее количество точек эксперимента по сравнению с полнофакторным планом. Согласно литературным данным (Subramaniam et al., 1999), эффективность подобных планов эксперимента показана при оптимизации сварочных процессов [8]. Возможность применения D-оптимального плана эксперимента для оптимизации процесса лазерной наплавки не была исследована до настоящего времени.

В настоящей работе исследуется применимость D-оптимального плана эксперимента для процесса LMD.

Титановый сплав Ti6Al4 использован в качестве материала субстрата и порошка для наплавки в ходе проведения экспериментов. Результаты D-оптимального плана сравнены с результатами полнофакторного плана испытаний. Продемонстрировано, что D-оптимальный план и полнофакторный эксперимент обеспечивают сопоставимые результаты. Однако, процедура эксперимента выполненная в соответствии с D-оптимальным планом эксперимента реализуется с экономией времени порядка 80%.

Ключевые слова: аддитивные технологии, планирование эксперимента, лазерная наплавка, параметры наплавки, восстановление поверхностей, ремонтная сварка.

Поступила в редакцию: 11.09.2017

1. Motivation / State of the Art

Primarily developed for coating, laser metal deposition (LMD) is applied for additive manufacturing and repair welding today as well. The possibilities of the process are many-

sided. Nevertheless, the requirement is always a comprehensive process understanding. An opportunity to generate process knowledge offers statistical test planning. A huge number of test plans are available. The D-optimum experimental design is characterized by an extraordinarily high flexibility. In this context, special mention should be made of the manual selection of the test points. Furthermore, according to the literature (Subramaniam et al., 1999) the application of this kind of test plans is recommended for welding processes [8]. The application for laser metal deposition has not been exercised yet. For LMD, central compound test plans or Taguchi plans are often used.

1.1. Laser metal deposition

In the process of deposition welding, an additional material is deposited on a locally restricted surface during the procedure. For laser metal deposit a laser is used as heat source. A focused laser creates a molten pool. At the same time filler material is supplied to the molten pool and is fused. After cooling time, the filler material adheres on the work piece. Inert gases like argon and helium serve as carrier gas and prevent oxidation of the materials. Frequently, an additional shielding gas is implemented to enhance the oxidation-restraining effect. Powder as filler material is supplied to the process through a nozzle. The duct of the nozzle is linear. Welding beads are formed and from these coatings are constructed. Typical dimensions of the welding beads are heights between 0.1 mm and 2 mm and widths from 0.2 mm to 6 mm.

Crucial aspects for track geometry are the factors laser power, welding velocity, powder mass flow and spot diameter (DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., 2011) [3].

NOMENCLATURE

P	laser power	Watt
d	laser spot diameter	mm
v	welding velocity	mm / min
m	powder mass flow	g / min
w	track width	mm
b	track height	mm

An important benefit of the process is the low heat input. For this reason, the materials are subjected to a low thermal and subsequently mechanical stress. Moreover, high precision of the material application as well as a good control and automation are beneficial. A wide application field arises due to these advantages. Therefore, the process is often used for the repair of cost-intensive components like sintered tools (Capello, Colombo, & Previtali, 2005) [2] or vanadium carbide tools (Leunda, Soriano, Sanz, & Navas, 2011) [5]. Increasingly engine and turbine parts are repaired using laser metal deposition.

1.2. Design of experiments

Design of experiments contains a number of different test plans and evaluation methods. The aim is to identify relations between input value and target figure. The choice of the best experimental design is made with regards to the best possible ratio between effort and information yield. That is why full and fractional factorial test plans as well as central compound experiment designs are used in many cases. Table 1 illustrates this fact.

Sun (Sun & Hao, 2012) uses a central composite experimental design in his work to investigate on the influence of laser power, welding velocity and powder mass flow on track

geometry [9]. Furthermore, he considers the degree of mixing. As filler material Ti6Al4V powder and as heat source a Nd:YAG laser is used. The results show that laser power exerts the strongest influence on the track width. Weld velocity and powder mass flow only slightly affect the track width. Significant factors for the track height are weld velocity and powder mass flow.

Graf (Graf et al., 2013) uses a full factorial test plan to consider the relations on the dimensions of the welding bead [4]. Laser power, welding velocity, powder mass flow and spot diameter are varied with two steps. As filler material nickel based super alloy René 80 is used. The results also demonstrated the main influence on the track width by laser power. The track height is significantly shaped by weld velocity and powder mass flow.

Table 1. Examples of design of experiments for LMD

	Author	material	varied process parameters	test plan
(Sun & Hao, 2012) [9]	Y. Sun, M. Hao	Ti6Al4V	P; v; $\dot{m}$	central design compound
(Graf, Ammer, Gumenyuk, & Rethmeier, 2013) [4]	B. Graf, S. Ammer, A. Gumenyuk, M. Rethmeier	nickel alloy	P; d; v; $\dot{m}$	central design compound
(Narva, Marants, & Sentyurina, 2014) [6]	V. K. Narva, A. V. Marants und Z. A. Sentyurina	Ti-carbid-powder	P; v; $\dot{m}$	full factorial test plan
(Paul et al., 2007) [7]	C. P. Paul, P. Ganesh, S. K. Mishra, P. Bhargava, J. Negi und A. K. Nath	Inconel 625	P; v; $\dot{m}$	Taguchi design

As shown by the listing in table 1, up to now there are no investigations on the application of D-optimum test plans for laser metal deposition. This is presumably due to the fact that such test plans include comparably complex experimental designs. The creation of these plans is only possible with suitable arithmetic algorithms. Nowadays, a huge number of different statistics software systems are available. The advantages of these kind of test plans lie within their flexibility. Thus, the number of steps from each investigated factor can be freely chosen. Additionally, the step distances must not be kept equidistant. The distribution of the test points can occur arbitrarily in the test space. However, the essential advantage lies in the fact that certain factor combinations can be excluded. This is especially helpful in cases where some settings are practically impossible, for example, if the factor combination guarantees no regular coating. The unessential points can be excluded manually or on the basis of restrictions.

D-optimum test plans are iterative generated test plans. Often the D-criterion is used. In this manner a global minimization of the scattering behavior of the random sample regression coefficients is reached. The D-criterion is defined as follows (Arellano-Garcia, Schöneberger, & Körkel, 2007) [1]:

$$\Phi(C) = \frac{1}{n} \det(C)^{\frac{1}{n}} \quad (1-1)$$

Φ : Determinant

C : covariance matrix

n: dimension

Nevertheless, this equation is exclusively valid with a regular covariance matrix. In case of a non-regular matrix, a projection matrix can be utilized:

$$\Phi(C) = \frac{1}{n} \det(K^T C K)^{\frac{1}{n}} \quad (1-2)$$

K: projection matrix

K^T : transpose projection matrix

With D-optimum test plans the quantity of the test points is variable. Nevertheless, it is depending on the amount of the coefficients in the expected mathematical model of the effect function (K_p). Thus it applies:

$$\text{Test points} > 1.5 \times (\text{Number of coefficients } K_p \text{ in the mathematical model}) \quad (1-3)$$

The quantity of the coefficients K_p can also be determined mathematically. So it is relevant whether a linear or a square approach is the basis of the experiments. In this work, a square approach is assumed:

$$K_p = \frac{(n+1) \cdot (n+2)}{2} \quad (1-4)$$

2. Experimental

2.1. Laser metal deposition and materials

A TRUMPF TruDisk 2.0 kW Nb:Yag laser is utilized for the experiments of this work. A 5-axis arrangement is used for movement of the powder nozzle. A 3-ray nozzle introduces the filler material in the melt pool. As a carrier gas helium is used. In addition, helium and argon are applied as protective gases.

The substrates as well as the powder are titanium alloy Ti-6Al-4V. The chemical composition is referred in Table 2. The powder particle size amounts $45\mu\text{m} - 100\mu\text{m}$.

Table 2. Chemical composition Ti-6Al-4V, manufacturer specification in wt.-%

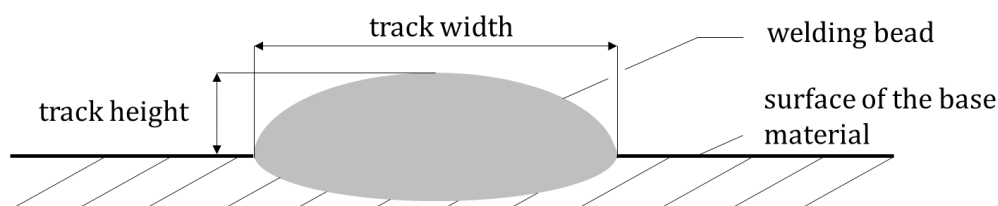
Al	V	O	N	C	H	Fe	Ti
6.28	3.89	0.11	0.004	0.005	0.002	0.18	rest

2.2. Design of experiments, welding parameters and responses

As input variables, the parameters laser power, spot diameters, weld velocity and powder mass flow are selected. The choice occurred on basis of past experience. The factor variation is shown in Table 3.

Table 3. Factor variation

Factor steps	P in W	d in mm	v in mm/min	$\dot{m}$ in g/min
1	100	0.6	200	0.35
2	500	1	700	1.4
3	1000	1.4	1200	2.1
4	1500	1.8	1600	2.8
5	2000	2.2	2000	3.5

**Figure 1.** Target sizes

As target sizes track geometry of a welding bead was determined. Therefore, track width and track height are measured. Figure 1 shows these measured values.

According to formula 1-3, the D-optimum test plan must contain at least 21 test points. To be able to value the informative capability, in this work D-optimal test plans with 25, 50 and 100 test points are set up and evaluated. The choice of the test points occurred under the application of a statistics software. The considered D-optimum test plans are a subset of a full factorial test plan under application of restrictions. Thus, it can be made sure that only test points are included which are technically feasible. As example, with too low energy per unit length a deposit is not possible. Combinations of factor settings are used for restrictions. These can be attributed to physical dimensions: energy per unit length, surface energy and mass being melted. Limit values were defined with help of previous experiences.

Consequently, the following three restrictions arise.

$$\text{Energy input per unit length} \quad \frac{\text{laser power } P}{\text{weld velocity}} > 18 \frac{\text{W}}{\text{mm}}$$

$$\text{Surface Energy} \quad \frac{\text{laser power } P}{\text{spot diameter } d} > 500 \frac{\text{W}}{\text{mm}}$$

$$\text{Mass is being melted} \quad \frac{\text{laser power } P}{\text{powder mass flow } \dot{m}} > 418.4 \frac{\text{J}}{\text{g}}$$

The results of the particular D-optimum test plans are compared to a 5^4 full factorial test plan. For evaluation, restrictions were also applied. In this way, the amount of test points could be reduced from 625 to 310.

3. Results

In this section, the results of the respective test plans are described. First the full factorial test plan is discussed in detail. It is used as a basis for evaluation of the D-optimum plan in order to check uncovered effects due to regression function and analysis of variance (ANOVA) and check plausibility.

3.1. Full factorial test plan

3.1.1. Track width

Graphic representation of the regression function is shown in figure 2. Matching results of the ANOVA can be taken from table 4.

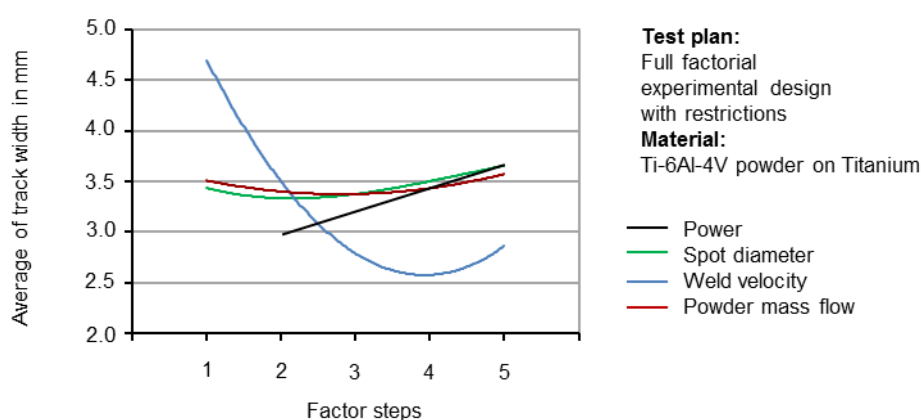


Figure 2. Full factorial test plan: main effects on track width

Table 4. Full factorial test plan: ANOVA for track width

Effect	p-value	Effect	p-value	Effect	p-value
P	0.004	P ²	0.131	P·d	0.010
d	0.969	d ²	0.656	P·v	0.127
v	0	v ²	0	P·m	0.961
m	0.003	m ²	0.08	d·v	0.150
				d·m	0.127
				v·m	0

Laser power and weld velocity have significant effect on the track width. Spot diameter and powder mass flow influence the track width substantially less.

The influence of laser power and travel feed can be explained physically. A higher heat is supplied with a higher laser power to the basic material. Therefore, a bigger and accordingly broader melting pool is formed. Welding beads with a larger width result. With the slightest (evaluable) factor step of 500 W an average width of 3 mm is produced while an average track width of 3.3 mm is applied with 2000 W. Under acceptance of a confidence interval of 95%, the effect strength account between 0.17 mm and 0.37 mm. Therefore, the effect is relatively small.

The track width decreases with increasing weld velocity. Therefore, the effect of the weld velocity is negative. This can be explained by longer retention time, caused by lower speed. Thus, the melt pool geometry is decisively influenced.

Based on the regression function, there is a small influence on the track width, caused by the spot diameter. However, the ANOVA indicates a significant effect. The factor is varied between 0.6 mm and 2.2 mm. Altogether, an effect strength of 0.22 mm can be ascertained. The slight effect can be mostly explained by the introduced power density. A small spot diameter generates high power densities. The heat input is made intently on a small surface. By heat conduction the adjoining area fuses secondarily whereby the width is influenced. With bigger spot diameter the directly molten surface increases accordingly. The previous secondarily heated area is fused directly. This leads to nearly constant track widths despite an enlargement of the spot diameter. The effect is supported by the Gaussian-power distribution of the used laser. A similar result is shown in (Graf et al., 2013) [4].

The ANOVA indicates the power mass flow to be a significant factor, which could not be confirmed by regression. In the process laser metal deposition, powder is supplied to the laser beam shortly before striking on the substrate. The powder is heated up and fuses in the melt pool. Hence, no effect on the melt pool geometry consists. Therefore, the powder mass flow is considered a non-significant factor.

For evaluation of the results model accuracy parameters, standard distance and coefficient of determination are considered. The standard distance S describes data values with regard to the regression function. For the track width, a standard distance of 0.33 mm is determined by the variance analysis. Thus, the medium width scatters 0.33 mm around the average value. For evaluation, it is valid: The better the equation forecasts the values of the answer variable, the lower the standard distance S . Therefore, the value 0 is aimed at. With an amount of 0.33 mm the calculated standard distance is to be assessed sufficiently small. The coefficient of determination R^2 amounts 91.4%. It provides information about the degree of dispersion in observed values of the aim size. As limit a value of 90% is given in literature. Therefore, the coefficient of determination of the track width is above the level. Consequently, the statements about the effects on track width are confident.

3.1.2. Track height

The evaluation of the track height is also based on regression functions and the ANOVA.

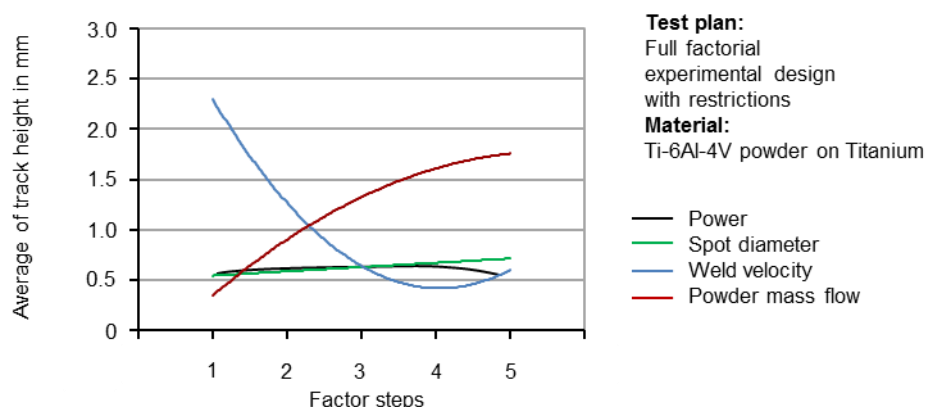


Figure 3. Full factorial test plan: main effects on track height

Table 5. Full factorial test plan: ANOVA for track height

Effect	p-value	Effect	p-value	Effect	p-value
P	0.531	P ²	0.014	P·d	0.008
d	0.762	d ²	0.059	P·v	0.775
v	0	v ²	0	P·m	0.069
m	0	m ²	0.008	d·v	0.002
				d·m	0.221
				v·m	0

Powder mass and weld velocity have a significant effect on the track height, as concluded from the effect diagrams. Laser power and spot diameter seem to have no influence on the track height. The results of the ANOVA lead to the same conclusion.

For construction of high welding beads the quantity of the powder is important. This is regulated by the powder mass flow. During the coating process, powder is piled up on the resulted melted pool. With higher powder mass flow, repeated applying on already available powder particle occurs. Thus, the height increases. Besides, higher layers melt by heat transfer of particles. Regression as well as the ANOVA indicate the effect to be square. The square course can be explained physically. Even if more powder is supplied to the process, it cannot stick to the substrate by the heat input of heat transfer only. Once a certain amount is reached the powder cannot be melted completely. Accordingly, there is an optimum.

In addition, the significant (negative) effect of the weld velocity is understandable. With lower speeds and a constant powder mass flow a higher quantity of powder particles is applied on a surface element. Thus, more powder is made available for layering. Out of this, a higher track height results. Accordingly, the track height decreases with increasing speeds. This effect is favored by the energy per unit length. Thus, a comparatively higher energy per unit length has positive effects with slower feed.

The standard distance S amounts to 0.33. Therefore, it is equivalent to the standard distance of the track width and estimated as small enough. The coefficient of determination R^2 amounts to 90.25%, which is higher than the limit of 90%. That is why the given statements about the effects are assumed as reliable.

3.2. *D-optimum experimental designs*

In the analysis of the D-optimum test plans, focus lies on recognized effects. The meanings of the effects are not repeated. Rather the detected effects are compared to those of the full factorial test plan. Besides model accuracy parameters, standard distance S and coefficient of determination R^2 , conditions for the evaluation of design of experiments, normal distribution, homoscedasticity and autocorrelation, are considered.

3.2.1. *Track width*

In the following regression functions of respective factors are illustrated for carried out test plans. Figure 4 represents the regressions functions. Table 6 shows the results of the ANOVA. Furthermore, conditions for evaluation of design of experiments were examined: normal distribution, homoscedasticity and autocorrelation (see Table 7). The results of the full factorial test plan are given as reference values.

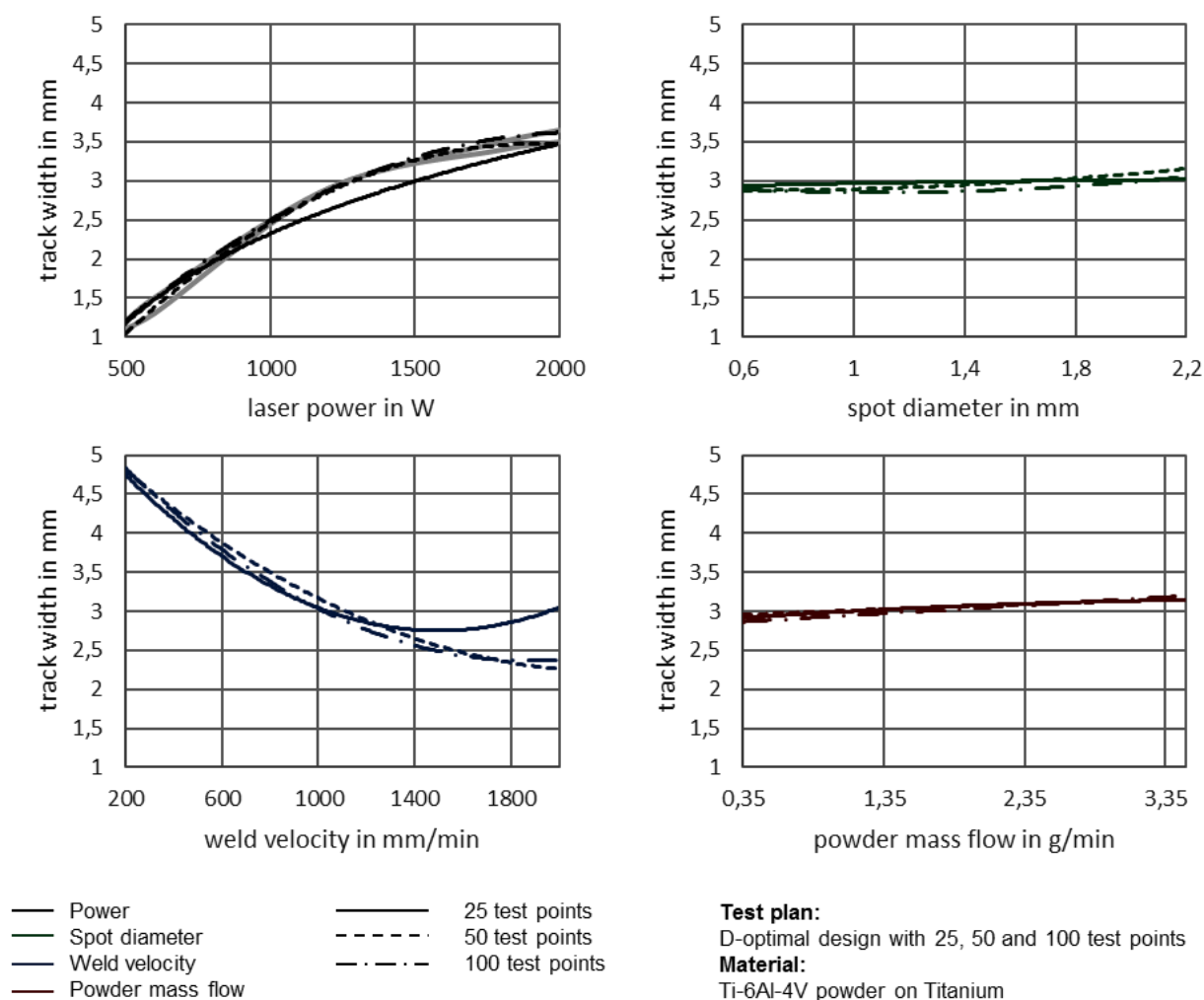


Figure 4. D-optimal experimental designs: main effects on track width

The D-optimum experimental design with 25 test points does not fulfill the criteria for normal distribution, homoscedasticity and autocorrelation. Therefore, the results of the D-Optimum test plan must be assumed non-valid. The D-optimum test plans with 50 and 100 test points fulfill all criteria.

Looking at model accuracy parameters the D-optimum test plan with 25 test points appears to have higher standard distance S . The coefficient of determination R^2 shows no conspicuities. Since the applicability of the D-optimum test plans is investigated, the corrected degree of certainty and the forecasted degree of certainty are considered, too. The value of the forecasted degree of certainty amounts less at 90%. Hence, it can be concluded that an over fit of the model is given. The stability of the model must be questioned. The D-optimum experimental designs with 50 and 100 test points show no strong divergence. To sum up, the D-optimum test plan with 25 test points is classified as not confidential. The D-optimum test plans with 50 and 100 test points fulfill the criteria and are evaluable.

Table 6. D-optimal experimental designs: ANOVA for track width

Effect	p-value			Effect	p-value		
	25 test points	50 test points	100 test points		25 test points	50 test points	100 test points
P	0.18	0	0	P·d	0.508	0.505	0.300
d	0.535	0.150	0.008	P·v	0.084	0.021	0
v	0.026	0	0	P·m	0.121	0.002	0
m	0.457	0.067	0.003	d·v	0.068	0	0
P ²	0.273	0.014	0.001	d·m	0.163	0.084	0.014
d ²	0.659	0.445	0.066	v·m	0.265	0.149	0.002
v ²	0.03	0.001	0				
m ²	0.973	0.701	0.937				

Table 7. D-optimal experimental designs: Criteria for the evaluation for track height

	25 test points	50 test points	100 test points
normal distribution		✓	✓
homoscedasticity		✓	✓
autocorrelation		✓	✓

Table 8 gives an overview of the significant main effects of the different D-optimum test plans in the direct comparison to the full factorial test plan with regard to the target sizes.

Table 8. Comparison of the test plans according to the recognized effects for track width

			P		d		v		m	
			linear	square	linear	square	linear	square	linear	square
D-optimal experimental designs	25 test points	regression	✓	✓			✓	✓		
		ANOVA					✓	✓		
	50 test points	regression	✓	✓			✓	✓		
		ANOVA	✓				✓	✓		
	100 test points	regression	✓				✓	✓		
		ANOVA	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
full factorial test plan		regression	✓				✓	✓		
		ANOVA	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓

It could be shown that all carried out D-optimum test plans identify the essential main effects, laser power and weld velocity. The figures indicate the factor laser power to be very squared in contrast to all D-optimum test plans with fewer test points. An optimum of this factor cannot be physically explained. The interpolation is estimated as too strong. The D-optimum test plan with 50 and 100 test points shows a linear influence and is comparable with the reference value. The factors spot diameter and powder mass flow only slightly affect the track width. Thus, it is understandable that these effects cannot be clearly identified with

lower quantities of test points. Therefore, the choice of the test points is of vital importance.

3.2.2. Track height

The regression functions of the carried-out test plan are subdivided in the investigated factor and are shown in the following. The results of the ANOVA are shown in Table 9. The criteria for evaluation – normal distribution, homoscedasticity and autocorrelation – were also checked. The full factorial test plan serves as reference value.

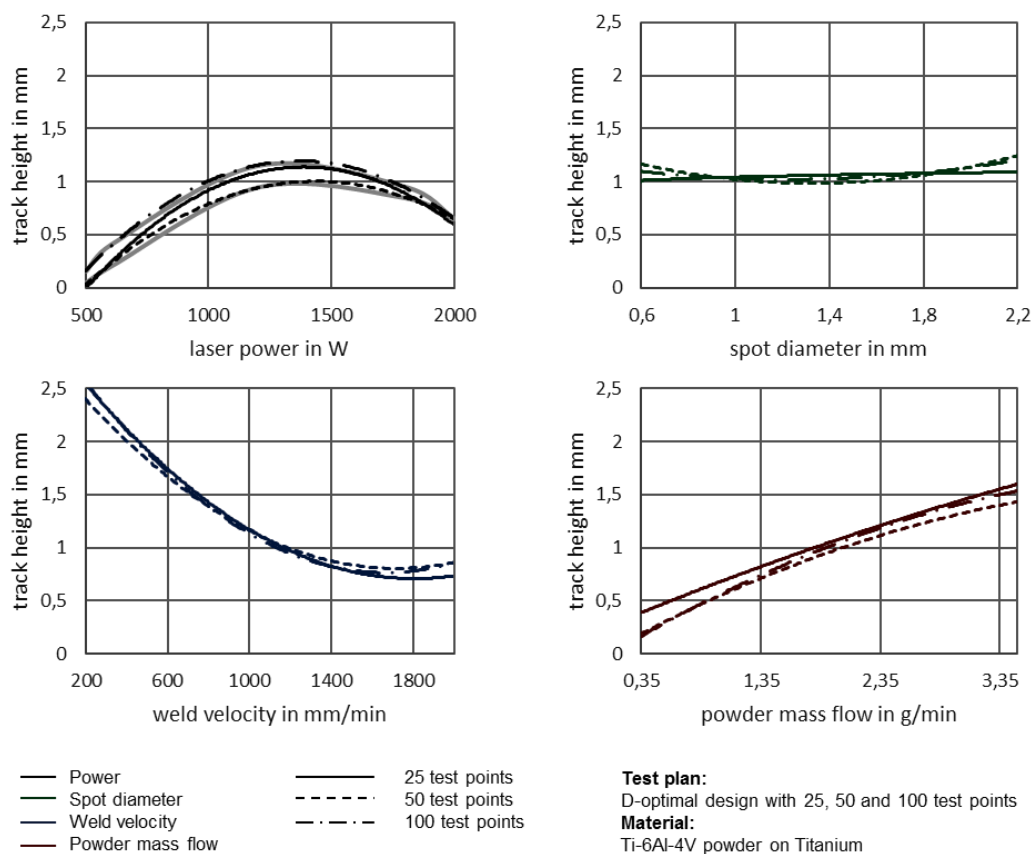


Figure 5. D-optimal experimental designs: main effects on track height

Table 9. D-optimal experimental designs: ANOVA for track height

Effect	p-value			Effect	p-value		
	25 test points	50 test points	100 test points		25 test points	50 test points	100 test points
P	0.312	0.07	0.09	P·d	0.323	0.049	0
d	0.769	0.539	0.240	P·v	0.638	0.371	0.028
v	0.010	0	0	P·m	0.100	0.008	0.026
m	0	0	0	d·v	0.505	0.046	0.002
P ²	0.076	0	0	d·m	0.194	0.168	0.001
d ²	0.917	0.281	0.128	v·m	0	0	0
v ²	0.078	0	0				
m ²	0.986	0.370	0.002				

Table 10. D-optimal experimental designs: Criteria for the evaluation for track height

	25 test points	50 test points	100 test points
normal distribution	✓	✓	✓
homoscedasticity	✓	✓	✓
autocorrelation	✓	✓	✓

The conditions for the evaluations of design of experiments are fulfilled for all carried out D-optimum test plans.

The model accuracy parameters are equivalent to the track width and the standard distance S which is too large for the D-optimum test plan with 25 test points. Therefore, the interpolation is rated as too strong. This can be concluded with help of the forecasted coefficient of determination. With an amount of 71% it is clearly smaller than the limit of 90%. Accordingly, the results of this test plan are to be questioned. The D-optimum test plans with 50 and 100 test points can be classified as reliable because the model accuracy parameters standard distance S is comparable with the one of the full factorial test plan. Furthermore, the coefficient of determination lies above the 90% limit.

Table 11 shows a tabular overview of the investigated factors with regard to their significance. These are compared with the results of the full factorial test plan.

Table 11. Comparison of the test plans according to the recognized effects for track height

			P		d		v		m	
			linear	square	linear	square	linear	square	linear	square
D-optimal experimental designs	25 test points	regression					✓	✓		
		ANOVA					✓			
	50 test points	regression		✓			✓	✓	✓	✓
		ANOVA		✓			✓	✓	✓	✓
	100 test points	regression		✓			✓	✓	✓	✓
		ANOVA		✓			✓	✓	✓	✓
full factorial test plan		regression	✓	✓			✓	✓	✓	✓
		ANOVA	✓				✓	✓	✓	✓

As significant effects for the track height the factors powder mass flow and weld velocity were identified in chapter 3.1.2. Both factors are directly connected with the layering of powder. The laser power has a small influence.

The effect of the weld velocity is recognized with all D-optimum test plans. The strongest effect on the track height is caused by the powder mass flow. This can be shown with all D-optimal experimental designs. In all carried-out D-optimum test plans the factor spot diameter was not assessed as significant.

4. Conclusion

During the check of the model accuracy parameters and the criteria to the condition of a valid evaluation the D-optimum test plan with 25 test points turns out to be invalid. From a statistical point of view, all statements of this test plan are not meaningful. They cannot be considered as scientifically justified results. Not all significant effects are recognized. The

quantity of the test points does not seem sufficient to make a valid statement with regard to the effects.

The D-optimum test plan with 50 test points fulfilled the criteria for evaluation. The model accuracy parameters are also good enough. The significance of the effects could be determined for all factors. Hence, this test plan can be recommended for further investigations.

The D-optimum design experimental with 100 test points fulfils the criteria for the evaluation of static test plans. The values of the model accuracy parameters are good. With the application of this test plan all significant main effects of the full factorial test plan can be determined. The execution has needed twice the time to reach the same results that can be drawn from the D-optimal test plan with 50 test points. For this reason, this test plan is only partly recommendable. Table 12 shows an overview of the test plans with regard to time exposure and profit of information.

Table 12. Overview of the test plans with regard to time exposure and profit of information

Experimental design	Amount of test points	time exposure	result precision
full factorial test plan with restrictions	310	21.5 hours	very good
D-optimal experimental design with 25 test points	25	1.65 hours	poor
D-optimal experimental design with 50 test points	50	3.3 hours	very good
D-optimal experimental design with 100 test points	100	6.6 hours	very good

The realization of the full factorial test plan under the use of restrictions lasts for 21.5 hours. This test plan is valid in the present work as reference value. The accuracy of the result of the D-optimum test plans with 25 test points is not ranked high enough. However, the D-optimum test plan with 50 test points indicates a very good result accuracy, especially regarding the main effects. This test plan saves 18 hours and 10 minutes compared to the full factorial test plan, which accounts for approximately 84.5 %.

In summary, the quantity of the test points for D-optimum design experimental has a high meaning. According to the literature, 21 test points are necessary in the researched case. It could be shown that 25 are not sufficient to identify all significant effects. That is why it is recommended to choose the count of the test points in relation to the full factorial test plan. In this case, the D-optimum test plan with 50 test points provides the best results with regard to time exposure and profit of information.

5. Summary and Outlook

This paper deals with the application of design of experiments using restrictions for laser metal deposition. The aim was to evaluate the applicability of D-optimum test plans under use of restrictions by a bigger test space and thus, to increase process knowledge. Titanium alloy Ti6Al4V was used as filler material and substrate. The target size was the geometry of the weld beading, which was assessed by track width and track height. As factors

laser power, spot diameter, weld velocity and powder mass flow were selected. The factors were varied on five factor steps. To guarantee a regular coating, a subset of the test space was build. Therefore, restrictions were set for energy per unit length, surface energy as well as the molten mass required for cladding.

A full factorial test plan as well as three D-optimum test plans (25, 50 and 100 test points) were carried out under the use of restrictions. The analysis of the full factorial plan provided a basis for comparison with the D-optimum test plans.

Laser power and weld velocity influenced the track width the strongest. Both parameters directly affected the melt pool geometry which was responsible for broadening the track. The spot diameter also caused a small influence on the track width. For the track height, above all the factors the weld velocity and powder mass flow were significant.

In comparison the D-optimum test plan with 25 test points showed the biggest divergences. The examination of the evaluation conditions show the results of this test plan cannot be classified reliable. The D-optimum test plans with 50 and 100 test points achieved good results. Besides, it saves over 80 % of time compared to the full factorial test plan. Above all the application of D-optimum test plans can be recommended for big test spaces (more than three factors). In this context, the flexible design of these test plans offers an essential advantage, for example the uncomplicated use of restrictions. Here, the choice of the quantity of test points has to be calculated in a suitable relation to the full factorial test plan. To enhance the comprehensibility of the process, it is recommended to consider additional target sizes for future researches. With laser metal deposition, for example, metal structures can be additionally generated. Thus, investigations of complicated geometrical forms are useful. In this case, the application of restrictions in D-optimum test plans are meaningful. An adaptation of the restrictions or the development of new restrictions could be valuable as well.

REFERENCES

- [1] Arellano-Garcia, H., Schöneberger, J., & Körkel, S. (2007). Optimale Versuchsplanung in der Chemischen Verfahrenstechnik. *Chemie-Ingenieur-Technik*, 79(10), 1625–1638. <https://doi.org/10.1002/cite.200700110> (in German)
- [2] Capello, E., Colombo, D., & Previtali, B. (2005). Repairing of sintered tools using laser cladding by wire. *Journal of Materials Processing Technology*, 164–165, 990–1000. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.075> (in English)
- [3] DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (2011). Laserstrahl-Auftragschweißen Merkblatt DVS 3215, (02 11). (in German)
- [4] Graf, B., Ammer, S., Gumenyuk, A., & Rethmeier, M. (2013). Design of Experiments for Laser Metal Deposition in Maintenance, Repair and Overhaul Applications. *Procedia CIRP*, 11, 245–248. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.031> (in English)
- [5] Leunda, J., Soriano, C., Sanz, C., & Navas, V. G. (2011). Laser Cladding of Vanadium-Carbide Tool Steels for Die Repair. *Physics Procedia*, 12, 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.03.044> (in English)
- [6] Narva, V. K., Marants, a. V., & Sentyurina, Z. a. (2014). Investigation into laser cladding of steel-titanium carbide powder mixtures on a steel substrate. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 55(3), 282–288. <https://doi.org/10.3103/S1067821214030109> (in English)
- [7] Paul, C. P., Ganesh, P., Mishra, S. K., Bhargava, P., Negi, J., & Nath, A. K. (2007). Investigating laser rapid manufacturing for Inconel-625 components. *Optics and Laser Technology*, 39(4), 800–805. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2006.01.008> (in English)
- [8] Subramaniam, B. Y. S., Subramaniam, B. Y. S., Lyons, J. W., Lyons, J. W., White, D. R., White, D. R., ... Jones, J. E. (1999). Experimental Approach to Selection of Pulsing Parameters in Pulsed GMAW. *Welding Journal*, (May), 166–172. (in English)
- [9] Sun, Y., & Hao, M. (2012). Statistical analysis and optimization of process parameters in Ti6Al4V laser cladding using Nd:YAG laser. *Optics and Lasers in Engineering*, 50(7),

985–995. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2012.01.018> (in English)

Application of D-optimum Experimental Designs in Consideration of Restrictions for Laser Metal Deposition

Angelina Marko*¹, Benjamin Graf*², Sergej Gook*³, Michael Rethmeier^{***4}**

*** Fraunhofer Institute for Production Systems and Design Technology, Pascalstraße 8-9, 10587 Berlin, Germany**

¹ ORCID: 0000-0002-6456-4070

WoS ResearcherID: O-8906-2017

e-mail: angelina.marko@ipk.fraunhofer.de ;

² ORCID: 0000-0002-7345-9352

WoS ResearcherID: O-7530-2017;

³ ORCID: 0000-0002-4350-3850

WoS ResearcherID: F-8636-2017

e-mail: sergej.gook@ipk.fraunhofer.de

**** Federal Institute for Materials Research and Testing, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Germany**

⁴ ORCID: 0000-0001-8123-6696

WoS ResearcherID: B-9847-2009

Abstract – The process of laser metal deposition can be applied in many ways. Mostly, it is relevant to coating, for repair welding and for additive manufacturing. To increase the effectiveness and the productiveness, a good process understanding is necessary. Statistical test planning is effectual and often used for this purpose. For financial and temporal reasons, a restriction of the test space is reasonable. In this case, it is recommended to use a D-optimal experimental design which is practically applied to extend existing test plans or if process limits are known. This paper investigates the applicability of a D-optimum experimental design for the laser metal deposition. The results are compared to the current results of a full factorial test plan. Known restrictions are used for the limitation of the test space. Ti6Al4 is utilized as substrate material and powder. Comparable results of the D-optimal experimental design and of the full factorial test plan can be demonstrated. However, 80 % of time can be saved by the experimental procedure. For this reason, the application of D-optimal experimental design for laser metal deposition is recommend.

Keywords: Design of experiments, laser cladding, laser metal deposition, cladding parameter, additive manufacturing, repair welding.

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

УДК 621.791.75.053

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ДУГЕ НА
СТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ ДУГИ

© 2017 В.Ф. Кубарев*, А.М. Рыбачук**, Ю.В. Доронин***

* Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

** Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

*** ООО «Аттестационный центр городского хозяйства» (АЦГХ), Москва

В статье проведён анализ статической составляющей силы давления дуги на поверхность металла при дуговой сварке. Показано, что силовое воздействие на сварочную ванну от статического давления дуги не зависит от распределения плотности тока по поперечному сечению дуги.

Ключевые слова: дуговая сварка, давление дуги, сварочная ванна.

Поступила в редакцию: 15.08.2017

Несмотря на появление новых способов сварки, дуговая сварка продолжает сохранять ведущее положение в производстве в связи с тем, что нет еще способа, который по простоте и универсальности может конкурировать с дуговой сваркой. Развитие автоматической дуговой сварки обуславливает необходимость изучения физических процессов при воздействии сварочной дуги на металл. Эти исследования продолжают в связи с разработкой новых способов дуговой сварки.

Качество сварного соединения при дуговой сварке во многом определяется формированием сварного шва. Глубина проплавления и форма сварного шва зависит от условий, в которых образуется и кристаллизуется сварочная ванна. Силовое воздействие дуги определяет движение жидкого металла в сварочной ванне и может вызвать появление таких дефектов, как подрезы, грубая чешуйчатость, полости внутри шва и другие.

Для анализа возможности регулирования сил давления дуги важно изучение природы, величины и характера распределения сил в дуговом промежутке, описание физических процессов в сварочной ванне. Силовое воздействие дуги на сварочную ванну характеризуется такими параметрами процесса, как давление, сила, диаметр пятна давления (диаметр силового пятна), коэффициент сосредоточенности дуги.

Взаимодействие собственного магнитного поля дуги с током в дуге создает собственные электромагнитные силы, сжимающие плазму и разгоняющие ее в направлении к изделию. В расширяющемся столбе дуги сварочный ток в каждом элементарном объеме плазмы имеет две составляющие: радиальную и вертикальную (осевую).

При взаимодействии радиальной составляющей тока с собственным магнитным полем в соответствии с законом Ампера возникают осевые электромагнитные силы, действующие на элемент плазмы в осевом направлении:

$$\vec{f}_z = \vec{j}_r \times \vec{B}$$

где B – индукция собственного магнитного поля дуги

Они разгоняют плазму в направлении от электрода к изделию.

При взаимодействии осевой составляющей тока с собственным магнитным полем на каждый элементарный объем плазмы действует радиальная электромагнитная сила, направленная к оси дуги:

$$\vec{f}_r = \vec{j}_z \times \vec{B}$$

В результате дуга сжимается. Сжатие плазмы проходящим по ней током называют пинч-эффектом. Радиальные электромагнитные силы создают статическое давление в дуге, которое характеризует степень сжатия элемента объема плазмы. Под действием этих сил плазма дуги разгоняется в направлении от электрода к изделию.

Аналізу силового воздействия электрической дуги на сварочную ванну посвящено большое количество работ [1–11].

Давление дуги на сварочную ванну определяется суммой составляющих статического (газокинетического) и динамического давлений в каждой точке объема дуги:

$$P = P_{cm} + \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (1)$$

где P_{cm} – статическое давление.

Статическое давление в точке столба на расстоянии r от оси дуги определяется суммарным давлением элементарных объемов внешних слоев плазмы:

$$p_{cm} = \int_r^{r_c} \mu j_z H dr \quad (2)$$

где r_c – радиус столба дуги;

μ – магнитная проницаемость плазмы;

H – напряжённость магнитного поля.

Ток, охватываемый контуром радиусом r , определяется суммированием значений токов, проходящих через элементарные кольца:

$$I = \int_0^r j_z 2\pi r dr$$

В соответствии с законом полного тока:

$$H 2\pi r = \int_0^r j_z 2\pi r dr$$

Отсюда можно определить напряженность магнитного поля в произвольной точке столба дуги, находящейся на расстоянии r :

$$H = \frac{1}{r} \int_0^r j_z r dr \quad (3)$$

Для случая равномерного распределения тока по сечению дуги ($j_z = \text{const}$) напряженность магнитного поля в столбе дуги:

$$H = \frac{j_z r}{2} = \frac{I_\partial r}{2\pi r_c^2} \quad (4)$$

где I_∂ – полный ток дуги,

r_c – радиус столба дуги.

Учитывая напряженность магнитного поля в столбе дуги (3), получим формулу для определения давления в произвольной точке столба

$$p_{cm} = \int_r^{r_c} \mu \frac{j_z}{r} dr \int_0^r j_z r dr \quad (5)$$

При равномерном распределении тока по сечению столба дуги, подставив в формулу значения j_z и H и проинтегрировав, получим

$$p_{cm} = \frac{\mu \cdot I_\partial^2}{4\pi^2 \cdot r_c^4} (r_c^2 - r^2) \quad (6)$$

Давление на оси дуги при $r = 0$ максимально. Оно равно

$$p_{cm} = \frac{\mu \cdot I_\partial^2}{4\pi^2 \cdot r_c^2} = \frac{\mu \cdot I_\partial^2}{4\pi \cdot S} \quad (7)$$

где $S = \pi r_c^2$ – площадь сечения дуги.

Давление на поверхности столба (при $r = r_c$) равно нулю.

Распределение электромагнитного давления, созданного взаимодействием осевой составляющей тока с собственным магнитным полем, имеет параболическую форму с максимум на оси дуги (рис.1).

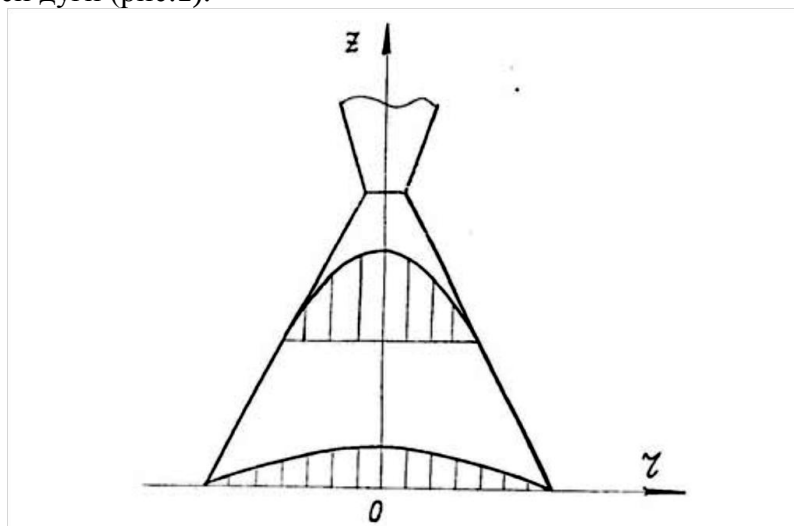


Рис. 1. – Распределение статического давления в дуге, созданного радиальной составляющей собственных электромагнитных сил

Давление на оси дуги согласно формуле (7) обратно пропорционально площади сечения дуги. Причём давление вблизи поверхности электрода максимально и убывает в направлении к изделию.

Экспериментально определить давление дуги на оси можно, используя катод с маленьким отверстием, которое не мешает разряду. Данные практических измерений, выполненных на дуге с угольным катодом, и расчета, сделанного по формуле (7) с учетом наличия отверстия на катоде, подтверждают достаточную точность оценки давления по формуле (7) /1/.

Если столб дуги - конус с углом γ между образующей и осью, то $r_c = z \cdot \operatorname{tg} \gamma$ и $S = \pi \cdot z^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma$.

Градиент давлений в осевом направлении на оси дуги:

$$\text{grad}_z p_{cm} = \frac{\mu \cdot I_o^2}{2\pi^2 \cdot z_c^3 \cdot \text{tg}^2 \gamma}$$

Вследствие этого градиента давлений в центральной части столба дуги плазма перемещается от электрода к изделию и разгоняется до значительных скоростей. Такой перепад давлений воздействует на каждый элементарный объём плазмы и создаёт направленное движение плазмы к основанию дуги. Расчётные оценки показывают, что за счёт перепада давлений в дуге, горящей при токах в несколько сот ампер, плазма может разгоняться до скорости в сотни метров в секунду / 1, 4 /. Воздействие плазмы на дугу и капли расплавленного электродного металла определяет технологические свойства дуги, силовое воздействие дуги на сварочную ванну, глубину проплавления, форму шва и образование дефектов.

Определим воздействие статического давления, созданного пинч-эффектом, на изделие. Сила, действующая на элементарную кольцевую площадку радиусом r и толщиной dr ,

$$dF = p_{cm} 2\pi r dr$$

Сила, действующая на все сечение

$$F_r = \int_0^{r_c} p_{cm} 2\pi r dr \quad (8)$$

При равномерном распределении тока по сечению столба, используя формулу (4), получим

$$F_r = \int_0^{r_c} \frac{\mu I_o^2}{4\pi^2 r_c^4} (r_c^2 - r^2) 2\pi \cdot r dr = \frac{\mu \cdot I_o^2}{8\pi} \quad (9)$$

Следовательно, сила, действующая на изделие и вызванная пинч-эффектом, пропорциональна квадрату сварочного тока и не зависит от сечения дуги (координаты z).

Данное выражение статической составляющей силы давления дуги получено при равномерном распределении тока по сечению дуги.

Такое приближение часто используют в различных работах [1, 2, 4, 9, 11].

Распределение плотности тока не является однозначным и может изменяться по различным причинам. Оно зависит от формы конца электрода, эмиссионных свойств катода, размеров электрода, химического состава электрода, свариваемого металла, теплофизических свойств среды, в которой горит дуга, и других условий [6–8].

Докажем, что данная составляющая не зависит от закона распределения плотности тока.

Известно, что разное распределение плотности тока по радиусу столба дуги (активного пятна) можно описать функцией

$$j(r) = j_0 \left(1 - \frac{r^n}{r_c^n}\right) \quad (10)$$

где n – параметр закона распределения тока, изменяя который можно менять вид распределения $j(r)$. Графическое изображение этой функции приведено на рисунке 2.

Напряжённость магнитного поля, соответствующее заданному распределению плотности тока (10), можно определить, используя выражение (2)

$$H = j_0 \left[\frac{r}{2} - \frac{r^{n+1}}{r_c^n (n+2)} \right] \quad (11)$$

Плотность тока на оси проводника выражается через полный ток дуги I_δ из равенства:

$$I_\delta = 2\pi \int_0^{r_c} j(r) r dr \quad (12)$$

и равна по величине:

$$j_0 = \frac{I_\delta (n+2)}{\pi r_c^2 n} \quad (13)$$

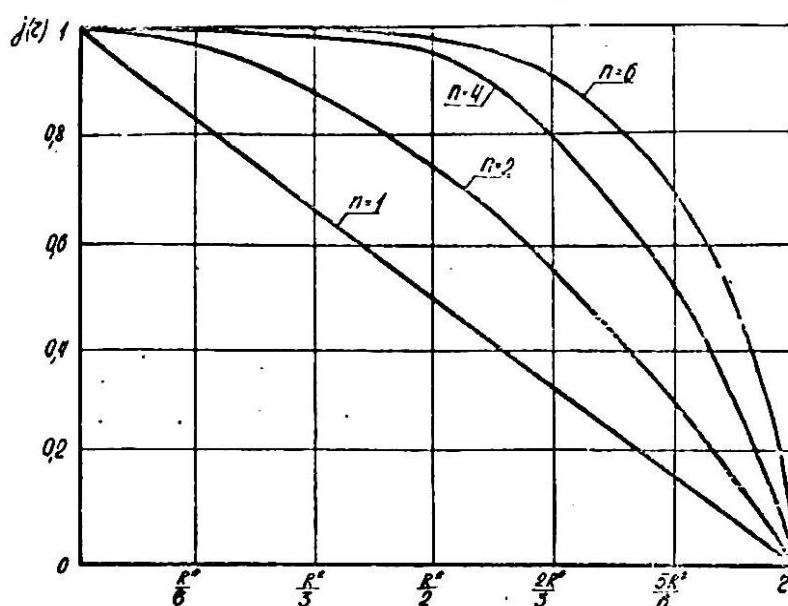


Рис. 2. – Обобщённый вид распределения плотности тока по радиусу столба дуги

Учитывая (11), найдем:

$$P_{cm}(r) = \mu j_0^2 \left[\left(-\frac{r^2}{4} + \frac{r^{n+2}}{2r_c^2(n+2)} + \frac{r^{n+2}}{r_c^n(n+2)^2} - \frac{r^2}{2r_c^{2n}(n+2)(n+1)} \right) + \left(\frac{r_c^2}{4} - \frac{r_c^2}{2(n+2)} - \frac{r_c^2}{(n+2)^2} + \frac{r_c^2}{2(n+2)(n+1)} \right) \right] \quad (14)$$

Подставим значение $P_{cm}(r)$ в формулу (8) и проведем интегрирование. Опуская преобразования, приведем окончательное выражение силы F_r :

$$F_r = \frac{\mu I_\delta^2}{\pi n^2} (n+2)^2 Q(n),$$

где:

$$Q(n) = \left[\frac{1}{8} - \frac{1}{(n+2)^2} - \frac{1}{2(n+1)(n+2)^2} - \frac{1}{2(n+2)} + \frac{2}{(n+4)(n+2)^2} - \frac{1}{2(n+1)(n+2)} + \frac{1}{(n+2)(n+4)} \right] \quad (15)$$

Проведя алгебраическое преобразование в (15) можно показать, что выражение:

$$\frac{(n+2)^2}{n^2} Q(n) \equiv \frac{1}{8}$$

является тождеством относительно n . Отсюда можно заключить, что часть силы давления дуги, а именно сила статического (газокинетического) давления на поверхность анода не зависят ни от закона распределения плотности тока $j(r)$ по сечению дуги и активного пятна, ни от размеров столба и активного пятна. Ее численное значение всегда равно:

$$F_r = \frac{\mu I_0^2}{8\pi}$$

Изменение длины дуги или радиуса активного пятна дуги приведет лишь к изменению площади, на которой приложена сила F_r , а ее значение останется постоянным.

ВЫВОДЫ

1. Силовое воздействие на сварочную ванну от статического давления дуги не зависит от распределения плотности тока по поперечному сечению дуги.
2. Изменение длины дуги или радиуса активного пятна на ванне приводит к изменению площади, на которую приложена эта сила, а её величина остаётся неизменной, равной $\frac{\mu I_0^2}{8\pi}$.
3. С изменением закона распределения тока по сечению дуги меняется распределение статического давления по сечению дуги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финкельбург, В. и др. Электрические дуги и термическая плазма [Текст] / В. Финкельбург, Г. Меккер. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – 370 с.
2. Maecker H. Plasmastromungen in Lichtbogen infolge der eigenmagnetischer Kompression. Zeitschrift fur Physik, 1955, Bd.141, pp. 198–216.
3. Мечев, В.С. и др. Электромагнитные силы в сварочной дуге [Текст] / В.С. Мечев, В.С. Слободянюк, М.А. Самсонов, В.С. Энгельшт // Автоматическая сварка. – 1980. – №8. – С. 17–20.
4. Лесков, Г.И. Электрическая сварочная дуга [Текст] / Г.И.Лесков. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
5. Кубарев, В.Ф. и др. Газодинамические характеристики аргоновой сварочной дуги с нерасходуемым катодом [Текст] / В.Ф. Кубарев, М.М. Крутянский, Г.Г. Чернышов // Физика и химия обработки материалов. – 1982. – №3. – С. 39–45.
6. Ерохин, А.А. Силовое воздействие дуги на расплавляемый металл [Текст] / А.А. Ерохин // Автоматическая сварка. – 1979. – №7. – С. 21–26.
7. Селянников, В.Н. Распределение давления сварочной дуги постоянного тока [Текст] / В.Н. Селянников // Сварочное производство. – 1974. – №7. – С. 4–6.
8. Руссо, В.Д. и др. Влияние напряжения дуги и заточки неплавящегося электрода на силовое воздействие дуги [Текст] / В.Д. Руссо, И.В. Суздалев. Э.И. Явно // Сварочное производство. – 1977. – №7. – С. 6–7.
9. Рыбачук, А.М. и др. Математическое моделирование физических процессов в дуге и сварочной ванне [Текст] / А.М. Рыбачук, Г.Г. Чернышов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 76 с.
10. Лебедев, В.К. и др. Силовое воздействие сварочной дуги [Текст] / В.К. Лебедев, И.В. Пентегов // Автоматическая сварка. – 1981. – №1. – С. 7–15.
11. Рыбачук, А.М. и др. Силовое воздействие конусной дуги на электрод и сварочную ванну [Текст] / А.М. Рыбачук, Г.Г. Чернышов // Сварка и диагностика. – 2010. – №5. – С. 6–8.

REFERENCES

- [1] Finkelburg V., Mekker G. Ehlektricheskie dugi i termicheskaja plazma [Electric Arcs and Thermal Plasma]. M. Pub. Izdatelstvo inostrannoj literatury [Foreign Literature Publishing House], 1961, 370 p. (in Russian)
- [2] Maecker H. Plasmastromungen in Lichtbogen infolge der eigenmagnetischer Kompression. Zeitschrift fur Physik, 1955, Bd.141, pp. 198–216. (in German)
- [3] Mechev V.S., Slobodjanjuk V.S., Samsonov M.A., Ehngel'sht V.S. Ehlektromagnitnye sily v svarochnoj duge [Electromagnetic Forces in Welding Arc]. Avtomaticheskaja svarka [Automatic Welding], 1980, №8, ISSN 0005-111X, pp. 17–20. (in Russian)
- [4] Leskov G.I. Ehlektricheskaja svarohnaja duga [Electric Welding Arc]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1970, 335 p. (in Russian)
- [5] Kubarev V.F., Krutjanskij M.M., Chernyshov G.G. Gazodinamicheskie kharakteristiki argonovoj svarochnoj dugi s neraskhoduemym katodom [Gas Dynamic Characteristics of Argon Arc with Non-Consumable Cathode]. Fizika i khimija obrabotki materialov [Physics and Chemistry of Material Processing], 1982, №3, pp. 39–45. (in Russian)
- [6] Erokhin A.A. Silovoe vozdejstvie dugi na rasplavljaemyj metal [Force Arc Action on Molten Metal]. Avtomaticheskaja svarka [Automatic Welding], 1979, №7, ISSN 0005-111X, pp. 21–26. (in Russian)
- [7] Seljanenkov V.N. Raspredelenie davlenija svarochnoj dugi postojannogo toka [Welding Arc Pressure Distribution]. Svarochnoe proizvodstvo [Welding Production], 1974, №7, ISSN 0491-6441, pp.4-6. (in Russian)
- [8] Russo V.D., Suzdalev I.V., Javno Eh.I. Vlijanie naprjazhenija dugi i zatochki neplavjashhegojsja ehlektroda na silovoe vozdejstvie dugi [The influence of Arc Voltage and Non-Consumable Electrode Sharpening on the Arc Force Action]. Svarochnoe proizvodstvo [Welding Production], 1977, №7, ISSN 0491-6441, pp. 6–7. (in Russian)
- [9] Rybachuk A.M., Chernyshov G.G. Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh processov v duge i svarochnoj vanne [Mathematical Modeling of Physical Processes in the Arc and Weld Pool]. M. Pub. MGТУ im. N.Eh. Baumana [Bauman MSTU], 2007, 76 p. (in Russian)
- [10] Lebedev V.K., Pentegov I.V. Silovoe vozdejstvie svarochnoj dugi [Welding Arc Force]. Avtomaticheskaja svarka [Automatic Welding], 1981, №1, ISSN 0005-111X, pp. 7–15. (in Russian)
- [11] Rybachuk A.M., Chernyshov G.G. Silovoe vozdejstvie konusnoj dugi na ehlektrod i svarochnuju vannu [Conical Arc Force Action on the Electrode And Weld Pool]. Svarka i diagnostika [Welding and Diagnostics], 2010, №5, ISSN 2071-5234, pp. 6–8. (in Russian)

Influence of Current Density Distribution on the Static Arc Pressure**V.F. Cubarew*, A.M. Rybachuk**, Yu.V. Doronin*****

** National Research University «MPEI»,
Krasnokazarmennaya St., 17, Moscow, Russia, 111250
e-mail: doronin-45@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8493-8933
WoS ResearcherID: J-5424-2017*

*** Bauman Moscow State Technical University
2-Baumanskaya St., 5, build. 1, Moscow, Russia 105005
e-mail: amrybachuk@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9078-2653
WoS ResearcherID: O-6229-2017*

**** LTD «Certification Center of municipal services»,
Office 36, Tkatskaya St., 46, Moscow, Russia 105187
e-mail: doronin-45@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3294-882X
WoS ResearcherID: O-6190-2017*

Abstract – The article analyzes the static component of the arc pressure force on the metal surface during arc welding. It is shown that the force action on the weld pool from the static pressure of the arc does not depend on the distribution of the current density over the cross section of the arc.

Keywords: arc welding, pressure of the arc, weld pool.

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

УДК 621.869.888:621.039.54

**ПОСТАНОВКА ИСПЫТАНИЙ ТОПЛИВНЫХ УПАКОВОЧНЫХ
КОМПЛЕКТОВ НА РАКЕТНОМ ТРЕКЕ¹**

© 2017 С.И. Герасимов^{*,***}, В.И. Ерофеев^{*}, Р.В. Герасимова^{*,***}, К.И. Ляхов^{**},
А.В. Мельник^{**}, И.А. Одзериho^{**}, Б.А. Яненко^{**}

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

^{**} Саровский физико-технический институт НИЯУ «МИФИ», Саров, Нижегородская обл., Россия

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

Обеспечение безопасности транспортирования отработанного ядерного топлива и изделий на его основе имеет большое значение в связи с наличием потенциального риска нанесения ущерба людям, окружающей среде и имуществу в процессе перевозки, выполнения погрузочно-разгрузочных операций и промежуточного хранения. Выбор воздушного транспорта для международных перевозок позволяет снять сразу несколько проблем, связанных с транзитными странами: исчезает необходимость в многосторонних международных транзитных соглашениях, упрощаются таможенные процедуры, облегчается задача обеспечения физзащиты, существенно сокращаются затраты на многостороннее утверждение сертификатов-разрешений на конструкцию упаковки и перевозку отработанного ядерного топлива и оформление разрешительных документов в транзитных странах. Виды испытаний, которые должна выдержать упаковка в нормальных условиях перевозки, являются единственными и не зависят от вида используемого транспорта. Для достижения указанной цели необходимо, в том числе, проведение испытаний макета топливного упаковочного комплекта ТУК в условиях, имитирующих авиационную аварию (столкновение с жесткой преградой со скоростью 90 м/с). Представлена постановка решения этой задачи с использованием возможностей ракетного трека.

Ключевые слова: топливный упаковочный комплект, радиоактивные материалы, отработанное ядерное топливо, воздушная перевозка, авария, ракетный трек.

Поступила в редакцию: 12.09.2017

1. Производственная деятельность предприятий, осуществляющих обращение с радиоактивными материалами, предусматривает транспортировку как связующее звено.

Любая перевозка отработанного ядерного топлива (ОЯТ) представляет собой сложную многофакторную задачу, требующую согласования взаимодействия при использовании большого числа технических средств: специализированных транспортных контейнеров, крепежных приспособлений, перегрузочных приспособлений, захватов, демпферов, спецвагонов. Также требуются решения и согласования множества вопросов логистики (маршрут, места перегрузки, стыковки транспортных средств). Обязательным является решение юридических вопросов, связанных с правовым обоснованием необходимости и возможности транспортирования ОЯТ по территории стран грузоотправителя, грузополучателя и по территории транзитных стран. Все это требует значительных затрат времени,

¹ Работа выполнялась при поддержке гранта РФФИ 17-08-01096 и Программы повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ.

финансовых и материально-технических ресурсов [1].

Выбор воздушного транспорта для международных перевозок позволяет снять сразу несколько проблем, связанных с транзитными странами: исчезает необходимость в многосторонних международных транзитных соглашениях, упрощаются таможенные процедуры, облегчается задача обеспечения физзащиты, существенно сокращаются затраты на многостороннее утверждение сертификатов-разрешений на конструкцию упаковки и перевозку ОЯТ и оформление разрешительных документов в транзитных странах [2], [3].

Основным документом, регламентирующим перевозки радиоактивных материалов по территории Российской Федерации, являются «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-04)5 [4], за рубежом – «Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов» (Требования безопасности МАГАТЭ № Т8-Л-1) [5]. Эти документы допускают воздушную перевозку в транспортных упаковочных комплектах. Виды испытаний, которые должна выдержать упаковка в нормальных условиях перевозки, являются едиными и не зависят от вида используемого транспорта. Поскольку безопасность перевозки ОЯТ в топливном упаковочном комплекте в нормальных условиях обосновывается при разработке конструкции, основное внимание при проведении анализа безопасности перевозки упаковки воздушным транспортом уделено авиационной аварии.

В соответствии с Правилами НП-053-04 и № ТБ-Я-1, упаковка, предназначенная для перевозки воздушным транспортом, должна быть подвергнута в течение двух серий испытаний. Испытания первой серии включают: падение упаковки с высоты 9 м на горизонтальную поверхность; падение упаковки с высоты 3 м на штырь; падение тела массой 500 кг с высоты 9 м на упаковку; тепловое испытание в течение 60 минут при температуре пламени не менее 800 °С. Испытание второй серии предусматривает столкновение упаковки с мишенью при скорости не менее 90 м/с.

2. Рассмотрим постановку испытаний второй серии на примере ТУК-145/С – упаковки типа С, включающей контейнер SKODA VPVR/M, разработанного в рамках программы RRRFR (Russian Research Reactor Fuel Return programm) [6], и защитно-демпфирующий кожух (ЗДК) [7].

Проведение испытаний натурного ТУК-145/С на соударение с жесткой преградой на скорости не менее 90 м/с невозможно из-за больших габаритов и массы упаковки (~30 т).

В таких ситуациях испытания уменьшенных моделей могут быть единственным способом демонстрации соответствия упаковки требованиям Правил. Выполнение условий подобия в механических испытаниях обеспечивается при условии применения идентичных материалов и подходящих методов изготовления, использованных для модели и для полномасштабной упаковки. Следовательно, можно изучать взаимосвязь ориентации упаковки, результирующего разрушения и общей деформации упаковки, а также получать информацию о торможении ее отдельных частей. Рабочим стендом для таких испытаний выступает ракетный трек.

Отечественный ракетный трек представляет собой две цельносварных рельсовых направляющих протяженностью 3000 м, закрепленных на мощном железобетонном основании, которое установлено на железобетонных сваях длиной 6 м. Головки рельсовых направляющих фрезерованные. С помощью регулируемых в плане и по высоте узлов крепления рельсовые направляющие выводятся в проектное положение. При этом их отклонение от прямолинейности не превышает 0,5 мм на длине 25 м [8]. Разгон полезной нагрузки (объектов испытания или имитаторов преград) по рельсовым направляющим осуществляется с помощью, так называемых, ракетных поездов (РП), основу которых составляют ракетные двигатели твердого топлива. Полезная нагрузка,

как правило, размещается на последней ступени. При большой массе полезная нагрузка может оснащаться собственными башмаками для скольжения по рельсовым направляющим (рис. 1).

Выбор масштабного коэффициента зависит от требуемой точности обеспечения представительности модели. Чем больше отклонение от реального масштаба, тем больше вносимая ошибка. Следовательно, для изучения деформации упаковки в целом уменьшение масштаба может быть предпочтительнее, чем испытания отдельных частей упаковки; в некоторых случаях выбор масштабного фактора может определяться конкретным типом предполагаемых испытаний.

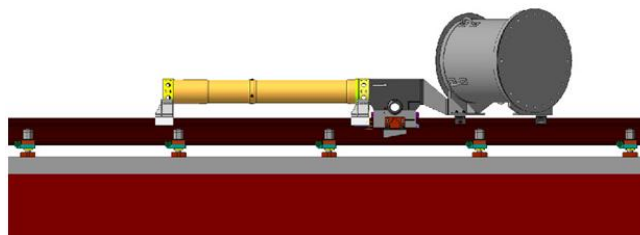


Рис. 1. – Общий вид ракетного поезда

Согласно рекомендациям [9], масштабный коэффициент должен быть не менее чем 1:4. В соответствии с требованиями испытаний на ракетном треке в части максимальной массы разгоняемого груза (2т) выбираем испытание с использованием макета упаковки в масштабе 1:2,5.

Материалы-заменители деталей контейнера, прочностные характеристики которых важны при испытании, выбираются из условия максимального соответствия механических свойств оригиналам, таким образом, чтобы замена материалов и/или упрощения в конструкции деталей макета не влияли на результаты экспериментального обоснования конструкции ТУК. На макет ТУК-145/С дополнительно были установлены специальные элементы (направляющие башмаки), с помощью которых осуществлялась связь объекта испытаний с рельсовыми направляющими ракетного трека. Элементы крепления башмаков к контейнеру и башмаки задают расположение макета ТУК-145/С на рельсовых направляющих ракетного трека, при котором обеспечивается встреча с мишенью в заданном направлении и под заданным углом.

Разгон ТУК до заданной скорости по рельсовым направляющим ракетного трека и его столкновение с мишенью при заданном направлении и угле встречи обеспечивались комплектом специальной оснастки, который включал в себя ракетную тележку (РТ) и элементы (башмаки), связывающие ТУК с рельсовыми направляющими ракетного трека. Передача тяги к ТУК от РТ обеспечивалась за счет упора РТ. РТ и ТУК с башмаками составляли ракетный поезд, общий вид которого показан на рисунке .2. Ракетная тележка снабжена тормозными башмаками, с помощью которых осуществляется ее связь с рельсовыми направляющими ракетного трека (рис.3). Тормозные башмаки ракетной тележки оснащены пороховыми аккумуляторами давления (ПАД) для остановки тележки на заданном отрезке.

Разгон ракетного поезда осуществлялся твердотопливным ракетным двигателями, установленным на ракетной тележке. Ракетная тележка устанавливалась на 4 тормозных башмака, содержащие по 2 ПАД. Непосредственное жесткое соединение между ракетной тележкой и ТУК отсутствовало. После запуска ракетного двигателя ракетный поезд начинал движение по рельсовым направляющим ракетного трека. По окончании работы ракетного двигателя и достижении ракетным поездом заданной скорости движения происходило задействование ПАД тормозных башмаков и

остановка РТ на рельсовых направляющих ракетного трека. При этом ТУК за счет полученного импульса продолжал движение по рельсовым направляющим. После схода с рельсовых направляющих ракетного трека ТУК двигался в свободном полете до столкновения с мишенью.



Рис. 2. – Общий вид ракетного поезда

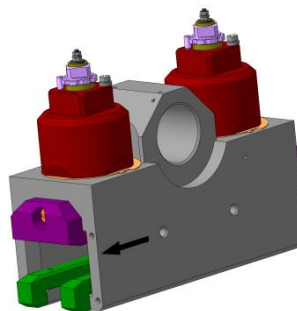


Рис. 3. – Общий вид тормозного башмака с установленными ПАДами

Мишень выполнена в соответствии с рекомендациями Правил НП-053-04 и № ТБ-Я-1 и представляет собой железобетонный блок, облицованный со стороны лобовой стенки стальным листом толщиной 100 мм. Габариты лобовой стенки 2.4*3.6 м. Мишень смонтирована с упором задней стенки в протяженный насыпной вал и дополнительно с боковых сторон и сверху обвалована грунтом. Полная масса мишени с учетом обваловки грунтом составляет примерно 600 т.

В процессе испытаний проводятся измерения следующих параметров движения макета ТУК:

- скорость и угол встречи с мишенью в вертикальной плоскости;
- скорость движения по рельсовым направляющим ракетного трека.

Для регистрации скорости и угла встречи макета ТУК-145/С с мишенью, а также процесса деформирования использовалась следующая кино- и фотоаппаратура:

- две широкоформатные фотограмметрические камеры АФА-41/10 на расстоянии 5.5 м от траектории полета макета ТУК при ортогональном направлении оптических осей к направлению движения, обеспечивающих зону захвата 5-6 м;
- две скоростные кинокамеры VideoSprint, расположенные аналогично камерам АФА-41/10 и обеспечивающие зону захвата 1 м;
- две видеокамеры с направлением оптической оси под углом 90 градусов по отношению к ориентации кинокамер VideoSprint.

Схема расположения оптических средств регистрации приведена на рисунке 4.

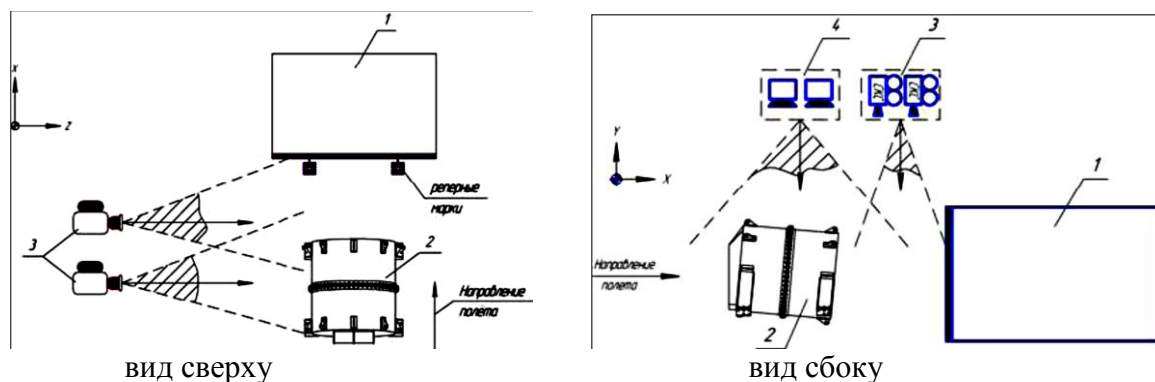


Рис. 4. – Схема расположения оптических средств регистрации: 1 - мишень; 2 - макет ТУК-145/С; 3, 4 – видеокамеры

Средняя квадратическая погрешность определения угла подхода макета ТУК к мишени не хуже ± 1.0 . Погрешность хронографических измерений составляет $\pm(0.2+3 \cdot 10^{-6} t_{\text{изм}})$ мкс.

Скорость движения РТ и макета ТУК-145/С по рельсовым направляющим ракетного трека определялась с использованием аттестованных расчетных методик по результатам регистрации времен прохождения РТ и макета ТУК-145/С через датчики пути и хронографические кабельные датчики, установленные в заданных сечениях трека.

После испытаний была проведена дефектация макета ТУК-145/С, которая включала в себя:

- кино и фотосъемку конечного состояния макета ТУК-145/С и его составных частей;
- регистрацию повреждений, полученных макетом ТУК-145/С и его составными частями;
- измерение параметров конструкции, отвечающих за состояние системы герметизации:
 - контейнера;
 - моменты затяжки болтов крепления внешних крышек главного разъема к корпусу макета контейнера;
 - размеры болтов крепления внешних крышек главного разъема к корпусу макета контейнера;
 - размеры между внешними крышками верхнего и нижнего главного разъема и корпусом макета контейнера SKODA VPVR/M в районе специально выполненных для этих целей отверстий.

Вид ракетного поезда с макетом ТУК-145/С на рельсовых направляющих до начала испытаний представлен на рисунке 2. На рисунке 5 показан момент подлета макета к преграде и взаимодействия с ней. На кадрах виден разброс полых титановых сфер – демпфирующих элементов ЗДК, выбранных в качестве материалов динамической защиты.

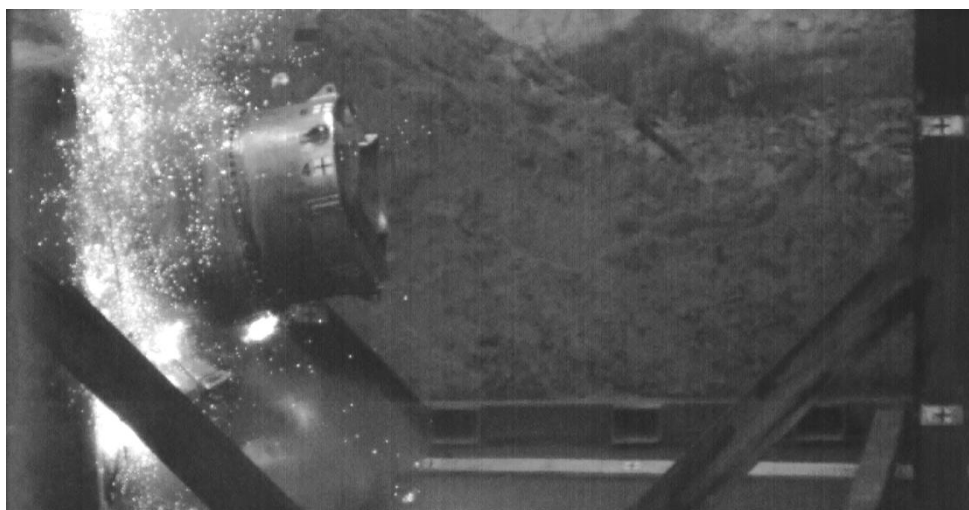


Рис. 5. – Фото подлета макета ТУК-145/С к преграде и соударения с ней

Согласно результатам измерений, скорость столкновения макета ТУК-145/С с мишенью составила 91.6 ± 0.9 м/с; угол между осью макета и нормалью к поверхности мишени составил 6.8 ± 0.2 градусов.

После столкновения с мишенью макет ТУК-145/С был отброшен от мишени

примерно на 5 м. При отскоке макет задел нижней частью за горизонтальный швеллер стойки поста оптических средств регистрации. Общий вид площадки и макета ТУК-145/С после столкновения с мишенью представлен на рисунке 6.

В результате дефектации макета ТУК-145/С на месте проведения испытания установлено следующее.

1) Макет ЗДК со стороны удара о мишень смялся на 70-100 мм (рисунок 6). Фланцевое соединение макета ЗДК сохранило свою целостность: из 60 болтовых соединений М16 фланца у семи срезана резьба в результате удара о швеллер при отскоке (на швеллере имеются характерные следы от удара).



Рис. 6. – Вид площадки после столкновения макета ТУК-145/С с мишенью

2) Верхняя плита отделилась от корпуса ЗДК (рисунок 7).



Рис. 7. – Деформированный макет



Рис. 8. – Верхняя плита корпуса ТУК-145/С (вид сбоку) макета ТУК-145/С

3) Часть сферических демпфирующих элементов в результате отделения верхней плиты корпуса макета ЗДК была выброшена наружу, оставшиеся сферы со стороны удара деформированы (см. рисунки 9, 10).

4) На задней противоположной удару нижней плите корпуса макета ЗДК имеется кольцевая трещина в месте сварки на диаметре внутренней обечайки (рисунок 10).

Для проведения дефектации макета контейнера SKODA VPVR/М макет ЗДК был разрезан с использованием механического инструмента и газовой резки. В результате дефектации макета контейнера SKODA VPVR/М установлено, что параметры конструкции, характеризующие состояние системы герметизации макета контейнера

SKODA VPVR/M, практически не изменились. Различия их значений до и после испытаний находятся в пределах погрешности измерений в ненагруженном состоянии.



Рис. 9. – Вид на макет ТУК-145/ со стороны удара о мишень



Рис. 10. – Вид на макет ТУК-145/С со стороны, противоположной удару о мишень



а) вид со стороны удара о мишень;



б) вид со стороны, противоположной удару

Рис. 11. – Внешний вид макета контейнера SKODA VPVR/M после испытаний

Таким образом, постановка и проведение испытания макета ТУК-145/С в масштабе 1:2.5 на соударение с жесткой преградой со скоростью 91.6 ± 0.9 м/с на ракетном треке показывает надежность данного стенда для экспериментального решения обоснования безопасности полномасштабного ТУК с ОЯТ исследовательских реакторов при перевозке воздушным транспортом [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров, С.В. и др. Решения повышенной безопасности при перевозке отработавшего топлива исследовательских реакторов [Текст] / С.В. Комаров, М.В. Барышников, А.В. Смирнов // Международная выставка и конференция «АТОМЭКО-2009»: Сб. докл. – М., 2009. – С. 8–10.
2. Komarov S., Dorofeev A., Kanashov B. Experience in Organization of Work on Shipment Safety Justification and Preparation of Certificates. Regional Workshop on RRRFR Program Lessons Learned. Varna, Bulgaria, 22–25 June 2009.
3. Komarov S., Budu M.E., Derganov D. etc. Licensing Air and Transboundary Shipments of Spent Nuclear Fuel. International Conference on the Safe and Secure Transport of Radioactive Material: The Next Fifty Years of Transport – Creating a Safe, Secur.
4. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов: НП-053-04: утв. Постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 4 октября 2004 г. №5 : введ. в действие с 05.01.2005 [Текст]. – М., 2004. – 71 с.
5. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. Требования безопасности: №TS-R-1 [Текст]. – Вена: IAEA, 2009. – 175 с.

6. Гусаков-Станюкович, И.В. Программа RRRFR: история, реализация и перспективы [Текст] / И.В. Гусаков-Станюкович // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2011/07/20/24488> – 10.09.2017.
7. Комаров, С.В. и др. Мультимодальные перевозки в программе репатриации ОТВС ИР российского производства в Российскую Федерацию [Текст] / С.В. Комаров, А.Н. Дорофеев, А.А. Иващенко [и др.] // Черемшанские чтения : сб. докл. в 3-х частях. – Димитровград : ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – Часть 1. – С. 97–106.
8. Файков, Ю.И. и др. Испытания ракетной и авиационной техники на ракетном треке [Текст] / Ю.И. Файков, В.И. Дудай, В.М. Никулин, Г.П. Шляпников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2006. – №3. – 2006. – С. 11–14.
9. Обеспечение безопасности при транспортировании радиоактивных материалов (Справочный материал к Правилам безопасности при транспортировании радиоактивных материалов, НП-053-04) : РБ-039-07 : утв. постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору : введено в действие с 03.12.2007 [Текст]. – М., 2005. – 336 с.
10. Алексеев, О.Г. и др. Способ защиты радиоактивных массивных грузов от интенсивных механических воздействий. Описание изобретения к патенту RU 2549364 [Текст] / О.Г. Алексеев, А.И. Моренко, В.И. Шаповалов, С.В. Комаров, А.И. Ивашкин, 2015.

REFERENCES

- [1] Komarov S.V., Baryshnikov M.V., Smirnov A.V. Reshenija povyshennoj bezopasnosti pri perevozke otrabotavshogo topliva issledovatel'skikh reaktorov. Mezhdunarodnaja vystavka i konferencija «ATOMEKO-2009» : sbornik dokladov [Enhanced Safety Solutions for the Transport of Spent Fuel from Research Reactors. International Exhibition and Conference "ATOMECO-2009"]. M., 2009, pp. 8–10. (in Russian)
- [2] Komarov S., Dorofeev A., Kanashov B. Experience in Organization of Work on Shipment Safety Justification and Preparation of Certificates. Regional Workshop on RRRFR Program Lessons Learned. Varna, Bulgaria, 22–25 June 2009. (in English)
- [3] Komarov S., Budu M.E., Derganov D. etc. Licensing Air and Transboundary Shipments of Spent Nuclear Fuel. International Conference on the Safe and Secure Transport of Radioactive Material: The Next Fifty Years of Transport – Creating a Safe, Secur. (in English)
- [4] Pravila bezopasnosti pri transportirovanii radioaktivnykh materialov: NP-053-04. Utverzhdeno Postanovleniem Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atom-nomu nadzoru ot 4 oktjabrja 2004 g. №5: vvedenie v dejstvie s 05.01.2005 [Safety Rules for the Transport of Radioactive Materials: NP-053-04: approved. Decree of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision ,October 4, 2004 No. 5: Enter. effective from 05.01.2005]. M., 2004. 71 p. (in Russian)
- [5] Pravila bezopasnoj perevozki radioaktivnykh materialov. Trebovanija bezopasnosti: № TS-R-1 [Rules for the Safe Transport of Radioactive Materials. Safety requirements: No.TS-R-1]. – Vena: IAEA, 2009, 175 p. (in Russian)
- [6] Gusakov-Stanjukovich, I.V. Programma RRRFR: istorija, realizacija i perspektivy. Bezopasnost' jadernykh tekhnologij i okruzhajushhejj sredy [The RRRFR Program: History, Implementation and Prospects. Safety of Nuclear Technologies and the Environment]. Available at: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2011/07/20/24488> (in Russian)
- [7] Komarov S.V., Dorofeev A.N., Ivashhenko A.A. etc. Multimodal'nye perevozki v programme repatriacii OTVS IR rossijskogo proizvodstva v Rossijskuju Federaciju. Cheremshanskije chtenija: sbornik dokladov v 3-kh chastjakh [Multimodal Transportation in the Program of repatriation of SFA of the Russian Federation to the Russian Federation. Cheremshan Readings: a collection of reports in 3 parts]. Dimitrovgrad : DITI NIJaU MIFI, 2012, Vol. 1, pp. 97–106. (in Russian)
- [8] Fajjkov Ju.I., Dudaj V.I., Nikulin V.M., Shljapnikov G.P. Ispytanija raketnoj i aviacionnoj tekhniki na raketnom treke. Izvestija Rossijskojj akademii raketnykh i artillerijskikh nauk [Tests of Rocket and Aircraft on the Rocket Track. News of the Russian Academy of Missile and Artillery Sciences], 2006, №3, pp. 11–14. (in Russian)
- [9] Obespechenie bezopasnosti pri transportirovanii radioaktivnykh materialov (Spravochnyj material k Pravilam bezopasnosti pri transportirovanii radioaktivnykh materialov, NP-053-04): RB-039-07. Utverzhdeno postanovleniem Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru, vvedeno v dejstvie s 03.12.2007 [Ensuring Safety in the Transport of

Radioactive Materials (Reference Material to the Safety Rules for Transport of Radioactive Materials, NP-053-04): RB-039-07: approved. by the decree of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision: entered from 03.12.2007]. M., 2005, 336 p. (in Russian)

- [10] Alekseev O.G., Morenko A.I., Shapovalov V.I., Komarov S.V., Ivashkin A.I. Sposob zashchity radioaktivnykh massivnykh грузов ot intensivnykh mekhanicheskikh vozzeystviy. Opisanie izobreteniya k patentu RU 2549364, 2015.

Setting up Spent Nuclear Fuel Shipping Containers in Rocket Sled Track Facility

S.I. Gerasimov^{*,,*1}, R.V. Gerasimova^{**,***2}, V.I. Erofeev^{*3}, K.I. Lyakhov^{**4},
A.V. Melnik^{**5}, I.A. Odzerikho^{**6}, B.A. Yanenko^{**7}**

^{*} Mechanical Engineering Research Institute of Russian Academy of Sciences,
Belinskogo str., 85, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russia 603024

^{**} Sarov Physics and Technical Institute of National Research Nuclear University «MEPHI»,
Duchova str., 6 Sarov, Nizhny Novgorod region, Russia 607186

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

¹ e-mail: s.i.gerasimov@mail.ru ;

² ORCID: 0000-0002-2711-3975

e-mail: r.v.gerasimova@mail.ru ;

³ e-mail: erf04@mts-nn.ru ;

⁴ ORCID: 0000-0002-2711-3975

e-mail : kirigl@mail.ru ;

⁵ ORCID: 0000-0002-7787-7121

e-mail : a.v.melnik@mail.ru ;

⁶ ORCID: 0000-0002-2672-7318

e-mail: odzeriho.irina@yandex.ru ;

⁷ ORCID: 0000-0002-2040-2045

e-mail: Yanenkoba@mail.ru

Abstract – Transport is an integral part of the nuclear fuel cycle. Any event involving nuclear material that could threaten public health and safety or the environment would trigger special procedures providing expert consultation, support, and assistance to state and local responders. The fundamental principle is that the protection comes from the design of the package, regardless of how the material is transported. The choice of air transport for international traffic allows you to remove several of the problems associated with transit countries: there is no need of transit multilateral international agreements, the customs procedures are simplified, the easier the task of providing security significantly reduced the cost of multilateral approval certificates-permissions for package design and transport of SNF and issuance of permits in transit countries. The types of tests that have to withstand packing in normal conditions of transport, are common and do not depend on the mode of transport used. Testing of mockup packaging nuclear flask in conditions simulating aircraft accident (collision with a rigid obstacle with a velocity of 90 m/s) is required to achieve this goal. The paper presents the formulation of this task solution using the capabilities of the rocket track.

Keywords: fuel packing kit, radioactive materials, spent nuclear fuel, air transportation, accident, rocket track.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.791 : 621.039.5

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК ПОСРЕДСТВОМ
ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
И ТЕХНОЛОГИЙ**

© 2017 Е.И. Колоколов^{*}, С.А. Томилин^{**}, В.В. Шишов^{***}

** Общество с ограниченной ответственностью Отдельное конструкторско-технологическое бюро
«Энергомаш», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

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

**** Публичное акционерное общество «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск», Подольск,
Московская обл., Россия*

В работе показано, что существующие технологии, предназначенные для сварки сталей традиционных способов выплавки, не обеспечивают получения характеристик сварных соединений, адекватных уровню конструктивной прочности и технологичности сталей нового поколения. Выявлены причины снижения конструктивной прочности сварных соединений и намечены пути их устранения. Показано, что необходимо разрабатывать сварочные материалы с пониженным содержанием вредных примесей и технологии их применения для сварки изделий особо ответственного назначения с использованием современных инверторных установок с синергетическим управлением. Предложено внесение ряда изменений и дополнений в нормативную документацию.

Ключевые слова: конструктивная прочность, корпусные стали реакторных установок нового поколения, охрупчивание металла шва, сварочные материалы и технологии, инверторные технологии с синергетическим управлением.

Поступила в редакцию: 05.09.2017

Разработанные в нашей стране конструкции реакторов нового поколения (ВВЭР поколения 3+, перспективный реактор ВВЭР-ТОИ) являются естественным развитием предшествующих проектов. В них сохранены преимущества и учтены имевшиеся недоработки в отношении предшествующих реакторов типа ВВЭР, соблюдена преемственность в применяемых материалах и технологиях. В качестве основных конструкционных материалов применены усовершенствованные варианты использованных в предыдущих проектах корпусных сталей, кардинально очищенные от вредных примесей и обладающие значительно улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами [1,2]. Это позволило предложить конструкции корпуса и крышки реактора с уменьшенным количеством кольцевых сварных швов и укрупненными заготовками, что обеспечило снижение материалоемкости и плановых сроков изготовления изделия, а также повышение показателей его надежности и долговечности [3].

Корпусные стали, используемые для реакторных установок нового поколения, обладают значительно более узким интервалом разброса легирующих элементов, низким и нормированным (в пределах тысячных долей процента) содержанием вредных примесей. Технологии выплавки сталей и получение из них заготовок принципиально отличаются от традиционных, поскольку основаны на прямом

получении стали из сверхчистой шихты, минуя доменный процесс, и применение внепечной металлургии. Разработанная технология укрупнения и разливки слитков позволяет получать крупногабаритные поковки для изготовления обечаек и днищ с различными параметрами. Внедрены в производство, основанные на использовании эффекта повышения пластичности при горячей деформации материалов нового поколения, технологииковки и штамповки по всей номенклатуре заготовок корпусов реакторов, парогенераторов и ряда других изделий [3].

Технология основной термической обработки заготовок корпусных изделий из сталей нового поколения позволяет получать требуемые конструкционные свойства. Так, например, материал длинномерных заготовок обечаек из стали 15X2НМФА (класс 1), расположенных напротив активной зоны корпуса реактора, после термообработки позволяет получить величину критической температуры хрупкости ($T_{ко}$) в пределах от -90 до -70°C . Таким образом, после проведения послесварочных отпусков обеспечиваются все требуемые в эксплуатации свойства основного металла [1].

Слабым местом в повышении надежности и ресурса корпусного оборудования реакторных установок нового поколения являются используемые в настоящее время сварочные материалы и технологии [4], которые уже не позволяют получать сварные соединения, адекватные основному металлу по конструктивной прочности. В связи с этим, особую значимость приобретают вопросы разработки и совершенствования технологических процессов сварки на основе применения новых сварочных материалов при производстве реакторного оборудования, направленные на обеспечение конструктивной прочности сварных соединений.

Ведущей материаловедческой организацией АО «НПО «ЦНИИТМАШ» (далее – ЦНИИТМАШ), входящей в состав машиностроительного дивизиона ГК «Росатом», уже разработана программа реализации технологических и организационных мер, направленных на модернизацию производства плавящихся флюсов. Необходимо отметить, что оборудование и технологии их изготовления в нашей стране до сих пор находятся на уровне 1980-х годов. Предлагается также переход на производство отечественных керамических флюсов [3]. Важность данной модернизации и требования ее оперативной реализации обусловлены еще и тем, что предприятия ГК «Росатом» не могут без проведения исследовательской аттестации и оформления соответствующего решения использовать для изготовления атомных энергетических установок сварочные материалы иностранного производства, поскольку согласно требованиям нормативной документации [4, 5] они не входят в перечень материалов, допущенных к применению. При этом проведение указанных мероприятий требует значительных материальных и временных затрат.

В настоящее время согласно требованиям ПНАЭ Г-7-009-89 [4] при автоматической сварке под слоем флюса (АСФ) сталей 15X2НМФА и 15X2НМФАА допускается сварка проволокой св-12X2Н2МА, св-12X2Н2МАА, св-12X2Н2МАА-ВИ под флюсом ФЦ-16 (ФЦ-16А, НФ-18М, КФ-30) в различных сочетаниях или проволокой св-09ХГНМТА, св-09ХГНМТАА-ВИ под флюсом НФ-18М. Следует обратить внимание на большой разброс вариантов применения сварочных материалов. Это означает, что единства точек зрения специалистов в отношении сварки этих сталей до сих пор не достигнуто. Для стали 10ГН2МФА тем же документом допускается применение только проволоки св-10ГНМА (или св-10ГН1МА) в сочетании с флюсом ФЦ-16.

Работы по совершенствованию сварочных материалов и технологий ведутся. Так, специалистами ЦНИИТМАШ реализованы мероприятия по ограничению содержания кремния, марганца и азота для проволок типа 12X2Н2МА-А, позволяющие корректировать значения $T_{ко}$ в пределах от -10 до -50°C , путем регулирования

совместной равновесной концентрации этих элементов при сварке под плавленным флюсом [3]. Требования к содержанию указанных элементов в этой проволоке установлены в ТУ 2730.09.033-2012. Новые сварочные материалы и технологии для сварки корпусных материалов разрабатываются и специалистами НИЦ «Курчатовский институт – ЦНИИ КМ «Прометей» (далее – ЦНИИ КМ «Прометей») [6] на базе титаносодержащей проволоки типа св-09ХГНМТА и флюса НФ-18М. Тем не менее, несмотря на принимаемые меры, стабильность характеристик конструктивной прочности сварных соединений, отражаемая результатами испытаний на ударную вязкость, которые необходимы для оценки $T_{ко}$, пока не достигнута.

Рассмотрим более подробно, что происходит при испытаниях на ударную вязкость в интервале вязко-хрупкого перехода. Обычно при таких испытаниях, характеризующих способность основного металла и сварных соединений сопротивляться хрупкому разрушению при понижении температуры, фрактографические признаки разрушения закономерно меняются от вязкого ямочного излома (рис. 1, а) к сколу (квазисколу) по плоскостям спайности (рис. 1, б), а величина ударной вязкости (KCV) снижается (рис. 2). Однако, при испытаниях некоторых проб, сваренных в заводских условиях, выявляются отклонения в строении излома и характере снижения KCV. Наряду со сколом в верхней части интервала вязко-хрупкого перехода в зоне макроскопически хрупкого излома появляются участки межзеренного (рис. 1, в) и междендритного (рис. 1, г) хрупкого разрушения. На рисунке 1, д представлен характерный вид смешанного разрушения в зоне макроскопически хрупкого излома (квазискол и междендритное разрушение). Происходит расширение интервала вязко-хрупкого перехода в сторону положительных температур за счет появления участков междендритного разрушения в зоне вязкого излома (рис. 1, е), сопровождающееся снижением общего уровня ударной вязкости [7,8].

Известно, что хрупкое межзеренное разрушение улучшенных сталей связано с сегрегациями фосфора на границах предшествующего аустенитного зерна [9] и скоплениями на границах первичных зерен примесей меди, кобальта и тяжелых легкоплавких металлов, не удаляемых при выплавке (олово, сурьма, мышьяк, висмут, свинец) [3,8]. Указанные закономерности распространяются в полной мере и на металл сварных соединений [9,10]. При сварке в заводских условиях не всегда обеспечивается очистка металла сварных швов от содержания вредных примесей, что приводит к появлению в изломе при испытаниях участков хрупкого межзеренного и междендритного разрушения. Это резко усиливает эффект охрупчивания швов в процессе эксплуатации при радиационном, тепловом или коррозионном воздействии, а также склонность к проявлению обратимой отпускной хрупкости, которые характеризуются разрушением по границам предшествующего аустенитного зерна [8,9]. Такое разрушение появляется в металле в процессе эксплуатации даже в тех случаях, когда при испытаниях после изготовления оно отсутствует [10]. Таким образом, появление в изломах сварных соединений при заводских испытаниях участков хрупкого межзеренного или междендритного разрушения означает, что полученный металл шва уже обладает повышенной склонностью к вышеуказанным видам эксплуатационной повреждаемости. Предупреждение и устранение этих неблагоприятных факторов является важной и непростой задачей.

Рассмотрим три возможных решения, направленных на повышение конструктивной прочности путем уменьшения неблагоприятного влияния межзеренного разрушения:

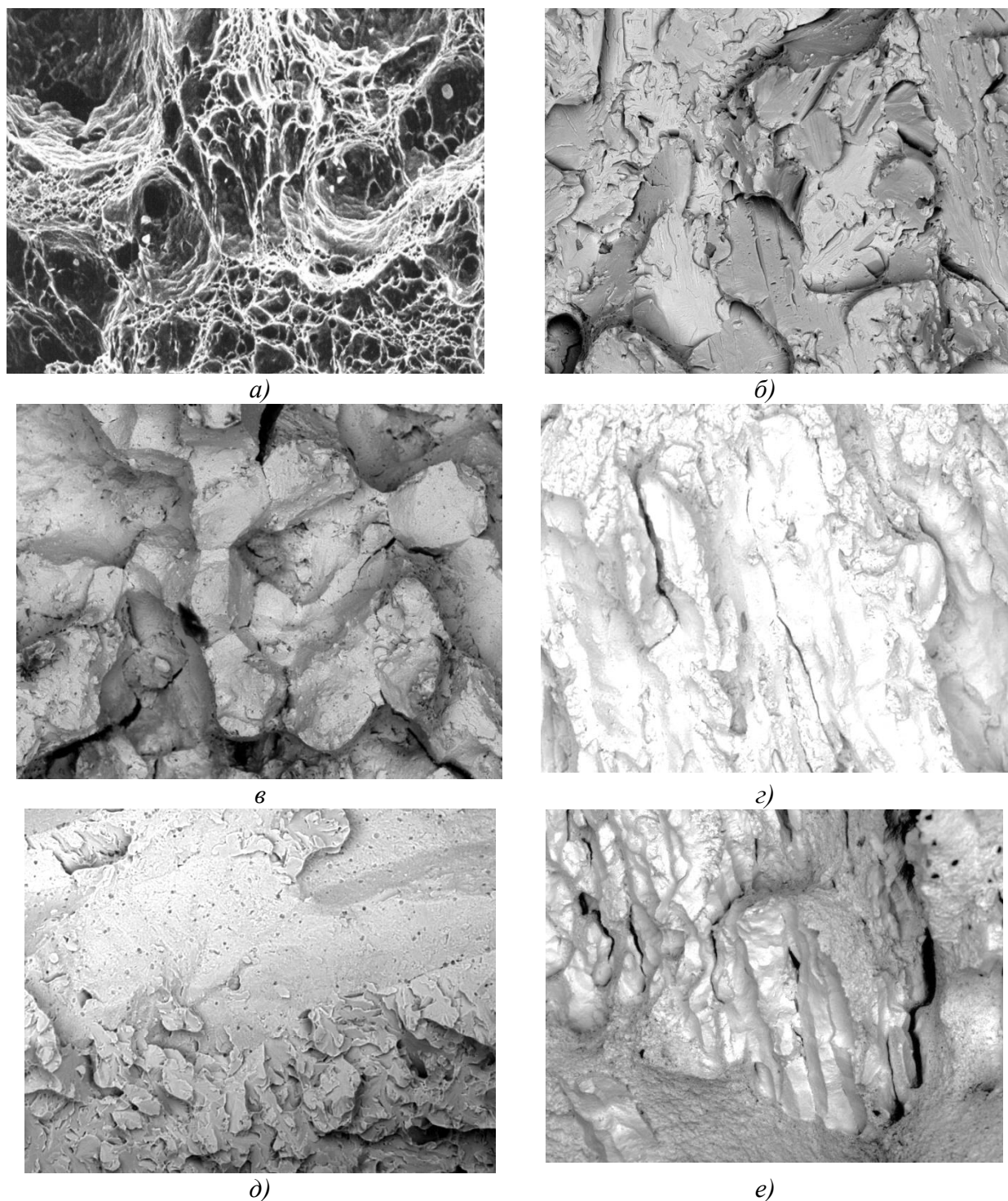


Рис. 1. – Микрофрактография (РЭМ) разрушения контрольных проб сварных швов стали 15X2НМФА: *а* – вязкое ямочное разрушение (x1200); *б* – квазискл в зоне макроскопически хрупкого разрушения (x200); *в* – межзеренное хрупкое разрушение в зоне макроскопически хрупкого разрушения (участок перекристаллизации) (x400); *г* – междендритное разрушение в зоне макроскопически хрупкого разрушения (x120); *д* – смешанное разрушение в зоне макроскопически хрупкого разрушения (междендритное вверху, квазискл – внизу) (x400); *е* – смешанное разрушение в зоне вязкого разрушения (междендритное слева и в центре, ямочное – внизу и справа) (x40).

1. Селективный отбор сварочных материалов – самое очевидное, на первый взгляд, решение – нереализуемо из-за отсутствия широкого выбора нужных плавок, сертификатных данных по чистоте примесей, а также фактическим отсутствием на заводах оборудования, обеспечивающего проведение надежного контроля содержания

примесей (метод атомно-абсорбционной спектроскопии). Последнее обусловлено отсутствием нормативных требований по их контролю в заводских условиях [11].

2. Использование сверхчистой сварочной проволоки, полученной по технологии, применяемой при выплавке сталей нового поколения, и чистого керамического флюса, а также разработка соответствующей технологии сварки – это решение сегодня не реализуемо из-за отсутствия в настоящее время таких материалов и технологий. Следует отметить, что эти технологии должны обеспечить не только получение бездефектного сварного соединения, но и исключить загрязнение металла шва, вызывающие появление междендритного разрушения.

3. Получение мелкозернистой первичной микроструктуры металла шва. В этом случае вредные примеси более равномерно распределяются по границам первичных зерен, снижая, таким образом, склонность к хрупкому разрушению. Уменьшить размеры столбчатых дендритов можно модифицированием, например, путем введения в сварочную ванну наночастиц оксидов титана или циркония [12,13], а также регулированием процесса кристаллизации, осуществляемом при малом тепловложении. Последнее можно реализовать, если использовать в полной мере возможности инверторных источников питания с синергетическим управлением [14].

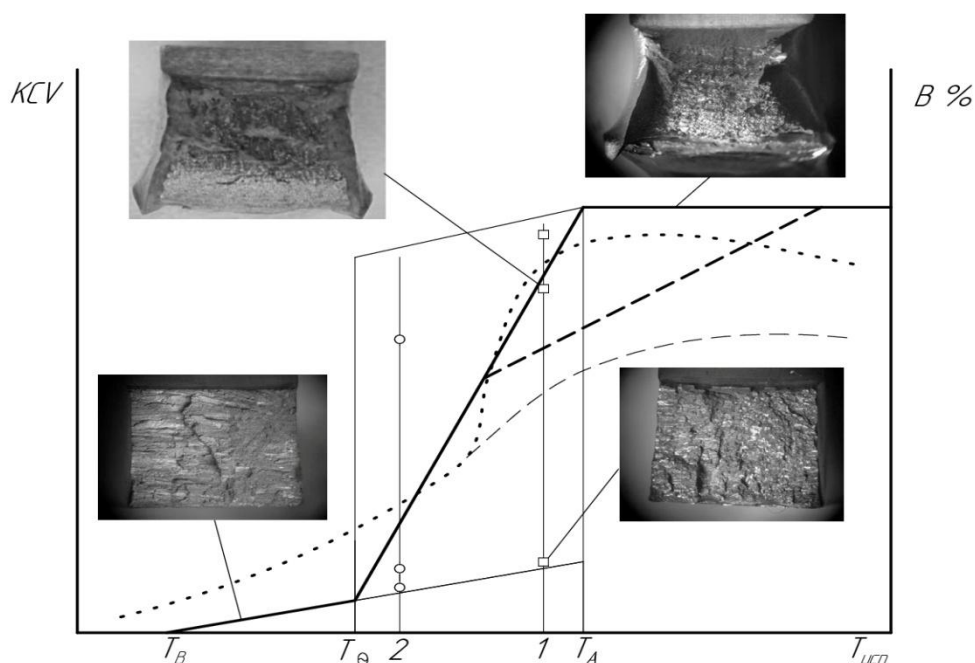


Рис. 2. – Схема вязко-хрупкого перехода металла сварных швов при испытаниях на ударную вязкость: KCV – ударная вязкость; B – доля вязкой составляющей в изломе (T_A и T_B – верхняя и нижняя границы интервала вязко-хрупкого перехода); $T_\theta - T_B$ – температурный интервал полосы разброса значений KCV и B [7]. Толстые сплошные линии – изменение значений B при переходе от разрушения сколом (квазисколом) к вязкому ямочному; толстая прерывистая линия – расширение области изменения значений B в сторону положительных температур при появлении межзеренного и междендритного излома. Пунктирная линия – температурное изменение значений KCV при переходе от разрушения сколом к вязкому ямочному; тонкая штриховая линия – изменение значений KCV при появлении межзеренного и междендритного излома. Нижнее фото слева – полностью хрупкий излом в районе температуры T_B ; верхнее фото справа – полностью вязкий излом выше температуры T_A ; фото справа внизу – характер излома при 10% вязкой составляющей (температура (1)); фото слева вверху – характер излома при 80% вязкой составляющей (температура (1)). Для сталей традиционных способов выплавки величины KCV и B в верхней части полосы разброса (температура (1)) группируются в области высоких значений (обозначены квадратиками), а в нижней части полосы разброса (температура (2)) они группируются в области низких значений (обозначены кружочками). Для чистых по примесям сталей и сварных швов полоса разброса отсутствует; в них значения KCV и B резко увеличиваются до максимума в районе температуры T_θ .

Существует еще одна проблема, связанная с неожиданным хрупким разрушением, когда из трех образцов, испытанных при одной и той же температуре, два показывают высокую ударную вязкость, а третий – нулевую (рис. 2), без каких-либо признаков пластической деформации или наличия дефекта в области надреза. Такое явление, обуславливающее широкую полосу разброса значений ударной вязкости в конструкционных сталях, известно давно [15]. Для металла шва, по мнению авторов настоящей работы, такой «выпад» связан с появлением свободного азота в ферритной матрице при понижении температуры ниже A_{c1} . Известно [16], что в металле низколегированных сталей это приводит к твердорастворному упрочнению ферритной матрицы и ее дисперсионному твердению. В обоих случаях происходит локальное повышение уровня внутренних напряжений. При испытаниях на ударную вязкость это приводит к неожиданному возникновению хрупкого разрушения сколом по плоскостям спайности (рис. 1, б).

Азот появляется в закристаллизованном металле при недостаточной защите шва от атмосферы воздуха. При этом его количество при дуговом процессе заметно выше, чем при лазерной, электронно-лучевой или электрошлаковой сварке вследствие наличия в дуге ионов азота, поглощаемых сварочной проволокой [17]. При использовании проволоки св-12Х2Н2МА (в которой нет сильных нитридообразователей) нитриды, которые могли бы связать растворенный азот при полиморфном превращении вследствие того, что в аустените его растворимость значительно выше, чем в феррите [16,17], не образуются. При кристаллизации материала сварочной ванны у линии сплавления вклад основного металла – стали 15Х2НМФА – также не обеспечивает образования нитридов, так как ванадий по расчету связан углеродом и его недостаточно для связывания азота.

Устранения охрупчивания металла шва, связанного с появлением свободного азота, можно достичь, регулируя при сварке содержание таких сильных нитридообразователей, как алюминий и титан, которые в настоящее время применяются, в основном, для раскисления металла шва [17,18]. От возможности связывания этих элементов с азотом, в основном и зависит степень охрупчивания сварных соединений [16,19,20]. ЦНИИ КМ «Прометей» рекомендует для АСФ титаносодержащую проволоку типа св-09ХГНМТА в сочетании с флюсом НФ-18М [6], что в принципе, может выправить ситуацию. Тем не менее, методы, с помощью которых можно решить проблему охрупчивания, связанную с наличием в металле шва азота, до сих пор не разработаны. Согласно нормативной документации содержание азота в сварных швах вообще не контролируется, алюминия и титана – не всегда. При таком подходе говорить о стабильных показателях по сопротивлению хрупкому разрушению металла сварных швов, равноценному имеющемуся у соответствующих сталей нового поколения, не приходится. По мнению авторов настоящей работы, решать эту проблему необходимо в комплексе [21]:

а) для сварки особо ответственных изделий использовать только сверхчистую сварочную проволоку, полученную с использованием технологий внепечной металлургии;

б) при сварке наиболее ответственных швов использовать не плавленный, а только керамический флюс контролируемого состава, чистый от вредных примесей;

в) в полной мере использовать технологические возможности современных сварочных установок на основе источников питания с синергетическим управлением, которые позволяют изменять характер металлургических процессов при сварке регулированием тепловложения при мелкокапельном переносе.

Сущность синергетического управления, осуществляемого на основе цифровых процессоров, заключается в организации импульсного режима переноса капли через

дугу. Основная проблема, связанная с этим процессом, – инициировать один импульс тока для расплавления одной капли. При разных материалах, толщинах заготовок, диаметрах проволоки и т.д. величина импульса должна быть различной. Поэтому, необходимо тщательно просчитывать режимы по уравнениям ввода тепла при сварке [14,22]. Изменяя тепловложение с помощью синергетического управления, можно организовать мелкокапельный, крупнокапельный и струйный перенос металла в сварочную ванну через дугу. Регулированием тепловложения можно изменить и характер металлургических реакций при сварке, которые влияют на содержание химических элементов, в том числе азота, алюминия и титана в металле сварочной ванны и шва.

Так как все параметры процесса сварки, определяющие величину тепловложения при использовании инверторных источников, являются управляемыми, режимы сварки можно регулировать, изменяя всего лишь один параметр [22,23]. При этом остальные – немедленно отреагируют на это изменение, в результате чего вся совокупность характеристик обеспечивает переход на новый режим. Современные инверторные аппараты с синергетическим управлением позволяют осуществлять сварку ответственных изделий со стабильными и высокими требованиями к качеству при высочайшей производительности и меньшей зависимости от квалификации сварщика. Наиболее широко синергетические инверторные аппараты используются для сварки штучным электродом, методами аргонно-дуговой и полуавтоматической сварки. В последнее время появилось инверторное оборудование и для АСФ.

Специалистами Fronius International возможности синергетического управления расширены еще более. Ими предложен метод СМТ (Cold Metal Transfer – холодный перенос металла), согласно которому регулируется процесс движения проволоки с помощью цифровой автоматики [23,24]. Пока дуга горит, проволока движется вперед, но система мгновенно реагирует на короткое замыкание, вызывая быстрое отведение проволоки и сокращая время подвода тепла в сварной шов. Такой процесс действует автоматически до 70 раз в секунду. В результате средняя температура процесса становится более низкой, чем при обычной сварке. Таким образом, имеет место сварка с пониженным тепловложением, контролируемые процессами короткого замыкания, отделения металла от электрода и его передачи в ванну по капле. Процесс переноса металла отличается полным отсутствием брызг и стабильным горением дуги даже для трудносвариваемых материалов. Возможно также сочетание процесса СМТ со сваркой импульсной дугой, что объединяет их преимущества.

Еще одна важная область применения СМТ процесса – возможность его использования при нанесении антикоррозионных покрытий. При наплавке существует очень существенное ограничение по содержанию δ -феррита, которое не должно быть выше 8% согласно требованиям правил контроля сварных соединений ПНАЭ Г-7-010-89 [11]. Это требование обусловлено резким снижением пластичности и охрупчиванием наплавленного слоя в результате «сигматизации» δ -феррита. Так как при СМТ-процессе тепловложение понижено, снижается и степень перемешивания наплавляемого металла с основным, а следовательно, и содержание δ -феррита, что позволяет резко сократить объем наплавленного слоя [24]. Сходный эффект дает и применение электрошлакового процесса, внедряемого специалистами ЦНИИТМАШ [3].

Широкие перспективы в развитии технологий сварки связаны с использованием порошковой сварочной проволоки, особенно при сварке с помощью инверторных аппаратов с синергетическим управлением. На современном этапе эту технологию активно используют и при многопроходной сварке. Основное ее преимущество – возможность дополнительного регулирования металлургических процессов

изменением формы и соотношения металлической основы и наполнителя, а также состава последнего [25]. По этой же причине порошковую проволоку применяют даже при АСФ [14]. Через порошковую проволоку удобно осуществлять модифицирование металла шва наночастицами оксидов тугоплавких металлов для измельчения первичного зерна [13], что особенно актуально именно при АСФ, для которой характерно повышенное тепловложение, а соответственно и больший размер дендритов. Для сварки корневых валиков, в которых наиболее часто возникают проблемы с качеством, можно внедрять автоматическую сварку в среде защитных газов порошковой проволокой.

Еще более расширяет возможности сварки применение гибридных технологий, позволяющих дополнять дуговой процесс лазерным источником теплоты, непосредственно вводимой в металлическую ванну, что в отличие от АСФ дает возможность регулировать в широких пределах ее температуру (а, следовательно, и характер металлургических процессов), объем и глубину проплавления [26,27]. Такая гибридная технология позволяет создать конкуренцию (а в ряде случаев и преимущество) АСФ. Синергетический эффект гибридной сварки связан с изменением теплового режима сварки, в результате чего растет объем переплавленного металла, глубина проплавления и скорость сварки при пониженном тепловложении. Пятно дуги «привязывается» к месту действия лазерного излучения, дуга сжимается в пределах факела лазерной плазмы, устраняя эффект блуждания анодного пятна [27]. Использование при гибридной сварке порошковой проволоки еще более расширяет возможности ее влияния на металлургические процессы [28].

Следует иметь в виду, что внедрение новых технологий ограничено требованиями ПНАЭ Г-7-009-89 [4], согласно которым вышеуказанные сварочные материалы, технологии и оборудование не предусмотрены к применению в процессе изготовления элементов атомных энергетических установок. Вместе с тем, в новой редакции правил устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок – НП-089-15 [5] сохранилась процедура внедрения новых материалов и технологий, предусматривающая проведение аттестационных исследований, согласованных с головной материаловедческой организацией, что позволяет решить данное затруднение. В разрабатываемой в настоящее время новой редакции основных положений по сварке и наплавке (взамен [4]), по мнению авторов работы, целесообразно предусмотреть пункт о возможности использования порошковых проволок и гибридных технологий после проведения соответствующих аттестационных исследований. Это позволит решить вышеуказанную проблему и обеспечить применение рассмотренных в данной работе предложений в практику работ по изготовлению оборудования атомных энергетических установок. Также в разрабатываемой в настоящее время новой редакции правил контроля сварных соединений (вместо [11]) целесообразно включить пункт о контроле содержания алюминия, титана и азота в сварных швах наиболее ответственных изделий. Это существенным образом повысит как технологическую дисциплину при сварке, так и уровень качества сварных соединений. Желательно осуществление и факультативного контроля вида излома при испытаниях на ударный изгиб для выявления случаев появления межзеренного и междендритного хрупкого разрушения, влияющих на степень охрупчивания швов в процессе эксплуатации. Инициатором во всех вышеперечисленных инновационных процессах должны выступать головные материаловедческие организации (ЦНИИТМАШ, ЦНИИ КМ «Прометей», АО «НИКИМТ-Атомстрой» и др.) с возможностью расширения справочника примененных материалов и способов сварки (наплавки) при изготовлении оборудования атомных энергетических установок.

Ведущим предприятием ГК «Росатом» по изготовления оборудования атомных энергетических установок является Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск (далее – завод «Атоммаш»). На этом предприятии с 1980-х годов существовал свой цех флюсов и электродов, который совместно с технологическими службами завода позволял оперативно осуществлять мероприятия по обеспечению требований к качеству. Попытки возродить это производство уже предпринимались, но пока не привели к успеху. По мнению авторов работы, необходимо вернуться к данному вопросу и более тщательно рассмотреть целесообразность создания такого производства в соответствии с современными требованиями в области сварочных технологий. Локализация такого производства именно в г. Волгодонске обусловлена:

- накоплением на его производственных предприятиях большого опыта изготовления сварочных материалов (здесь, в частности, имеются несколько предприятий по изготовлению сварочных электродов);
- широким использованием современных сварочных технологий как на заводе «Атоммаш», так и других машиностроительных предприятиях города, осуществляющих выпуск продукции для атомной отрасли;
- наличием научного и образовательного центра (Волгодонского инженерно-технического института – филиала НИЯУ МИФИ), осуществляющего исследования и разработки в рассматриваемом направлении, а также подготовку бакалавров и магистров в области оборудования и технологии сварочного производства в энергетическом машиностроении.

Создание в г. Волгодонске при участии ведущей материаловедческой организации ЦНИИТМАШ современного производства сварочных материалов, на базе малой металлургии с использованием внепечных технологий и прокатки, позволило бы получать сверхчистые металлическую и порошковую сварочные проволоки, а также чистый керамический флюс. Это во многом способствовало бы решению как обозначенных в данной работе, так и других, сопутствующих задач, в том числе такую актуальную для атомной отрасли, как импортозамещение (а в определенной степени и импортоопережение) в области сварочных материалов. Именно в рамках ГК «Росатом» осуществление такой программы видится реальным, эффективным и своевременным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанные в последние годы стали нового поколения, чистые по содержанию вредных примесей (в пределах тысячных долей процента) и обладающие улучшенными технологическими свойствами и конструктивной прочностью, но в то же время, высокой стоимостью и специальными требованиями при выполнении сварочных работ, следует применять для особо ответственных изделий, работающих при повышенных или низких температурах, требующих стабильности свойств, сопротивления радиационному и коррозионному воздействию.

2. Для сварки сталей нового поколения необходима разработка новых сварочных материалов (металлической и порошковой сварочных проволок, керамического флюса), очищенных от вредных примесей в соответствии с технологиями, адекватными уровню, применяемому при производстве этих сталей.

3. Технологии сварки сталей нового поколения должны обеспечивать стабильность свойств сварных соединений и отсутствие загрязнения металла швов азотом и другими вредными примесями, влияющими на степень его охрупчивания. Для обеспечения этого требования необходимо применение лабораторного оборудования для прецизионного контроля содержания примесей в металле.

4. Для обеспечения стабильности и высокого уровня технологичности сварных

соединений и повышения уровня их эксплуатационных свойств необходимо дооснащение предприятий современным сварочным оборудованием на основе инверторных и гибридных технологий с синергетическим управлением, а также использование в полной мере его технических возможностей, что требует соответствующей технической переподготовки персонала.

5. Необходимо рассмотреть возможность создания в г. Волгодонске в рамках ГК «Росатом» с участием в этом проекте ведущей материаловедческой организации ЦНИИТМАШ производства современных сварочных материалов с использованием чистой шихты на базе технологий внепечной металлургии и возможностью использования технологий прокатки. Это позволит получать сверхчистую сварочную проволоку, чистый керамический флюс и чистую порошковую проволоку для выполнения производственных программ подразделений корпорации и решения проблем импортозамещения.

6. Для реализации высказанных в работе предложений необходимо проведение научно-исследовательских работ с аттестацией внедряемых в производство оборудования атомных энергетических установок материалов и технологий в соответствии с требованиями НП-089-15 и других нормативных документов, а в дальнейшем – внесение поправок и предложений в разрабатываемую нормативную документацию по сварке и наплавке, в том числе правила контроля сварных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков, С.И., и др. Сталь марок 15X2НМФА, 15X2НМФА-А и 15X2НМФА (класс 1) для корпуса реактора проекта ВВЭР-ТОИ [Текст] / С.И. Марков, В.А. Дурьнин, В.А. Мохов // Тяжелое машиностроение. – 2013. – №3. – С. 2–6.
2. Дуб, А.В. Развитие основных конструкционных материалов для изготовления реакторов ВВЭР [Электронный ресурс] / А.В. Дуб // Материалы Восьмой международной НТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». ОКБ Гидропресс, 28-31 мая 2013 г. – Режим доступа: URL: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/publication/.../49pdf> – 25.08.2017.
3. Дуб, А.В. Прогресс на поле технологий. Комплексный компетентный подход и своевременная смена приоритетов в развитии материаловедения [Текст] / А.В. Дуб // РЭА. – 2012. – №1. – С. 22–27.
4. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения. ПНАЭ Г 7-009-89. Нормативный документ [Текст]. – М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000. – 189 с.
5. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (НП-089-15) [Текст]. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2016. – 71 с.
6. Разработка и усовершенствование сварочных материалов для сварки и наплавки корпусов оборудования АЭУ [Электронный ресурс]. ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», 2009. – Режим доступа: URL: <http://www.crim-prometey.ru> – 25.08.2017.
7. Колоколов, Е.И. Исследование особенностей разрушения конструкционных сталей в интервале вязко-хрупкого перехода при различных условиях разрушения: автореф. дисс. ... канд. техн. наук [Текст] / Е.И. Колоколов, 1979. – 26 с.
8. Чернобаева, А.А. и др. Вклад зернограницного разрушения в изменение критической температуры хрупкости стали 15X2НМФА и ее сварных соединений [Текст] / А.А. Чернобаева, С.В. Скородумов и др. // МиТОМ. – 2011. – №8. – С. 27–34.
9. Утевский, Л.М. и др. Обратимая отпускная хрупкость стали и сплавов железа [Текст] / Л.М. Утевский, Е.Э. Гликман, Г.С. Карк. – М.: Металлургия, 1987. – 222 с.
10. Юрченко, Е.В. Исследование и прогнозирование радиационного и теплового охрупчивания материалов эксплуатируемых и перспективных корпусов реакторов ВВЭР: автореф. дисс. ... канд. техн. наук [Текст] / Е.В. Юрченко, 2015. – 28 с.
11. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавка. Правила контроля. ПНАЭ Г7-010-89. Нормативный документ [Текст]. – М.: НТЦ ЯРБ, 2000. – 164 с.

12. Кузнецов, В.Д. и др. Влияние нанодобавок на структуру и свойства металла швов при сварке высокопрочных низколегированных сталей [Текст] / В.Д. Кузнецов, И.В. Смирнов, К.П. Шаповалов // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2013. – Вып. 1,2(46). – С. 143–150.
13. Костин, В.А. и др. Модифицирование структуры сварных швов высокопрочных низколегированных сталей наночастицами тугоплавких металлов [Текст] / В.А. Костин, Г.М. Григоренко, В.В. Жуков // Строительство, материаловедение, машиностроение: Стародубовские чтения. – 2016. – С. 93–98.
14. Лебедев, В.А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла [Текст] / В.А. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2010. – №10. – С. 45–53.
15. Мешков, Ю.Я. и др. Структура металла и хрупкость стальных изделий. [Текст] / Ю.Я. Мешков, Г.А. Пахаренко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 268 с.
16. Гривняк, И. Свариваемость сталей [Текст] / И. Гривняк. Пер. со словац. Л.С. Гончаренко; Под ред. Э.Л. Макарова. – М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.
17. Кошкарёв, Б.Т. Теория сварочных процессов [Текст] / Б.Т. Кошкарёв. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2003. – 217 с.
18. Петров, Г.Л. и др. Теория сварочных процессов [Текст] / Г.Л. Петров, А.С. Тумарев. – М.: Высшая школа, 1977. – 392 с.
19. Узлов, И.Г. и др. Новые научные положения и технологические решения по созданию высокопрочных конструкционных микрелегированных сталей широкого применения [Текст] / И.Г. Узлов и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 18. – С. 164–174.
20. Взаимодействие металла с газами. Азот в металле сварных швов [Электронный ресурс]. [Б.м., б.г.]. – Режим доступа: URL: <http://www.tehnoarticles.ru/svarkaporoshok/index.html> – 25.09.2017.
21. Колоколов, Е.И. и др. Задачи совершенствования сварочных материалов и технологий при производстве реакторов нового поколения / Е.И. Колоколов, С.А. Томилин, В.В. Шишов // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс] : тез. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф., 31 мая – 2 июня 2017 г. – Волгодонск: [Б.и.], 2017.
22. Мальков, С. Современные сварочные инверторы [Электронный ресурс] / С. Мальков // Силовая электроника. – 2011. – №2. – С. 76–77. – Режим доступа: URL: http://www.power-e.ru/2011_2_76.php – 25.09.2017.
23. STT-перенос металла (перенос металла поверхностным натяжением) [Электронный ресурс]. [Б.м., б.г.]. – Режим доступа: URL: <http://svarka-24.info/stt-perenos-metalla-perenos-metalla-poverxnos.../> – 25.09.2017.
24. Процесс холодной сварки-СМТ. [Электронный ресурс]. [Б.м., б.г.]. – Режим доступа: URL: <http://www.rtkom-electro.ro/process-xolodnoj-svarki-smt/>
25. Сварка плавящимся металлическим электродом в защитных газах (MIG/MAG) и сварка порошковой проволокой. [Электронный ресурс]. [Б.м., б.г.]. – Режим доступа: URL: <http://weldering.com/svarka-plavyashchimsya-metallicheskim-elektrodom-zashchitnyh-gazah-migmag-svarka-poroshkovoy> – 25.09.2017.
26. Туричин, Г.А. и др. Перспективы внедрения лазерно-дугового процесса для сварки металла больших толщин [Электронный ресурс] / Г.А. Туричин, И.А. Цибульский, М.В. Кузнецов, В.В. Сомонов // РИТМ. – 2010. – №10(58). – С. 32–35. – Режим доступа: URL: <http://www.ritm-magazine.ru/ru/magazines/2010/ritm-10-58-2010#page-3233> – 25.09.2017.
27. Специальные методы сварки и пайки [Текст] / Под. Ред. В.А. Фролова. – М.: АЛЬФА-М.; ИНФРА-М. 2013. – 224 с.
28. Гюк, С.Э. и др. Гибридная лазерно-дуговая сварка высокопрочных трубных сталей классов прочности API X80 X120 28. [Текст] / С.Э. Гюк, А.В. Гуменюк, М. Ретмайер // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – №1(22). – С. 21–35.

REFERENCES

- [1] Markov S.I., Durnin V.A., Mokhov V.A. Stal marok 15Kh2NMFA, 15Kh2NMFA-A i 15Kh2NMFA (klass 1) dlja korpusa reaktora proekta VVEhR-TOI [Steel Grades 15X2NMFA, 15X2NMFA-A and 15X2NMFA (class 1) for the Reactor Vessel of the PWR-TOI Project]. Tjazheloe mashinostroenie [Heavy Engineering], 2013, №3, pp. 2–6. (in Russian)
- [2] Dub A.V. Razvitie osnovnykh konstrukcionnykh materialov dlja izgotovlenija reaktorov VVEhR [перевод]. Materialy Vos'mojj mezhdunarodnoj NTK «Obespechenie bezopasnosti AEhS s VVEhR». OKB Gidropress, 28–31 maja 2013 g. [Development of the Main Structural Materials

- for the Manufacture of PWR Reactors // Proceedings of the Eighth International STC "Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants with PWR". OKB Hydropress, May 28-31, 2013] Available at: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/publication/.../49pdf> (in Russian)
- [3] Dub A.V. Progress na pole tekhnologijj. Kompleksnyj kompetentnyj podkhod i svoevremennaja smena prioritetov v razvitii materialovedenija [Progress in the Field of Technology. Comprehensive Competent Approach and Timely Change of Priorities in the Development of Materials Science]. REA, 2012, № 1, pp. 22–27. (in Russian)
 - [4] Oborudovanie i truboprovody atomnykh ehnergeticheskikh ustanovok. Svarka i naplavka. Osnovnye polozenija. PNAEh G 7-009-89. Normativnyj document [Equipment and Pipelines of Nuclear Power Plants. Welding and Surfacing. Basic Provisions. PNAE G 7-009-89. Normative document]. M. Pub. NTC JaRB Gosatomnadzora Rossii, 2000, 189 p. (in Russian)
 - [5] Pravila ustrojstva i bezopasnoj ehkspluatacii oborudovanija i truboprovodov atomnykh ehnergeticheskikh ustanovok (NP-089-15) [Rules for the Arrangement and Safe Operation of Equipment and Pipelines of Nuclear Power Plants (NP-089-15)]. M. Pub. Federalnaja sluzhba po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision], 2016, 71 p. (in Russian)
 - [6] Razrabotka i usovershenstvovanie svarochnykh materialov dlja svarki i naplavki korpusov oborudovanija AEhU. FGUP CNII KM «Prometej» [Development and Improvement of Welding Materials for Welding and Surfacing of Hulls of NPP Equipment. FSUE CRI KM "Prometey"], 2009. Available at: <http://www.crism-prometey.ru> (in Russian)
 - [7] Kolokolov E.I. Issledovanie osobennostej razrushenija konstrukcionnykh stalej v intervale vjazko-khrupkogo perekhoda pri razlichnykh uslovijakh razrushenija [Investigation of the Structural Steel Structural Failure in the Viscous-Brittle Transition Interval under Various Failure Conditions]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenojj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Thesis Abstract of PhD in Engineering]. 1979, 26 p. (in Russian)
 - [8] Chernobaeva A.A., Skorodumov S.V. etc. Vklad zernogranichnogo razrushenija v izmenenie kriticheskoy temperatury khrupkosti stali 15Kh2NMFA i ee svarnykh soedinenij [Contribution of Grain Boundary Damage to the Change in the Critical Temperature of Brittleness of 15X2HMΦA Steel and its Welded Joints]. MiTOM, 2011, №8, pp. 27–34. (in Russian)
 - [9] Utevskij L.M., Glikman E.Eh., Kark G.S. Obratimaja otpusknaja khrupkost' stali i splavov zheleza [Reversible Temper Brittleness of Steel and Iron Alloys]. M. Pub. Metallurgija, 1987, 222 p. (in Russian)
 - [10] Jurchenko E.V. Issledovanie i prognozirovanie radiacionnogo i teplovogo okhrupchivanija materialov ehkspluatiruemykh i perspektivnykh korpusov reaktorov VVEhR [Investigation and Prediction of Radiation and Thermal Embrittlement of the PWR Reactor Materials Used and Promising for the Reactors]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenojj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Thesis Abstract of PhD in Engineering]. 2015, 28 p. (in Russian)
 - [11] Oborudovanie i truboprovody atomnykh ehnergeticheskikh ustanovok. Svarnye soedinenija i naplavka. Pravila kontrolja. PNAEh G7-010-89. Normativnyj document [Equipment and Pipelines of Nuclear Power Plants. Welded Joints and Surfacing. Rules of Control. PNAE G7-010-89. Normative document]. M. Pub. NTC JaRB, 2000, 164 p. (in Russian)
 - [12] Kuznecov V.D., Smirnov I.V., Shapovalov K.P. Vlijanie nanodobavok na strukturu i svojstva metalla shvov pri svarke vysokoprochnykh nizkolegirovannykh stalej [Effect of Nanoadditives on the Structure and Properties of Weld Metal in the Welding of High-Strength Low-Alloy Steels]. Progresivni tekhnologii i sistemi mashinobuduvannja [Progressive Technologies and Systems of Mechanical Engineering], 2013, Vol. 1,2(46), pp. 143–150. (in Russian)
 - [13] Kostin V.A., Grigorenko G.M., Zhukov V.V. Modificirovanie struktury svarnykh shvov vysokoprochnykh nizkolegirovannykh stalej nanochasticami tugoplavkikh metallov. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: Starodubovskie chtenija [Modification of Welded Seam Structure of High-Strength Low-Alloy Steels by Refractory Metal Nanoparticles], 2016, pp. 93–98. (in Russian)
 - [14] Lebedev V.A. Tendencii razvitiya mekhanizirovannoj svarki s upravljaemym perenosom ehlektrodnogo metalla [Trends in the Development of Mechanized Welding with Controlled Transfer of Electrode Metal]. Avtomaticheskaja svarka [Automatic Welding], 2010, №10, pp. 45–53. (in Russian)
 - [15] Meshkov Ju.Ja., Pakhareno G.A. Struktura metalla i khrupkost stalnykh izdelij [Structure of Metal and Steel Product Brittleness]. Kiev. Pub. Naukova dumka. 1985, 268 p. (in Russian)
 - [16] Grivnjak I. Svarivaemost stalej [Weldability of Steels]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1984, 216 p. (in Russian)
 - [17] Koshkarev B.T. Teorija svarochnykh processov [Theory of Welding Processes]. Rostov-on-Don.

- Pub. DGSU, 2003, 217 p. (in Russian)
- [18] Petrov G.L., Tumarev A.S. Teorija svarochnykh processov [Theory of Welding Processes]. M. Pub. Vysshaja shkola [Higher School], 1977, 392 p. (in Russian)
 - [19] Uzlov I.G. etc. Novye nauchnye polozhenija i tekhnologicheskie reshenija po sozdaniju vysokoprochnykh konstrukcionnykh mikrolegirovannykh stalej shirokogo primeneniya [New Scientific Positions and Technological Solutions for the Development of High-Strength Constructional Microalloyed Steels of Wide Application]. Fundamentalnye i prikladnye problemy chernoj metallurgii: sbornik nauchnykh trudov [Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy: a collection of scientific papers]. Dnepropetrovsk, 2008. Issue.18. pp. 164–174. (in Russian)
 - [20] Vzaimodejstvie metalla s gazami. Azot v metalle svarnykh shvov. [Metal and Gases Interaction. Nitrogen in the Weld Metal] Available at: www.tehnoarticles.ru/svarkaporoshok/5.html (in Russian)
 - [21] Kolokolov E.I., Tomilin S.A., Shishov V.V. Zadachi sovershenstvovaniya svarochnykh materialov i tekhnologij pri proizvodstve reaktorov novogo pokolenija [The Issues of Improving Welding Materials and Technologies in the Production of New Generation Reactors]. Bezopasnost jadernoj ehnergetiki: tezisy dokladov XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 31 maja – 2 iyunja 2017 goda [Safety of Nuclear Power: abstracts of the report of the 13th International Scientific and Practical Conference, May 31 - June 2, 2017]. Volgodonsk, 2017. CD. (in Russian)
 - [22] Malkov S. Sovremennye svarochnye inventory [Modern Welding Inverters]. Silovaya ehlektronika [Power Electronics], 2011, №2, pp. 76–77. Available at: http://www.power-e.ru/2011_2_76.php (in Russian)
 - [23] STT-perenos metalla (perenos metalla poverkhnostnym natjazheniem) [STT-Transfer of Metal (Transfer of Metal by Surface Tension)]. Available at: <http://svarka-24.info/stt-perenos-metalla-perenos-metalla-poverxnos.../> (in Russian)
 - [24] Process kholodnoj svarki-SMT [Cold Welding Process-CMT]. Available at: <http://www.rtkom-electro.ro/process-xolodnoj-svarki-smf/> (in Russian)
 - [25] Svarka plavjashhimsja metallicheskim ehlektrodom v zashhitnykh gazakh (MIG/MAG) i svarka poroshkovoj provolokoj [Welding with a Consumable Metal Electrode in Shielding Gases (MIG / MAG) and Welding with Flux-Cored Wire.]. Available at: <http://weldering.com/svarka-plavyashchimsya-metallicheskim-elektrodom-zashchitnyh-gazah-migmag-svarka-poroshkovoy> (in Russian)
 - [26] Turichin G.A., Cibul'skij I.A., Kuznecov M.V., Somonov V.V. Perspektivy vnedrenija lazernodugovogo processa dlja svarki metalla bol'shikh tolshhin [Prospects for the Introduction of the Laser-Arc Process for Welding Large-Thickness Metal]. RITHM, 2010, №10(58), pp. 32–35. Available at: <http://www.ritm-magazine.ru/magazines/2010/ritm-10-58-2010#page-3233> (in Russian)
 - [27] Specialnye metody svarki i pajki [Special Methods of Welding and Soldering]. M. Pub. ALFA-M, INFRA-M, 2013, 224 p. (in Russian)
 - [28] Gook S.Eh., Gumenjuk A.V., Retmajjer M. Gibrinajazernodugovaja svarka vysokoprochnykh trubnykh stalej klassov prochnosti API Ch80 Kh120 [Hybrid laser-Arc Welding of high-Strength Tubular Steels of API Ch80 X120 28 Strength Classes]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2017, №1(22), ISSN 2305-414Kh, eISSN 2499-9733, pp. 21–35. (in Russian)

Providing Constructive Strength of Reactor Installation Welded Joints by the Use of New Welding Materials and Technologies

E.I. Kolokolov*, S.A. Tomilin, V.V. Shishov*****

* "Energomash" Limited Liability Company Separate Design and Technological Bureau,
Sedmaya Zavodskaya St., 44, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
¹ e-mail: e.i.kolokolov@yandex.ru;

* * Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI",
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
ORCID iD: 0000-0001-8661-8386
WoS ResearcherID: G-3465-2017
e-mail: SATomilin@mephi.ru;

*** *Public Joint-Stock Company “Mashine-building plant “ZiO-Podolsk”,
Zheleznodorozhnaya St., 2, Podolsk, Moskovskaya region, Russia 142103
e-mail: shishov_yv@atommash.ru*

Abstract – The paper shows that existing technologies intended for welding steels of traditional methods of smelting do not provide the characteristics of welded joints adequate to the level of structural strength and manufacturability of new-generation steels. The reasons of the decrease in the structural strength of welded joints are identified and the ways of their elimination are outlined. The article shows that it is necessary to develop welding materials with a low content of harmful impurities and technologies of their use for welding products using modern inverter installations with synergetic control. A number of changes and additions to the normative documentation are proposed.

Keywords: structural strength, new-generation reactor vessel bodies, welded metal embrittlement, welding materials and technologies, inverter technologies with synergetic control.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

621.039:621.039.58:001.18

УПРЕЖДАЮЩИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ АЭС

© 2017 Ю.С. Сысоев*, А.А. Сальников**, А.В. Чернов*, В.Г. Бекетов*

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

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

Представлена основанная на теории стохастического прогнозирования дрейфа параметров методика, позволяющая не только оценить время безотказной работы оборудования АЭС, но и указать на причины возможного возникновения нештатных ситуаций. Приведено развитие методов прогнозирования в части расширения класса используемых в них законов распределения вероятностей, позволяющее повысить точность прогноза.

Ключевые слова: дрейф параметров, стохастическая экстраполяция, прогнозирование нештатных ситуаций, диагностика, безопасность АЭС.

Поступила в редакцию: 25.08.2017

Для контроля работы оборудования технических объектов, как правило, используется анализ поведения параметров, характеризующих это оборудование. Так, например, только при контроле работы маслосистемы главного циркуляционного насоса (ГЦН) атомных электростанций (АЭС) фиксируются значения не менее десяти параметров. Для значений отдельных из них устанавливаются предельно допустимые значения, выход за которые может привести к остановке блока реактора. В научной литературе большое внимание уделяется прогнозированию дрейфа контролируемых параметров технических объектов, основанному на стохастической экстраполяции значений этих параметров. Например, для стохастического прогнозирования времени работоспособного состояния оборудования можно почти без изменений использовать методы и алгоритмы определения межповерочного интервала средств измерений, которые рекомендуются нормативными документами [1] и методиками, предложенными в ряде публикаций [2-5], поскольку структура этих методов такова, что в них является несущественным тип контролируемого сигнала, что и подтверждается работой [6]. Однако попытка адаптации приведенных в работах [1-3] методов к анализу дрейфа произвольных параметров приводит к методам, которые можно использовать в «статическом режиме», когда нет жестких ограничений на время обработки результатов. Поэтому возникла необходимость в создании методов, которые можно было бы использовать в режиме реального времени, чему и посвящены работы [4-6].

В настоящей работе на примере маслосистемы ГЦН демонстрируется обоснование возможности посредством использования стохастического прогнозирования дрейфа параметров осуществлять в режиме реального времени не только прогноз нештатных ситуаций для контролируемого объекта в целом, но и определять те узлы, сбои в работе которых станут причиной этих ситуаций, а также развиваются методы прогнозирования в части расширения класса используемых в них

законов распределения вероятностей.

Рассмотрим техническую систему, работоспособное состояние которой оценивается посредством контроля некоторого семейства числовых параметров. Часть из этих параметров $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ являются входными, их значения могут регулироваться, а другая $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m$ – выходными. При этом выходные параметры являются функциями от входных:

$$\eta_i = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n), (i=1, 2, \dots, m). \quad (1)$$

Значения выходных параметров, найденные по формулам (1), мы будем называть их теоретическими значениями. На практике, контролируя работу объекта с помощью измерений, мы будем получать наборы параметров $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \eta'_1, \eta'_2, \dots, \eta'_m)$. В этих наборах выходные параметры могут отличаться от теоретических значений. Полученные невязки:

$$\Delta_i = \eta'_i - f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n), (i=1, 2, \dots, m),$$

в нашем случае будут использоваться в качестве числовых индикаторов бездефектной работы объекта. Будем рассматривать случаи, когда для невязок удастся получить предельно допустимые значения, а значит и интервал допусков. Будем считать, что в нашем случае при нахождении значений Δ_i в пределах допусков можно быть уверенным в качественной работе объекта. Все сказанное можно относить не только к контролируемому объекту в целом, но и к отдельным его узлам, деталям и/или определенным причинам возникающей дефектности оборудования. Тогда выход значений Δ_i за пределы допусков будет означать нарушение работы узла, детали и/или возникновение причин возможного сбоя в работе оборудования, а методы, позволяющие установить время наступления этого события с наперед заданной вероятностью в рассматриваемом случае, основанное на стохастической экстраполяции значений Δ_i , можно считать упреждающими методами диагностики узлов и деталей объекта.

Алгоритм построенной методики упреждающей диагностики реализуется на основе мониторинга текущих состояний оборудования в течение некоторого временного промежутка $[\delta, \delta + T]$ с последующей стохастической экстраполяцией значений невязок на произвольный временной промежуток, начинающийся с момента времени $\delta + T$. Отметим, что время достижения невязками Δ_i с наперед заданной вероятностью γ предельно допустимых значений совпадает со временем работоспособного состояния контролируемого объекта с априорной вероятностью $1 - \gamma$.

Для организации стохастической экстраполяции по аналогии с [6] предлагается использование теории систем массового обслуживания (СМО). Контролируемому параметру в соответствие ставится СМО таким образом, чтобы стохастическая структура динамики случайных состояний оборудования (количество рассматриваемых состояний, вероятности перехода из одного состояния в другое, интенсивности изменения параметров и т.д.) в процессе эксплуатации полностью повторялась в динамической структуре соответствующих систем массового обслуживания. Тогда стохастическая структура изменений каждого параметра становится идентичной

стохастической структуре изменений состояний соответствующей СМО и, следовательно, изучение реального объекта можно заменить изучением соответствующей СМО. Это позволяет существенно упростить задачу, поскольку существует мощная теоретическая база для изучения СМО, которой можно воспользоваться, в том числе, и для решения нашей задачи. Одной из проблем, которую приходится решать при стохастической идентификации динамики состояний оборудования и соответствующей динамики изменений построенных систем массового обслуживания, является решение задачи правильного выбора законов распределения изменений состояний контролируемого объекта. Однако использование только трех законов распределения вероятностей [5,6] таких, как геометрический и показательный законы, а также закон Пуассона (а фактически, двух, поскольку дискретизация показательного распределения приводит к геометрическому распределению [5]), не позволяет корректно аппроксимировать некоторые статистические законы распределения из спектра тех законов изменения параметров объекта, с которыми приходится сталкиваться на практике, а поэтому возникла необходимость расширения класса аппроксимирующих законов распределения, которые можно использовать при прогнозировании.

В качестве примера возможного использования упреждающих методов диагностики укажем способ возможного контроля работоспособности двух узлов маслосистемы ГЦН: маслоохладителя и пары маслонасос–маслофильтр.

Если в маслосистеме ГЦН через ξ_1 обозначить давление масла на входе маслонасоса, а на выходе маслофильтра, – через η_1 , то при «идеальной» работе пары маслонасос–маслофильтр на выходе маслофильтра мы должны получать постоянное давление η_1^0 . Следовательно, разность $\Delta_1 = \eta_1' - \eta_1^0$ будет являться той невязкой, которая характеризует состояния работы указанной пары.

Будем считать, что пара маслонасос–маслофильтр находится в работоспособном состоянии, если значение Δ_1 находится в допустимом диапазоне $[C, D]$ изменений этого параметра, то есть значение невязки должно удовлетворять неравенству:

$$C < \Delta_1 < D, (2)$$

а это значит, что $C < \eta_1' - \eta_1^0 < D$. Отсюда следует, что η_1' должно удовлетворять следующим неравенствам:

$$C + \eta_1^0 < \eta_1' < D + \eta_1^0. (3)$$

Таким образом, если η_1' удовлетворяет неравенству (3), то невязка Δ_1 удовлетворяет неравенству (2) и наоборот, а следовательно, выход η_1' за пределы промежутка $[C + \eta_1^0, D + \eta_1^0]$ влечет за собой выход невязки Δ_1 за пределы промежутка $[C, D]$ и наоборот. В нашем случае ограничения на значения невязки неизвестны, однако инструкцией по эксплуатации маслосистемы ГЦН предусмотрены ограничения на значения η_1' давления масла на выходе маслофильтра, то есть нам заданы значения $C + \eta_1^0$ и $D + \eta_1^0$, используя которые мы можем делать вывод о работоспособности или неработоспособности пары маслонасос-маслофильтр.

Для определения признаков наличия дефектов в работе маслоохладителя обозначим через ξ_2 температуру масла на входе, а через η_2 – на выходе маслоохладителя. При «идеальной» работе маслосистемы (маслоохладителя) температура η_2 должна быть постоянной и равняться наиболее благоприятному для

работы ГЦН значению η_2^0 . Определим невязку Δ_2 , положив $\Delta_2 = \eta_2' - \eta_2^0$, где η_2' – температура на выходе маслоохладителя, полученная с помощью измерений. Предположим, что допустимым диапазоном изменений Δ_2 является промежуток $[A, B]$, то есть для того, чтобы величина Δ_2 лежала в пределах допусков, она должна удовлетворять следующим неравенствам:

$$A < \Delta_2 < B, \quad (4)$$

или $A < \eta_2' - \eta_2^0 < B$. Отсюда следует, что температура η_2' должна удовлетворять неравенствам: $A + \eta_2^0 < \eta_2' < B + \eta_2^0$. Исходя из этих неравенств и тех требований к величине температуры, которые предусмотрены нормативными документами, а также из того, что на температуру масла накладываются односторонние ограничения, можно утверждать, что в неравенства (4) можно заменить одним неравенством: $\Delta_2 < B$. При этом нам нет необходимости в выяснении вопроса о значениях величин η_2^0 и B , а достаточно знать их сумму $B + \eta_2^0$. Если еще учесть то обстоятельство, что инструкция по эксплуатации маслосистемы ГЦН определяет ограничения на диапазон допустимых изменений температуры на выходе маслоохладителя, то есть значение $B + \eta_2^0$ определено указанной инструкцией (при этой температуре предусмотрена блокировка ГЦН), то контроль значений Δ_2 можно заменить контролем соответствующей температуры. Если температура η_2' (а значит и Δ_2) достигнет своего предельно допустимого значения (или превысит его), при условии соответствующей регламенту работы насоса и маслофильтра, то можно говорить о нарушении теплообмена в устройстве, которое может быть вызвано нарушением в системе подачи воды или возникновением дефектов в самом устройстве (например, загрязнение поверхности теплообмена).

Учитывая вышеизложенное, для прогнозирования появления дефекта в работе указанных узлов маслосистемы ГЦН достаточно организовать мониторинг текущих значений давления масла на выходе маслофильтра и температуры масла на выходе маслоохладителя, а также прогнозирование дрейфа этих значений. В том случае, если прогнозируемое время выхода за пределы допусков у температуры оказывается меньше, чем соответствующее прогнозируемое время для давления масла, то обслуживающему персоналу необходимо обратить внимание на возможный сбой в работе маслоохладителя, в противном случае можно ожидать сбоев в работе пары маслонасос–маслофильтр.

В работах [4,6] для оценки состояний контролируемого устройства при двусторонних ограничениях на контролируемый параметр рассматривается два семейства полуинтервалов:

$$\begin{aligned} & [a; a + \Delta Z), [a + \Delta Z; a + 2\Delta Z), \dots \\ & \dots, [a + (N-1)\Delta Z; a + N\Delta Z), [a + N\Delta Z; a + (N+1)\Delta Z), \dots \end{aligned} \quad (5)$$

и

$$\begin{aligned} & (b; b - \Delta Z], (b - \Delta Z; b - 2\Delta Z], \dots \\ & \dots, (b - (N-1)\Delta Z; b - N\Delta Z], (b - N\Delta Z; b - (N+1)\Delta Z], \dots \end{aligned}$$

где a и b – нижнее и верхнее предельно допустимые значения контролируемого параметра ξ ,

Δ – длина промежутка $[a.b]$,

N – некоторое натуральное число, а $\Delta Z = \frac{\Delta}{N}$.

Принадлежность значения параметра устройства полуинтервалу $[j\Delta Z; (j+1)\Delta Z)$ предлагается расценивать как нахождение устройства в состоянии E_j , $j = 0, 1, 2, \dots$, а принадлежность промежутку $(b - j\Delta Z; b - (j+1)\Delta Z]$ – как нахождение устройства в состоянии G_j , $j = 0, 1, 2, \dots$

Ясно, что если контролируемый параметр находится в пределах допуска, а объект в это время находится в состоянии G_j , $j = 0, 1, 2, \dots, N-1$, то можно утверждать, что объект одновременно находится в состоянии $E_{N-(j+1)}$ и наоборот, если объект находится в состоянии E_j , $j = 0, 1, 2, \dots, N-1$, то можно утверждать, что при этом объект находится в состоянии $G_{N-(j+1)}$.

В соответствии с этой конструкцией строится две одноканальные системы массового обслуживания с накопителем объема N , вероятности переходов в которых из j -го состояния в k -ое для одной СМО совпадают с соответствующими вероятностями переходов устройства из состояния E_j в состояние E_k , а для другой – из состояния G_j в состояние G_k . Отметим, что при односторонних ограничениях на контролируемый параметр используется только одна система интервалов (5) и строится одна система массового обслуживания.

На основе методов теории СМО, авторы указанных работ получают равенство:

$$P(\{k > N\}_t^i) = \sum_{r=0}^{\infty} (R_{N-i+r}(t) \sum_{j=0}^r Q_j(t)),$$

где $\{k > N\}_t^i$ – событие, состоящее в том, что необслуженных заявок в системе, находящейся в i -м состоянии, к моменту времени t будет не меньше N (накопитель заполнится, и, следовательно, параметр выйдет за пределы допусков), а $P(\{k > N\}_t^i)$ – вероятность этого события;

$R_j(t)$ – вероятность того, что за время t в систему массового обслуживания поступает j требований, а $Q_j(t)$ – вероятность того, что за время t в системе выполняется j требований.

Это равенство позволяет построить общее уравнение прогнозирования [4,6]:

$$P(\{k > N\}_t^i) = \gamma, \quad (0 < \gamma < 1), \quad (6)$$

приближенное решение которого относительно t удалось осуществить [4,5,6] в случаях, когда $R_j(t)$ и $Q_j(t)$ являются либо распределениями Пуассона, либо геометрическими и показательными распределениями.

Значение t_0 , являющееся решением уравнения (6), и определяет оценку времени, в течение которого с вероятностью большей числа $1-\gamma$ контролируемый параметр будет находиться в пределах допусков (γ , как правило, полагают равным 0.05).

Отметим, что законы распределения (включая их тип) изменений контролируемого параметра для различных выборок могут меняться (и меняются) в процессе мониторинга, поэтому при решении практических задач в левой части уравнения (6) меняются не только числовые характеристики (коэффициенты, показатели и т.д.), но и вид самого уравнения. Несмотря на то, что это уравнение построено [4,5,6] для широкого класса распределений, при решении задач диагностики приходится обращаться к новым типам распределений. Например, в процессе стохастической оценки поведения температуры масла при решении задач диагностики маслосистемы ГЦН авторам настоящей работы пришлось столкнуться с ситуацией, когда $R_j(t)$ и $Q_j(t)$ являются смесями геометрических распределений. Учитывая это, приведем частный вид уравнения (6) для указанного случая.

В дальнейшем для определения смесей геометрических распределений будем использовать представление геометрических распределений, предложенное в работе [5]:

$$P_k(t) = p_\lambda(t) \cdot (q_\lambda(t))^k,$$

где

$$p_\lambda(t) = 1/(1 + \lambda t), \quad q_\lambda(t) = \lambda t / (1 + \lambda t),$$

$$k = 0, 1, 2, \dots; \lambda \geq 0 \text{ и } t \geq 0.$$

Итак, рассмотрим дискретные случайные величины ξ и η , определяющие число поданных и выполненных заявок в системе массового обслуживания за время t , соответственно. Будем считать, что функциями распределения этих случайных величин являются смеси геометрических распределений, то есть вероятности $R_j(t)$ и $Q_j(t)$ определяются равенствами:

$$R_j(t) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \frac{(\lambda_k t)^j}{(1 + \lambda_k t)^{j+1}} = \sum_{k=1}^n \alpha_k p_{\lambda_k}(t) \cdot (q_{\lambda_k}(t))^j;$$

$$Q_j(t) = \sum_{s=1}^m \beta_s \frac{(\nu_s t)^j}{(1 + \nu_s t)^{j+1}} = \sum_{s=1}^m \beta_s p_{\nu_s}(t) \cdot (q_{\nu_s}(t))^j,$$

где $\alpha_k \geq 0$, $\beta_s \geq 0$ для любых $k = 1, 2, \dots, n$; $s = 1, 2, \dots, m$ и $\sum_{k=1}^n \alpha_k = 1$; $\sum_{s=1}^m \beta_s = 1$.

Тогда обычными алгебраическими преобразованиями можно показать, что:

$$P(\{k > N\}_t^i) = \sum_{k=1}^n \left(\sum_{s=1}^m \alpha_k \beta_s \left(\frac{\lambda_k t}{1 + \lambda_k t} \right)^{N-i} \left(\frac{1 + \lambda_k t}{1 + \lambda_k t + \nu_s t} \right) \right)$$

и, следовательно, уравнение (6) будет иметь вид:

$$\sum_{k=1}^n \left(\sum_{s=1}^m \alpha_k \beta_s \left(\frac{\lambda_k t}{1 + \lambda_k t} \right)^{N-i} \left(\frac{1 + \lambda_k t}{1 + \lambda_k t + \nu_s t} \right) \right) = \gamma$$

Приближенное решение этого уравнения не вызывает затруднений (можно, например, использовать метод бисекций [7]), однако предварительно необходимо

определить значения неизвестных характеристик $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$, $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_n$ распределений. Для определения указанных значений и одновременно статистической проверки гипотезы о предполагаемом распределении выборки, полученной мониторингом, в виде смеси геометрических распределений предлагается использовать критерий согласия χ^2 Пирсона. Для этого, используя выборочные данные, определим функцию:

$$\chi^2 = \sum_{s=0}^{L-1} \frac{(j_s - L_e \cdot \sum_{k=1}^n \alpha_k \frac{(\lambda_k)^s}{(1+\lambda_k)^{s+1}})^2}{L_e \cdot (\sum_{k=1}^n \alpha_k \frac{(\lambda_k)^s}{(1+\lambda_k)^{s+1}})},$$

переменных $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ и $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (здесь $j_0, j_1, \dots, j_{L-1}$ – выборочные значения, а L_e – количество выборочных данных с учетом их повторов). Поскольку нашей целью является получение такого набора неизвестных характеристик распределения, при которых будет выполняться неравенство:

$$\chi_{набл.}^2 < \chi_{крит.}^2,$$

то, очевидно, что неизвестные характеристики имеет смысл выбирать таким образом, чтобы в них функция χ^2 принимала минимальное значение.

Итак, мы приходим к необходимости решения оптимизационной задачи:

$$\chi_{набл.}^2 = \min_{\alpha_1, \dots, \alpha_n, \lambda_1, \dots, \lambda_n} \chi^2$$

с ограничениями:

$$\text{а) } \lambda_k \geq 0 \text{ при любом } k; \quad \text{б) } \alpha_k \geq 0 \text{ для всех } k \text{ и } \sum_{k=1}^n \alpha_k = 1.$$

Для решения построенной оптимизационной задачи предлагается использовать адаптированный к такого рода задачам алгоритм, приведенный в работе [8].

Ясно, что увеличение чисел n и m может только повысить точность аппроксимации статистических функций распределения соответствующими смесями распределений. Это объясняется тем, что класс функций, являющихся смесями распределения большего числа функций распределения, включает в себя класс смесей меньшего числа этих функций. Это значит, что функция $\chi_{крит.}^2 = \min_{\alpha_1, \dots, \alpha_n, \lambda_1, \dots, \lambda_n} \chi^2(\alpha_1, \dots, \alpha_n, \lambda_1, \dots, \lambda_n)$ будет монотонно невозрастающей функцией аргумента n . Как показывает анализ контролируемых данных маслосистемы ГЦН, взятых из архива Ростовской АЭС, на практике вполне достаточно использовать значение n , не большее трех, (то же самое можно сказать о числе m).

Наконец, при выборе числа N всех возможных состояний контролируемого объекта и тем самым всех возможных состояний соответствующих СМО необходимо учитывать то обстоятельство, чтобы длина $\Delta Z = \frac{\Delta}{N}$ промежутков деления должна давать возможность определять каждое текущее состояние объекта с минимальной погрешностью (с учетом оценки погрешности измерений контролируемого параметра).

С другой стороны, число N необходимо выбирать максимально большим, поскольку увеличение числа состояний позволяет повысить точность идентификации каждого конкретного состояния объекта.

Для сравнения качества прогноза с использованием геометрического распределения вероятностей и смеси геометрических распределений использовались базы данных изменений температуры масла на входе в ГЦН, взятые из соответствующих архивов Ростовской АЭС. С одной стороны, оценку качества прогноза целесообразно осуществлять не позднее, чем за 15 минут до наступления нештатной ситуации. С другой стороны, многочисленные проверки показали, что увеличение промежутка прогнозирования ведет к увеличению погрешности в прогнозе (это подтверждается и рисунком 1). Поэтому при проведении анализ прогнозов в различных ситуациях использовался промежуток от 15 до 30 минут до наступления нештатной ситуации. Для теоретического получения большего числа «нештатных ситуаций», а значит, и создания для численных экспериментов достаточного числа необходимых массивов данных в проводимых расчетах искусственно занижалось предельно допустимое значение температуры, при котором происходит блокировка ГЦН (наступает нештатная ситуация).

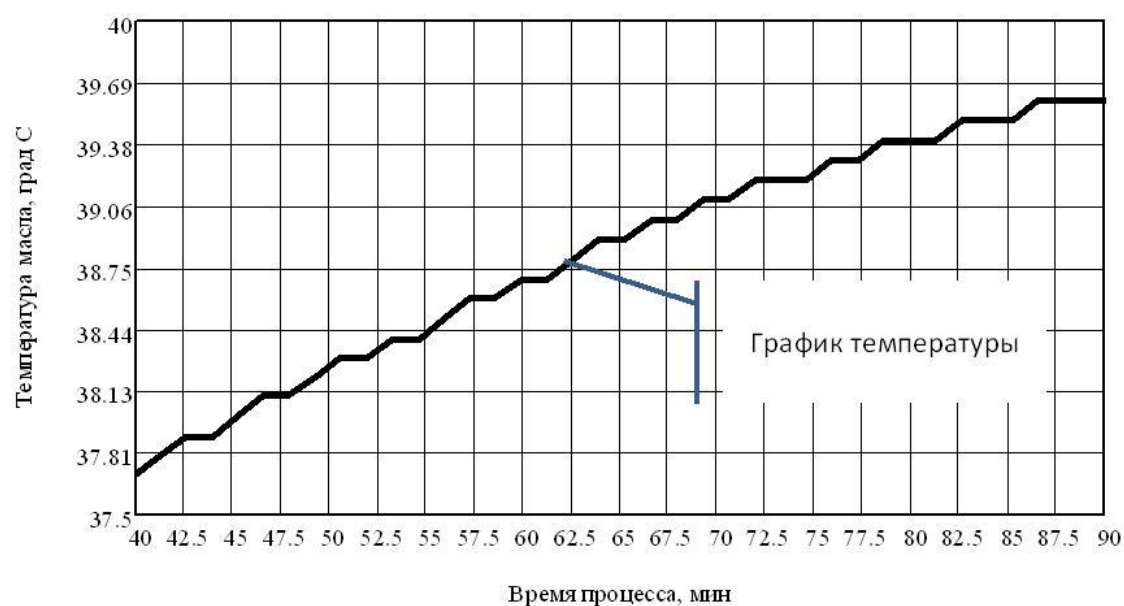
В качестве примера результатов расчетов на рисунке 1 приведены для одного из рассмотренных эпизодов работы ГЦН графики температуры масла (рис. 1а) на выходе маслоохладителя, времени достижения температурой масла предельно допустимого значения, в качестве которого выбрана температура 39.7°C (фактическая блокировка ГЦН происходит при температуре 41°C), и соответствующих прогнозов, полученных с использованием геометрического распределения вероятностей и смесей геометрических распределений (рис. 1б) при том, что оба эти распределения не отвергались критерием согласия χ^2 .

Превышение предельной температуры происходит на 90-й минуте (рис. 1а). При использовании смесей распределений на 60-й минуте (за 30 минут до наступления нештатной ситуации) прогноз (рис. 1б) запаздывал на 5 минут, на 75-й минуте — опережал на 3 минуты. Совпадение прогноза и времени наступления нештатной ситуации произошло за 26 минут до наступления реального события. При использовании геометрического распределения на 60-й минуте прогноз запаздывал на 36 минут, на 75-й минуте — на 5 минут, а совпадение реального значения и прогноза наступило за 12 минут до наступления события.

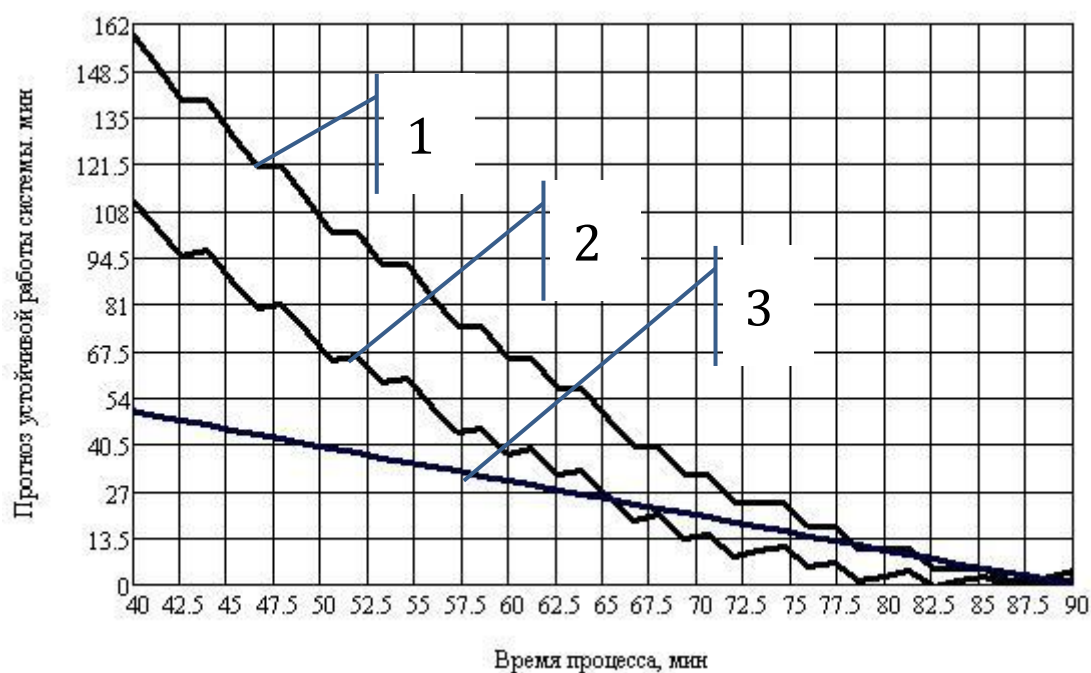
Таким образом, анализ рисунка 1 показывает, что предпочтение необходимо отдать прогнозированию с использованием смеси распределений, поскольку оно за больший промежуток времени дает более точный прогноз с последующим опережением времени наступления реального события, что является в нашем случае более предпочтительным по сравнению с запаздыванием прогноза. Факт более точного прогноза при использовании смесей распределения имеет простое теоретическое объяснение: в этом случае удастся достичь более высокой точности аппроксимации закона распределения реальных данных по сравнению с использованием геометрического распределения.

Проведенный анализ баз данных изменений значений температуры на выходе маслоохладителя и давления на выходе маслофильтра маслосистемы ГЦН показал, что мониторинг текущих значений давления и температуры масла (в указанных точках маслосистемы), а также стохастическое прогнозирование дрейфа этих параметров с использованием перечисленных выше распределений и смесей геометрических распределений, рассмотренных в этой работе, позволяют осуществлять раннее выявление и предупреждение развития дефектов в работе узлов маслосистемы. Предложенная методика упреждающей диагностики оборудования АЭС дает

возможность получать оперативному персоналу станции информацию, позволяющую предвидеть возникающую опасность и своевременно реагировать на возможность появления нештатных ситуаций.



а)



б)

Рис. 1. — Температура масла на выходе маслоохладителя (а) и сравнительные прогнозы работоспособности системы (б)

- 1 — прогнозы с использованием геометрических распределений;
- 2 — прогнозы с использованием смеси геометрических распределений;
- 3 — фактическое время достижения температурой предельно допустимого значения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РМГ 74-2004. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2005. – 41 с.
2. Сысоев, Ю.С. Анализ дрейфа метрологических характеристик измерительных устройств с помощью цепей Маркова [Текст] / Ю.С. Сысоев // Измерительная техника. – 2012. – №1. – С. 14–19.
3. Сысоев, Ю.С. и др. Анализ стабильности работы измерительных приборов посредством стохастического прогнозирования дрейфа их метрологических характеристик [Текст] / Ю.С. Сысоев, А.И. Тихомирова // Измерительная техника. – 2012. – №6. – С. 14–20.
4. Сысоев, Ю.С. и др. Оценка длительности межповерочных интервалов измерительных устройств методами теории массового обслуживания [Текст] / Ю.С. Сысоев, Н.А. Симакова // Измерительная техника. – 2014. – №12. – С. 10–15.
5. Сысоев Ю.С. Использование геометрического и показательного распределений для прогнозирования дрейфа параметров технических объектов [Текст] / Ю.С. Сысоев // Измерительная техника. – 2015. – №12. – С. 17–19.
6. Сысоев, Ю.С. и др. Прогнозирование состояния технологических объектов на основе текущего мониторинга значений их параметров [Текст] / Ю.С. Сысоев, А.А. Сальников, В.Г. Бекетов, А.В. Чернов // Измерительная техника. – 2016. – №4. – С. 3–7.
7. Плис, А.И. и др. Лабораторный практикум по высшей математике [Текст] / А.И. Плис, И.А. Сливина. – М.: Высшая школа, 1983. – 208 с.
8. Сысоев, Ю.С. Комбинированный алгоритм оптимизации и его применение к решению метрологических задач [Текст] / Ю.С. Сысоев // Измерительная техника. – 2015. – №4. – С. 9–12.

REFERENCES

- [1] RMG 74-2004. Metody opredelenija mezhpoverochnykh i mezhkalibrovocnykh intervalov sredstv izmerenij [Methods for Determining the Calibration and Intercalibration Intervals of Measuring Instruments]. M. Pub. Standartinform [Standartinform], 2005, 41 p. (in Russian)
- [2] Sysoev Yu.S. Analiz drejffa metrologicheskikh kharakteristik izmeritel'nykh ustrojstv s pomoshh'ju cepejj Markova [Analysis of the Metrological Characteristics Drift of Measuring Devices Using Markov Chains]. Izmeritel'naja tekhnika [Measuring Technology], 2012, №1, pp. 14–19. (in Russian)
- [3] Sysoev Yu.S., Tikhomirova A.I. Analiz stabilnosti raboty izmeritel'nykh priborov posredstvom stokhasticheskogo prognozirovaniya drejffa ikh metrologicheskikh kharakteristik [Operation Stability Analysis of Measuring Instruments by Stochastic Prediction of their Metrological Characteristics Drift]. Izmeritel'naja tekhnika [Measuring Technology], 2012, №6, pp.14–20. (in Russian)
- [4] Sysoev Yu.S., Simakova N.A. Ocenka dlitel'nosti mezhpoverochnykh intervalov izmeritel'nykh ustrojstv metodami teorii massovogo obsluzhivaniya [Estimating the Duration of the Calibration Interval for Measuring Devices by the Methods of Queuing Theory]. Izmeritel'naja tekhnika [Measuring Technology], 2014, №12, pp. 10–15. (in Russian)
- [5] Sysoev Yu.S. Ispolzovanie geometricheskogo i pokazatel'nogo raspredelenij dlja prognozirovaniya drejffa parametrov tekhnicheskikh objektov [Using Geometric and Exponential Distributions to Predict the Drift of Technical Object Parameters]. Izmeritel'naja tekhnika [Measuring Technology], 2015, №12, pp. 17–19. (in Russian)
- [6] Sysoev Yu.S., A.A. Salnikov, Beketov V.G., Chernov A.V. Prognozirovanie sostojaniya tekhnologicheskikh objektov na osnove tekushhego monitoringa znachenij ikh parametrov [Forecasting the State of Technological Objects on the Basis of the Current Monitoring of their Parameter Values]. Izmeritel'naja tekhnika [Measuring Technology], 2016, №4, pp. 3–7. (in Russian)
- [7] Plis A.I., Slivina I.A. Laboratornyj praktikum po vysshejj matematike [Laboratory Practical Work on Higher Mathematics]. M. Pub. Vysshaja shkola [Higher School], 1983, 208 p. (in Russian)
- [8] Sysoev Yu.S. Kombinirovannyj algoritm optimizacii i ego primenenie k resheniju metrologicheskikh zadach [Combined Optimization Algorithm and its Application to the Solution of Metrological Problems]. Izmeritel'naja tekhnika [Measuring Technology], 2015, №4, pp. 9–12. (in Russian)

Anticipatory Methods of the NPP Technical Facility Diagnostics**Yu.S. Sysoev^{*1}, A. A. Salnikov^{**2}, A.V. Chernov^{*3}, V.G. Beketov^{*4}**

** Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI",
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 34736*

¹ e-mail: sysoev2004@mail.ru

³ ORCID: 0000-0002-6126-7724

WoS Researcher ID: G-3742-2017

e-mail: AVChernov@mephi.ru ;

⁴ ORCID: 0000-0003-0242-6745

WoS ResearcherID: G-3866-2017

e-mail: VGBeketov@mephi.ru

** «Rostov Nuclear Power Plant» the Branch of «Rosenergoatom Concern» OJSC,
Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388*

² e-mail: admin@rosnpp.org.ru

Abstract – The paper provides the technique based on theories of stochastic forecasting of parameter drift. It allows not only to estimate error-free running time of the NPP equipment, but also to specify the reasons of possible origin of emergency situations. The work shows the development of forecasting methods in the part of expanding the class of probability distribution laws used in them, which makes it possible to improve the accuracy of the forecast.

Keywords: parameter drift, stochastic extrapolation, forecasting of emergency situations, diagnostics, the NPP safety.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 531.7:539.3:621.039

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ
ЭНЕРГБЛОКА АЭС И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ
ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА
БЕЗОПАСНОСТИ**

© 2017 О.А. Губеладзе*, А.Р. Губеладзе*, С.М. Бурдаков**

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

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

При решении проблем безопасности АЭС, где существенная роль отводится подъемно-транспортным системам (ПТС) реакторного отделения (РО), их следует рассматривать как элемент комплекса «ядерное топливо – технологическое оборудование реакторного отделения – защитная гермооболочка (ЗГО)». Следует отметить, что, являясь составными частями (элементами) энергоблока, ПТС РО и ЗГО оказывают непосредственное воздействие друг на друга как на этапе строительства, так и в период непосредственной эксплуатации. Реальные значения внутренних параметров построенного энергоблока могут отличаться от результатов проектирования, а точнее, находиться вне допуска.

Целью работы является исследование возможности устранения неопределенности при вероятностном анализе безопасности энергоблока АЭС с ВВЭР путем получения наиболее полных и достоверных данных о параметрах объекта, достигнутых в процессе реализации проектных решений при возведении гермооболочки и монтаже подъемно-транспортных систем реакторного отделения.

Ключевые слова: защитная герметичная оболочка, кран радиального действия, вероятностный анализ безопасности, нерегламентированные деструктивные воздействия.

Поступила в редакцию: 31.08.2017

Критерий безопасности – величина вероятности реализации опасности объекта использования атомной энергии (ОИАЭ). Критерии устанавливаются с учетом всех видов воздействий по результатам моделирования аварийных ситуаций (АС), а их количественное значение определяется: детерминированными проектными параметрами ОИАЭ; стохастическими характеристиками нерегламентируемых деструктивных воздействий (НДВ). Критерий, обобщающий как детерминированные, так и стохастические параметры, должен обладать вероятностной мерой, что не исключает использование частных критериев, выраженных в натуральных единицах.

Характеризуя состояние эксплуатации действующих российских АЭС, следует отметить, что функционирование их осуществляется, в целом, в соответствии с правилами и нормами безопасности. С учетом накопленного опыта работы станций, а также анализа причин и последствий, имевших место аварий, разработаны и реализуются на станциях мероприятия по повышению их надежности и безопасности, при этом учитываются состояние и особенности каждого конкретного энергоблока.

Вместе с тем, на сегодня только энергоблоки с реакторами ВВЭР отличаются достаточной надежностью. Так, в соответствии с результатами вероятностного анализа безопасности (ВАБ) для Балаковской АЭС, среднее значение суммарной (по всем инициирующим событиям) частоты повреждения активной зоны реактора составляет $8,3 \cdot 10^{-5}$ на реактор в год [1]. Отрицательной особенностью является и то, что большинство российских АЭС находятся в густонаселенной Европейской части страны. Положение усугубляется тем, что на большинстве станций сегодня имеет место достаточно высокая степень износа основных производственных фондов. В силу социальных причин наблюдается падение производственной и технологической дисциплины.

Концепция глубокоэшелонированной защиты АЭС включает в себя установку последовательных физических барьеров: топливная матрица и оболочки ТВЭЛов; контур теплоносителя; защитная гермооболочка (ЗГО). С целью реализации концепции создано несколько уровней защиты «в глубину», в том числе:

- поддержание в готовности элементов и систем оборудования АЭС, важных для безопасности объекта (резервирование оборудования, диагностика технического состояния, устранение неисправностей и отказов, качественное проведение планово-предупредительных ремонтов);
- предотвращение перехода значений параметров технологического процесса за пределы безопасной эксплуатации.

Предотвращение АС предусматривает проведение с высоким качеством мероприятий соответствующих таким этапам жизненного цикла АЭС с ВВЭР как создание (проектирование, строительство, монтаж оборудования) и эксплуатация. Для предотвращения неблагоприятного развития инициирующих событий в рамках концепции выполняются различные функции, одной из которых является безусловное обеспечение охлаждения активной зоны реактора (предотвращение перегрева ТВЭЛов и их разрушения). Машина перегрузки (МП) ядерного топлива (ЯТ) предназначена для загрузки, перегрузки и выгрузки тепловыделяющих сборок на остановленном и расхоленном реакторе. Точность наведения на заданную координату составляет ± 3 мм. Мостовой кран радиального действия (полярный кран) устанавливают под куполом ЗГО реакторного отделения АЭС и применяют для перемещения различных грузов в реакторном отделении. Его конструкция позволяет совершать транспортные операции в любой точке здания. Точность наведения груза таким краном должна составлять ± 7 мм. Особую актуальность это требование принимает в случае неисправности МП при реализации АС, требующей выгрузки тепловыделяющих сборок (ТВС) из реактора.

Важнейшей функцией при неблагоприятном развитии событий необходимо считать локализацию и удержание радиоактивных веществ в пределах зоны локализации аварии. Защитная гермооболочка (ЗГО) энергоблока АЭС с ВВЭР – 1000 должна обеспечивать стабильную работу на всем протяжении жизненного цикла объекта.

Эффективность реализации защитных функций гермооболочкой в значительной степени зависит от того – насколько успешным будет противодействие ЗГО нерегламентируемым деструктивным воздействиям, а точнее деструктивным факторам (ДФ) этих воздействий. К ДФ соответствующих воздействий на ЗГО можно отнести: рост избыточного давления и температуры внутри гермозоны; давление во фронте ударной волны; динамическое воздействие кинетического ударника; параметры ударно-теплового воздействия, вызванного падением летательного аппарата; пожарная нагрузка и др. В реальной АС следует ожидать одновременное или комбинированное воздействие нескольких ДФ. Комбинированное воздействие возможно при условии, что первое по времени НДВ явилось источником последующих (вторичных) воздействий.

После монтажа крана радиального действия на подкрановый путь, на консоли, расположенные в районе ходовых колес, воздействует сила, обусловленная его весом. Стена защитной оболочки в зоне крепления консоли воспринимает момент силы, который вызывает упругие деформации стены оболочки. При этом зона крепления консоли является фрагментом стены, где расположенные выше и ниже зоны обладают соответствующей на конкретный момент строительства жесткостью.

Исходя из выше сказанного, при решении проблем безопасности АЭС, где существенная роль отводится подъемно-транспортным системам (ПТС), их следует рассматривать как элемент комплекса «ЯТ – технологическое оборудование (ТО) реакторного отделения – ЗГО».

Безусловно, АЭС является сложной технической системой, обладающей рядом специфических свойств. Проведя ее детализацию, выделим элемент для дальнейшего исследования – энергоблок АЭС. Исследуемый объект S представим в виде модели, которая имеет следующие характеристики:

X – входные воздействия ($x_a \in X, a = \overline{1, N_x}$);

H – внутренние параметры системы ($h_l \in H, l = \overline{1, N_h}$);

Y – выходные параметры ($y_b \in Y, b = \overline{1, N_y}$);

V – набор внешних возмущений ($v_d \in V, d = \overline{1, N_v}$).

При наличии в наборе внешних возмущений НДВ ($V^{НДВ} \cap V, v_d' \in V^{НДВ}, d = \overline{1, N_d}$) возможно возникновение АС, при развитии которой ожидаются исходы G , где $g_j \in G$. Исходы характеризуются критериями $K(g_j)$, в данном случае предпочтения в G можно описать при помощи единственного критерия K , т.е. исход g_0 предпочтительнее других

$$K(g_0) > K(g_j), j = 1, 2, 3. \quad (1)$$

С целью предотвращения возникновения или дальнейшего развития АС выполняются мероприятия защиты объекта S . Реализация этих мероприятий зависит от эффективности, как отдельных элементов, так и всей системы защиты (СЗ) [2]. Здесь под эффективностью будем понимать свойство, определяющее степень пригодности системы для использования по назначению и характеризующее соответствие достигнутого в процессе применения системы результата ожидаемому (требуемому). Способы реализации мероприятий защиты будем называть стратегиями $U (u_m \in U, m = \overline{1, N_u})$. Если задача характеризуется наличием случайных факторов с известными законами распределения (отказ оборудования, случайный «спрос» и т.д.), то каждой стратегии из множества U можно поставить в соответствие распределение на множество исходов. В данном случае, G является конечным множеством, поэтому для стратегии u_m при воздействии v_d' можно определить вероятность $P_j(u_m, v_d')$ появления каждого исхода g_j . Критерий, характеризующий исходы, является случайной функцией $\tilde{K}(u_m)$. Для любой выбранной стратегии распределение $\tilde{K}(u_m)$ известно. Задав число Z , можно определить вероятность того, что $\tilde{K}(u_m)$ примет значение не меньше Z :

$$P(\tilde{K}(u_m) \geq Z) = \gamma(z, u_m). \quad (2)$$

Согласно принципу вероятностного гарантированного результата, задается требуемый уровень и вводится числовая функция $K^z(u) = \gamma(z, u)$, т.е. оптимальная стратегия определяется как нахождение $\max K^z(u)$, где $u \in U$. Однако задача усложняется наличием неопределенности. Это связано с отдаленностью этапа непосредственного применения СЗ, неопределенностью самого момента ее использования, характеристик системы (на момент возникновения НДВ, способного вызвать АС), а также будущих условий применения (сочетание НДВ и их параметров). Технологическое оборудование, а именно ПТС, и защитная гермооболочка, являясь элементами СЗ, в свою очередь также подвергаются НДВ. Это касается не только воздействий непосредственно в момент возникновения АС, а и НДВ в предшествующий период существования энергоблока (возведение, монтаж, испытания, эксплуатация).

Следует отметить, что, являясь составными частями (элементами) энергоблока, ПТС РО и ЗГО оказывают непосредственное воздействие друг на друга как на этапе строительства, так и в период непосредственной эксплуатации (рис.1). Из рисунка видно, что, в отсутствии краткосрочных динамических НДВ при эксплуатации энергоблока, основные изменения параметров происходят во время возведения, монтажа и испытаний ПТС и ЗГО [3].

Для устранения неопределенности при анализе безопасности энергоблока необходимо получить как можно более полные и достоверные сведения о параметрах элементов СЗ, достигнутых в процессе реализации проектных решений при возведении гермооболочки [4] и монтаже ПТС РО [5].

Для устранения неопределенности при анализе безопасности энергоблока необходимо получить как можно более полные и достоверные сведения о параметрах элементов СЗ, достигнутых в процессе реализации проектных решений при возведении гермооболочки [4] и монтаже ПТС РО [5].

На рисунке 2 представлена схема НДВ на оболочку и ПТС РО (без влияния ошибок проектирования) с учетом взаимовлияния.

Здесь представлены следующие воздействия: v'_{1-1} – ошибки монтажа крана кругового действия; v'_{1-2} – отклонения от проекта в период возведения ЗГО; v'_{2-1} – массово-инерционные нагрузки; v'_{2-2} – отклонения от программы испытаний; v'_{2-3} – нарушения при проведении транспортно-технологических операций; v'_{2-4} – нагрузки, приводящие к избыточным деформациям кранового пути; v'_{3-1} – деформация оболочки на горизонте консолей кранового пути в период монтажа, испытаний ККД; v'_{3-2} – деформация оболочки на горизонте консолей кранового пути в процессе преднапряжения; v'_{3-3} – деформация оболочки на горизонте консолей кранового пути в процессе испытания ЗГО; v'_{4-1} – нарушения технологии преднапряжения ЗГО; v'_{5-1} – нарушения программы испытаний.

К началу непосредственной эксплуатации энергоблока внутренние параметры элементов системы представляют собой множество H^0 . Сюда входят конструктивные параметры ($r_{внеш}$, $r_{внут}$ – внешний и внутренний радиусы ЗГО; δ_i – толщина цилиндрической стенки ЗГО в контрольных точках; физико-механические характеристики материалов конструкции ЗГО) и режимные параметры ($\Delta p_{исп}$ – величина избыточного давления испытательной среды при испытаниях ЗГО на прочность; $\Delta p_{ас}$ – прогнозируемая величина избыточного давления среды при проектной АС, которое ЗГО способна выдержать; параметры напряженно-деформированного состояния ГО в контрольных точках; усилия в арматурных канатах системы преднапряжения защитной оболочки; нагрузки от ККД). Диапазон значений параметров должен соответствовать проектным допускам, которые определяются с

учетом внешних расчетных воздействий (РВ), принятых во внимание при проектировании. Ограничения на параметры заданы выражением:

$$\eta_i(h_i^0) \leq 0, \quad i = \overline{1, w}; \quad h_i^0 \in H^0 \quad (2)$$

где w – количество ограничений на параметры объекта.



Рис. 1. – Порядок деструктивных воздействий и их последствия для комплекса ЯТ – технологическое оборудование (ТО) реакторного отделения – ЗГО

Реальные значения внутренних параметров (множество H) могут отличаться от результатов проектирования, а точнее, находиться вне допуска. Как уже отмечалось,

необходимо получить как можно более полные и достоверные сведения о параметрах элементов исследуемого объекта, достигнутых в процессе реализации проектных решений при возведении гермооболочки и монтаже ПТС РО. Чтобы избежать разночтения, а также добиться обязательного выполнения работ по инструментальному контролю в требуемом объеме необходимо разработать и утвердить в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору единые стандартные программы:

1) Программу инструментального контроля строительных конструкций защитной оболочки энергоблока АЭС с ВВЭР в период возведения, преднапряжения, приёмосдаточных испытаний и эксплуатации.

2) Программу входного контроля геометрических параметров ходовой части крана радиального действия и оценка их соответствия проектным решениям.

3) Программу комплексного обследования рельсового пути крана радиального действия в период монтажа и эксплуатации.

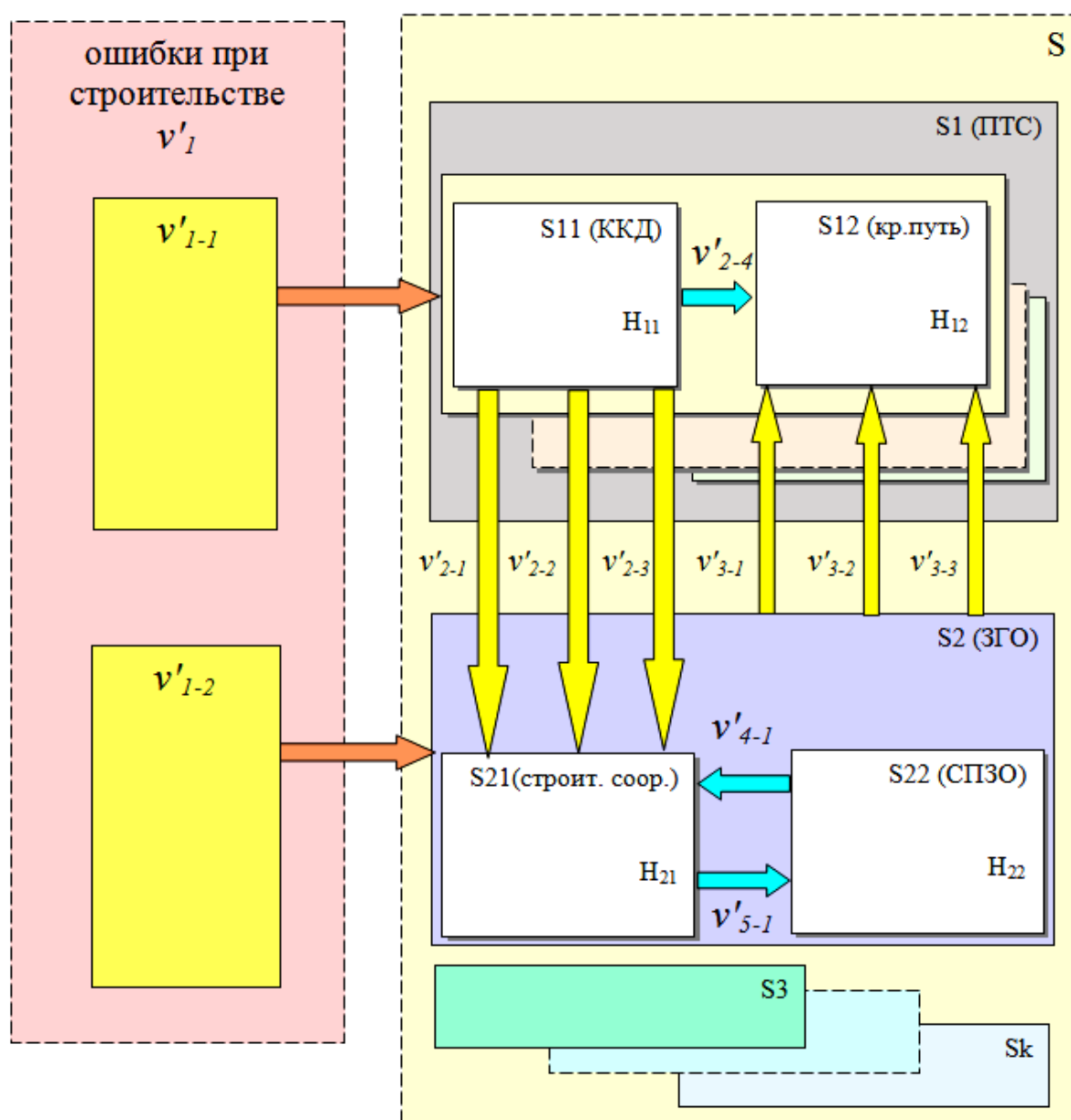


Рис. 2. – Схема НДВ в период строительства и испытаний

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Острейковский, В.А. и др.* Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. [Текст] / В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 352 с.
2. *Губеладзе, О.А.* Исследование эффективности системы физической защиты ядерноопасных объектов [Текст] / О.А. Губеладзе // Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – Спецвыпуск. – С. 127–129.
3. *Пимшин, Ю.И. и др.* Влияние крана кругового действия на техническое состояние строящейся защитной оболочки АЭС [Текст] / Ю.И. Пимшин, Е.Б. Ключин, О.А. Губеладзе, В.Н. Медведев, С.М. Бурдаков, Ю.В. Заяров // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №2. – С. 33–42.
4. НП–010–16. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила устройства и эксплуатации локализирующих систем безопасности атомных станций». Приказ Ростехнадзора от 24.02.2016 №70 (ред. от 17.01.2017) [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: URL: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196163/ – 27.08.2017.
5. НП–043–11. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов для объектов использования атомной энергии". Приказ Ростехнадзора от 30.11.2011 №672 (ред. от 19.11.2013) [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: URL: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125802/4c55d1a30b908c9a13add7e2e5976ffbd97f4b4e/ – 27.08.2017.

REFERENCES

- [1] Ostreykovskiy V.A., Shvyryaev Yu.V. Bezopasnost atomnykh stantsiy. Veroyatnostnyy analiz [Safety of Nuclear Power Plants. Probability Analysis.]. M. Pub. "FIZMATLIT" [physical and mathematical literature publishing house], 2008, 352 p. (in Russian)
- [2] Gubeladze O.A. Issledovanie effektivnosti sistemy fizicheskoy zashchity yadernoopasnykh ob'ektov [Research of System Effectiveness of Nuclear-Dangerous Object Physical Protection]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazsky region. Tehnicheskiye nauki. [Scientific and Educational Applied Journal. University News of North-Caucasian Region. Technical Science Series], 2008, Special issue, ISSN 0321-3005, pp.127–129. (in Russian)
- [3] Pimshin Yu.I., Klyushin E.B., Gubeladze O.A., Medvedev V.N., Burdakov S.M., Zayarov Yu.V. Vliyanie krana krugovogo deystviya na tekhnicheskoe sostoyanie stroyashcheyasya zashchitnoy obolochki AES [Influence of Circular Action Crane on Technical Condition of the NPP Constructing Tight Cover]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №2(19), eISSN 2499-9733, ISSN 2305-414X, pp. 33–42. (in Russian)
- [4] NP–010–16. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii «Pravila ustroystva i ekspluatatsii lokalizuyushchikh sistem bezopasnosti atomnykh stantsiy». Priказ Rostekhnadzora ot 24.02.2016 №70 (red. ot 17.01.2017). [Federal Standards and Rules of Atomic Energy Use "The Rule of the Device and Operation of the Localizing Security Systems of Nuclear Power Plants". Order of Rostekhnadzor , 24.02.2016 №70 (edition of 17.01.2017)]. Ofitsial'nyy sayt kompanii «Konsul'tant Plyus» [Official site of the Consultant Plus Company], 2017. Available at: https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196163/ – 27.08.2017. (in Russian)
- [5] NP–043–11. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii "Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii gruzopod'emnykh kranov dlya ob'ektov ispol'zovaniya atomnoy energii". Priказ Rostekhnadzora ot 30.11.2011 №672 (red. ot 19.11.2013). [Federal Standards and Rules of Atomic Energy Use "Rules for the Construction and Safe Operation of Load-Lifting Cranes for subjects of Atomic Energy Use ". Order of Rostekhnadzor, 30.11.2011 №672 (edition of 19.11.2013)]. Ofitsial'nyy sayt kompanii «Konsul'tant Plyus» [Official site of the Consultant Plus Company], 2017. Available at: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125802/4c55d1a30b908c9a13add7e2e5976ffbd97f4b4e/ – 27.08.2017. (in Russian)

Definition of Geometrical, Physical and Mechanical Characteristics of the NPP Power Unit Elements and Their Use as Input Data for the Safety Probability Analysis

O.A. Gubeladze^{*1}, A.R. Gubeladze^{*2}, S.M. Burdakov^{**3}

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

¹e-mail: buba26021966@yandex.ru

ORCID iD: 0000-0001-6018-4989

WoS ResearcherID: F-6921-2017;

²e-mail: buba26021966@yandex.ru

ORCID iD: 0000-0002-6966-6391

WoS ResearcherID: F-7215-2017 ;

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

³e-mail: SMBurdakov@mephi.ru

ORCID iD: 0000-0002-8599-6008

WoS ResearcherID: F-6903-2017

Abstract – Lifting and transport systems (LTS) of the reactor compartment (RC) are considered as an element of the "nuclear fuel - technological equipment of the reactor compartment - protective pressure-tight shell (PPHTS)" complex when solving the safety problems of nuclear power plants. It should be noted that being elements of the power unit, LTS RC and PHC make immediate impact at each other both at a construction stage, and during immediate operation. Actual values of internal parameters of the constructed power unit can differ from results of projection.

The objective of work is to research possibility of indeterminacy elimination in the probability analysis of the NPP power unit with WWER safety by receiving the fullest and reliable object parameters data reached during design decision implementation at construction of a containment and installation of lifting and transport systems of the reactor compartment.

Keywords: protective pressure-tight shell, radial action crane, safety probability analysis, independent destructive influences.

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

УДК 621.039

**АНАЛИЗ КРУПНЕЙШИХ АВАРИЙ НА РАДИАЦИОННЫХ
ОБЪЕКТАХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕМПЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ**

© 2017 Е.Р. Мухамеджанова, В.А. Акатьев

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В статье представлен обзор о последствиях самых масштабных аварий в мире, отнесенных к 6-му и 7-му уровням последствий по классификации INES в атомной энергетике. Целью исследования было показать как может повлиять авария АЭС на темпы развития атомной энергетики. В результате исследования была дана оценка влияния по результатам докладов различных служб, правительств и ученых, краткое описание которых дано в статье.

Ключевые слова: INES, авария, темпы развития, АЭС.

Поступила в редакцию: 10.09.2017

До катастрофы на Чернобыльской АЭС (1986) атомная энергетика развивалась быстро, темпы ее развития в 1980-1985 гг. составляли около 15%. После Чернобыльской катастрофы темпы развития мировой атомной энергетики замедлились. Во многих странах были приостановлены программы развития атомной энергетики, а в ряде стран вообще отказались от намеченных ранее планов по ее развитию. Поэтому, к 2011 г. на АЭС, работающих в 37 странах мира, вырабатывалось 9-10% мирового производства электроэнергии. После аварии 11 марта 2011 года на АЭС (Фукусима-1) в Японии вопрос о новом пересмотре политики развития ядерной энергетики во многих странах встал особенно остро. Национальные программы производства энергии на АЭС были пересмотрены, что повлияет на будущие темпы развития атомной энергетики в мире.

КЛАССИФИКАЦИЯ АВАРИЙ НА АЭС

Аварии на АЭС по масштабу классифицируются в соответствии с международной 7- балльной шкалой ядерных событий (INES). По версии Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) седьмым (крупным) уровнем опасности за всю историю развития атомной энергетики оцениваются три аварии – это катастрофы на химкомбинате «Маяк» (Кыштым, 1957), Чернобыльской АЭС (1986) и АЭС «Фукусима-1» (2011) [2].

Чернобыльская катастрофа, СССР (ныне Украина). 26 апреля 1986 года
Рейтинг: 7 (крупная авария)

Из-за нарушений в системе обеспечения безопасности реактора и ошибок при эксплуатации реактор четвертого энергоблока перегрелся и был полностью разрушен взрывом. Моментально начался пожар, который не прекращался 10 суток. За это время

суммарный выброс радиоактивных материалов в окружающую среду составил около 14 ЭБк. Радиоактивному загрязнению подверглось более 200 тыс. кв. км, из них 70% – на территории Украины, Белоруссии и России. Наиболее загрязнены были северные районы Киевской и Житомирской обл. Украинской ССР, Гомельская обл. Белорусской ССР и Брянская обл. РСФСР. Радиоактивные осадки выпали в Ленинградской обл., Мордовии и Чувашии. Радиоактивное облако от аварии прошло над европейской частью СССР, Восточной Европой и Скандинавией. В зоне аварии работали силы и средства Минобороны, Госгидромета и Минздрава СССР. В ликвидации последствий аварии участвовали более 600 тыс. человек. Был разработан проект саркофага, получившего название «Укрытие». На строительство Укрытия ушло 400 тысяч кубометров бетонной смеси и 7 тысяч тонн металлоконструкций. Объект был построен в кратчайшие сроки (206 суток). В постройке Укрытия было задействовано 90 тысяч человек [1], руководил монтажными работами В. И. Рудаков. Позже сооружению было дано неофициальное имя «Саркофаг». От лучевой болезни разной степени пострадали более 100 тысяч человек, а 30-километровая зона уже 30 лет остаётся безлюдной. Станция навсегда прекратила свою работу лишь 15 декабря 2000 года.

АЭС «Фукусима-1», Япония. 11 марта 2011 года
Рейтинг: 7 (крупная авария)

Авария вызвана землетрясением и последовавшим за ним цунами. Землетрясение магнитудой 9 привело к отключению электроснабжения АЭС, а вызванное землетрясением цунами – к затоплению и отключению резервной дизельной электростанции, в результате чего прекратилось охлаждение реакторов, произошел перегрев и взрыв реактора первого энергоблока АЭС. Выбросы радиоактивных веществ по состоянию на 12 марта 2011 года составили 0,15 ЭБк йода-131 и 12 ТБк цезия-137[4].

Кыштым, СССР (ныне Россия). 29 сентября 1957 года
Рейтинг: 6 (серьёзная авария)

Кыштымская авария – очень серьёзная радиационная техногенная авария на химкомбинате «Маяк», расположенном в закрытом городе «Челябинск-40» (с 1990-х гг. – Озёрск). Авария получила свое название Кыштымской по той причине, что Озёрск был засекречен и отсутствовал на картах до 1990 года, а Кыштым – ближайший к нему город. 29 сентября 1957 года из-за выхода из строя системы охлаждения произошёл взрыв ёмкости объёмом 300 м³, где содержалось около 80 м³ высокорadioактивных ядерных отходов. Взрывом, оцениваемым в десятки тонн в тротиловом эквиваленте, ёмкость была разрушена, бетонное перекрытие толщиной 1 метр весом 160 тонн отброшено в сторону, в атмосферу были выброшены радиоактивные вещества 0,74 ЭБк. При этом облако радиоактивных веществ было поднято взрывом на высоту 1-2 км. В течение 10-11 часов радиоактивные вещества выпали на протяжении 300-350 км в северо-восточном направлении от места взрыва (по направлению ветра). Более 23 тыс. квадратных километров оказались в загрязнённой радионуклидами зоне. На этой территории находилось 217 населённых пунктов с более 280 тысячами жителей, ближе всех к эпицентру катастрофы было несколько заводов комбината «Маяк», военный городок и колония заключённых. Для ликвидации последствий аварии привлекались сотни тысяч военнослужащих и гражданского населения, получивших значительные дозы облучения. Территория, которая подверглась радиоактивному загрязнению в результате взрыва на химкомбинате, получила название «Восточно-Уральский

радиоактивный след”. Общая его длина составила примерно 300 км, ширина – 5-10 км [5].

Эти аварии изменили сотни тысяч судеб, нанесли огромный экономический ущерб и сокрушительный удар по атомной отрасли, но это только очевидные последствия катастрофы, а есть и другие, отголоски которых мировая общественность до сих пор ощущает на себе.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

В настоящее время насчитывается 450 действующих ядерных энергетических реакторов в 31 стране мира. Согласно докладу о состоянии индустрии ядерной энергетики на 2016 год в отрасли наблюдается спад. Пик производства ядерной энергии был зафиксирован в 2006 году (2660 ТВт·ч). Доля ядерной энергетики в глобальном производстве электричества снизилась с 17,6 % в 1996 году до 10,7 % в 2016 году. 158 реакторов были окончательно остановлены.

Лидируют в области использования атомной энергетики США, где в эксплуатации находится 109 энергоблоков общей электрической мощностью 105,4 ГВт. Во Франции работает 56 энергоблоков мощностью 61 ГВт. Далее следует Япония, где работает 52 энергоблока общей мощностью 44 ГВт, и Германия с 20 энергоблоками мощностью 23,5 ГВт.

Очень активно развивается Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР), в котором ограниченные в запасах топлива и гидроресурсов государства уделяют большое внимание национальным программам по ядерной энергетике. Из 53 строящихся энергоблоков 20 сооружается в Азии и на Дальнем Востоке. Планируется, что через 10–15 лет общее число коммерческих реакторов в АТР приблизится к 120, а в 2030 г. Здесь будут действовать более трети всех АЭС мира.

Увеличение объема генерирующих мощностей будет по большей части происходить в странах, уже имеющих ядерно-энергетические программы. К 2030 году число стран с действующими АЭС вырастет с 31 до 35. Наиболее вероятные кандидаты: Литва, ОАЭ, Турция, Беларусь, Вьетнам, Польша.

В то же время в мире существует противоположные тенденции стагнации и даже отказа от ядерной энергетики. Италия стала единственной страной, закрывшей все имевшиеся АЭС и полностью отказавшейся от ядерной энергетики. Бельгия, Германия, Испания, Швейцария осуществляют долгосрочную политику по отказу от ядерной энергетики. После аварии на АЭС Фукусима-1 некоторые государства (Нидерланды, Тайвань, Швеция), в которых имеются АЭС, планировали отказаться от атомной энергетики, но в настоящее время они приостановили такие мероприятия [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Атомная энергетика является надежным и экономически выгодным способом обеспечения страны электроэнергией. Авария на японской АЭС показала, что обеспечение безопасности радиационных объектов всегда должно находиться в приоритете. Рассмотренные аварии показали, что даже самые высокотехнологичные объекты с самым современным уровнем безопасности на разных промежутках времени могут привести к необратимым последствиям. При этом все 3 катастрофы связаны с прекращением охлаждения активной зоны.

В настоящее время во многих странах приостановлена эксплуатация отдельных энергоблоков АЭС, пересмотрены программы развития атомной энергетики стран, пересматриваются мероприятия по усилению требований безопасности, в частности,

принимаются следующие меры: ужесточение стандартов безопасности АЭС; замена устаревших реакторов на современные; повышение мер безопасности на стадиях проектирования и строительства энергоблоков АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство для пользователей международной шкалы ядерных и радиологических событий [Текст] / МАГАТЭ и ОЭСР. Изд-во МАГАТЭ. – 2008. – 238 с.
2. Авария на Чернобыльской АЭС и её последствия: Информация ГК АЭ СССР, подготовленная для совещания в МАГАТЭ [Текст] / Доклад ГК АЭ СССР. – Вена, 25–29 августа 1986.
3. *Дмитриев, В.М.* Чернобыльская авария: Причины катастрофы [Текст] / В.М. Дмитриев // Безопасность в техносфере. – 2010. – №1. – С. 38.
4. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт [Электронный ресурс] // докл. эксперт. группы "Экология" Чернобыл. форума. – 2008. – Режим доступа: URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239r_web.pdf. – 10.03.2017.
5. *Гурачевский, В.Л.* Введение в атомную энергетику. Чернобыльская авария и ее последствия: [Текст] / В.Л. Гурачевский // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет». – 2013. – 187 с.
6. Причиной аварии на АЭС «Фукусима-1» стал человеческий фактор: доклад [Электронный ресурс] // РИА-новости: сетевой журн. – 05.07.2012. – Режим доступа: URL: <https://ria.ru/eco/20120705/692257114.html> – 10.03.2017.
7. Medvedev Zh. A. Nuclear Disaster In The Urals. TBS The Book Service Ltd, 1979, ISBN 0-207-95896-3 / 0-207-95896-3.
8. *Романов, Г.Н.* Кыштымская авария: секреты и мифы (западный анализ аварии 1957 г.) [Текст] / Г.Н. Романов // Вопросы радиационной безопасности. – 1997. – №3. – С. 63–71.
9. *Тихонов, М.В. и др.* Уроки Чернобыля и Фукусимы: культура и концепция безопасности на объектах использования атомной энергии [Текст] / М.В. Тихонов, М.И. Рылов // Экологические системы и приборы. – 2013. – №12. – С. 38–50.
10. Беларусь и Чернобыль: 25 лет. – Минск: Институт радиологии, 2012. – 103 с.
11. Атомная энергетика в XXI веке, международная конференция: тезисы докладов. – Минск: Национальная академия наук Беларуси, 2011. – 41 с.
12. *Пономарев-Степной, Н.Н.* Роль атомной энергетики в структуре мирового энергетического производства XXI века [Текст] / Н.Н. Пономарев-Степной // Экологические системы. – 2006. – № 8.

REFERENCES

- [1] Rukovodstvo dla polzovatelei megdynarodnoi skali idernux u radiologicheskix sobitii. MAGATE [Guidelines for Users of the International Scale of Nuclear and Radiological Events. IAEA]. 2008. – 238 p. (in Russian)
- [2] Avaria na Chernobilskoy AEC u ee posledstvia: Informatcia USSR dlya MAGATE [Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences: Information of the Civil Aviation Committee of the USSR prepared for the IAEA meeting]. Vienna, 25–29, August, 1986. (in Russian)
- [3] Dmitriev V.M. Chernobylskay avaria: Prichina katastrophi [Chernobyl Accident: Causes of the Disaster]. Safety in technosphere, 2010, №1, p. 38. (in Russian)
- [4] Ecologicheskies posledstvia avarii na Chernobilskoy AEC u ih preodolenie: 20 opit doklad gruppi Ecologia [Ecological Consequences of the Chernobyl Disaster and Overcoming Them: Twenty Years of Experience, report of "Ecology" expert group], 2008. Available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239r_web.pdf
- [5] Gyrachevskii V.L. Vvedenie v atomnyu energetiky. Chernobilskai aavaria u ee posledstvia [Introduction to Nuclear Power. Chernobyl Accident and its Consequences:] BGATU. – 2013. – 187 с.
- [6] Prichinou avarii na AEC Fukushima-1 stal chelovecheskii factor: doklad. 05.07.2012. [The Cause of the Accident at the "Fukushima-1" Nuclear Power Plant was the Human Factor: a report] Available at: <https://ria.ru/eco/20120705/692257114.html> (in Russian)
- [7] Medvedev Zh.A. Nuclear Disaster In The Urals. TBS The Book Service Ltd, 1979, ISBN 0-207-95896-3 / 0-207-95896-3. (in English)

- [8] Romanov G.N. Kishtimskay avaria: sekreti u mifi (zapadnii analiz avarii 1957 g.) [Kyshtym Accident: Secrets and Myths (Western Analysis of the 1957 Accident)] Issues of radiation safety, 1997, №3, pp. 63–71. (in Russian)
- [9] Tihonov M.V., Rilov M.I. Yroki Cgernobyl u Fukushima: kultura i kontseptia bezopasnosti na obiektax ispolizovania atomnai energii [Lessons of Chernobyl and Fukushima: Culture and the Concept of Safety at Nuclear Facilities]. Ecological systems and devices, 2013, №12, pp. 38–50. (in Russian)
- [10] Belarus and Chernobyl: 25 years. Minsk. Pub. Institute of radiology, 2012, 103 p. (in Russian)
- [11] Atomnaya energetika v XXI veke, megdunarondnai konfernzia: tezisi dokladov [Nuclear Energy in the XXI Century, International Conference: abstracts.]. Minsk. Pub. The national Academy of Sciences of Belarus, 2011, 41 p. (in Russian)
- [12] Ponomarev-Stepnoi N.N. Rol atomnoi energetiki v srukture mirovogo energeticheskogo proizvodstvo XXI veka [Role of Nuclear Power in the Structure of the World Energy Production of the 21st Century]. Environmental systems, 2006, №8. (in Russian)

Analysis of Major Accidents at Radiation Facilities and their Impact on World Nuclear Energy Development

E.R. Mukhamedzhanova^{*}, V.A. Akatiev^{}**

*Bauman Moscow State Technical University «BMSTU»,
2nd Bauman Str., 5, Moscow, Russia 105005*

^{}e-mail.ru: muk-lena46@yandex.ru*

*^{**}e-mail.ru: akatiev07@mail.ru*

Abstract – The article presents an overview of the biggest world accident consequences, related to the 6-th and 7-th levels of impact according to INES nuclear power classification. The purpose of the research – to show how the nuclear power plant accident could affect the rate of development of nuclear energy. As a result of the study, an assessment is made of the impact on the results of reports of various services, governments and scientists, a brief description of which is given in the article.

Keywords: INES, accident, pace of development, nuclear power plants.

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

УДК 621.039:351.862.82

**РОЛЬ УРАЛА В СОЗДАНИИ И РАЗВИТИИ
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ**

© 2017 Д.В. Гаврилов

*Институт истории и археологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург,
Россия*

В статье отмечается, что Урал, основной район советской атомной промышленности, стал одним из важных центров создания и развития отечественной радиоэкологии. Анализируются обстоятельства, способы и этапы развития в регионе радиоэкологических исследований. Показано, что опасность радиации потребовала проведения радиоэкологических исследований, загрязнённость радионуклидами бассейна реки Течи, взрыв на ПО «Маяк» в 1957 г., необходимость реабилитации радиоактивных загрязнений расширили и углубили исследования, вызвали создание новых экологических научно-исследовательских учреждений. Сделан вывод о роли уральских учёных в создании и развитии отечественной радиоэкологии и разработке норм культуры радиационной безопасности.

Ключевые слова: радиоэкология, Уральский атомный комплекс, река Теча, авария, ПО «Маяк», Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), реабилитация радиоактивных загрязнений, культура радиационной безопасности.

Поступила в редакцию: 10.09.2017

ФОРМИРОВАНИЕ УРАЛЬСКОГО АТОМНОГО КОМПЛЕКСА

Урал – «опорный край державы», «кузница оружия» в годы Великой Отечественной войны, в послевоенный период стал районом размещения объектов атомной промышленности, превратился в мощный арсенал ядерного оружия. Овладение советскими учёными и промышленными предприятиями способами использования энергии, выделяющейся при цепных реакциях деления тяжёлых ядер изотопов урана и плутония, при термоядерных реакциях синтеза лёгких ядер изотопов водорода позволили создать на Урале разветвлённый комплекс по производству ядерного оружия большой разрушительной силы.

Агрессивная политика США, открыто заявившая свои претензии на мировое господство, провозглашение США и их союзниками политики «отбрасывания коммунизма» (март 1946 г. – речь У. Черчилля в Фултоне, март 1947 г. – «доктрина Г. Трумэна»), американские планы массовой атомной бомбардировки городов и военных объектов СССР («Тоталити» («Тотальный») – конец 1945 г., «Пинчер» («Клещи») – 1946 г., «Сизл» («Испепеляющий удар») – 1948 г., «Дробшот» («Моментальный удар») – 1949 г., предполагавший бомбардировку 300 атомными бомбами 200 советских городов, «Шейкдаун» («Встряска») – 1950 г. и др.) заставили советское руководство для укрепления обороны страны ускоренными темпами создавать свою атомную промышленность и свою атомную бомбу [1–3].

Советскими учёными ещё в 1920-х гг. активно велось изучение радиоактивных материалов. Великий русский учёный В.И. Вернадский, в 1922 г. основавший Радиевый институт, в 1926 г. выявил огромную энергию, заключённую в атомном ядре и предупредил мир о возможности использования атомной энергии в военных целях, об опасности создания атомного оружия, об огромной ответственности учёных перед обществом, предостерёг человечество об опасности самоистребления [4].

В 1930-х гг. учёными в ряде стран, в том числе в СССР, удалось осуществить экспериментальное расщепление атомного ядра. Внезапное исчезновение в 1938 г. в западной печати публикаций по атомной проблематике, нелегальные известия о развитии в Англии, США и Германии ядерных работ встревожили советских учёных. 12 июня 1939 г. В.И. Вернадский, В.Г. Хлопин, А.Е. Ферсман обратились с письмом в Президиум АН и Совнарком СССР о необходимости организации работ по урану и важности срочного использования урановых руд для получения урана-235. 30 июля 1939 г. была создана Урановая комиссия из 14 видных учёных, в которую вошли В.Г. Хлопин, В.И. Вернадский, А.Ф. Иоффе, И.В. Курчатов, С.И. Вавилов, П.Л. Капица, Ю.Б. Харитон и др. [5].

Испытание в США 16 июля 1945 г. в Аламогордо атомной бомбы, атомные бомбардировки американцами 6 и 9 августа 1945 г. японских городов Хиросима и Нагасаки форсировали в СССР работы по «Атомному проекту». 20 августа 1945 г. постановлением Государственного Комитета Оборона (ГКО) был создан наделённый очень широкими полномочиями Специальный Комитет, на который было возложено руководство всеми работами по использованию внутриатомной энергии. Для непосредственного руководства научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими и промышленными предприятиями по использованию внутриатомной энергии было организовано Первое главное управление при СНК СССР. Решениями Спецкомитета от 26 октября 1945 г. и постановлением СНК СССР от 1 декабря 1945 г. были определены места для строительства атомных объектов на Урале [6].

В 1946–1950 гг. на Урале бурными темпами развернулось строительство предприятий, обеспечивших крупномасштабное производство делящихся материалов – плутония-239 и урана-235, выпускавших измерительные приборы и устройства автоматики для атомной промышленности. В 1948 г. был пущен комбинат «Маяк» (Челябинск-40), сооружённые на нём первые отечественные ядерные реакторы стали выделять из массы урана и радионуклидов деления плутоний-239, из которого изготовлена первая советская атомная бомба, испытанная 29 августа 1949 г. на Семипалатинском полигоне в Казахстане. Базовые физические и технологические разработки проблемы осуществляли академики И.В. Курчатов, В.Г. Хлопин, А.А. Бочвар, А.Н. Вольский, А.П. Виноградов, А.П. Александров и др. С 1948 г. начал работать комбинат «Электрохимприбор» (Свердловск-45), занятый производством ядерных боеприпасов, научное руководство осуществлял академик Л.А. Арцимович. В 1949 г. дал первую продукцию Уральский электрохимический комбинат (Свердловск-44), осуществивший выделение из высокообогащенного урана путём газодиффузионного разделения оружейного урана-235. Позднее газодиффузионирование было вытеснено более эффективным и более производительным центрифугированием. Научное руководство осуществлял академик И.К. Кикоин. В 1955 г. пущен Приборостроительный завод (Златоуст-36), специализировавшийся на серийном производстве ядерных боеприпасов.

В 1949–1953 гг. была освоена технология термоядерной бомбы, её первое испытание проведено 12 августа 1953 г. В 1955 г. создан Всесоюзный научно-исследовательский институт технической физики, ныне – Российский федеральный

ядерный центр (Челябинск-70), занимающийся исследованием проблем атомной промышленности и созданием образцов ядерного оружия. Его научными руководителями были член-корреспондент АН СССР К.И. Щелкин, академики РАН Е.И. Забабахин, Е.Н. Аврорин, с 2007 г. – Г.Н. Рыкованов. На Урале появились закрытые города Снежинск, Озёрск, Новоуральск, Лесной, Трёхгорный, Заречный [7–13].

Успешное овладение ядерной энергией и создание атомной бомбы в стране, только что понесшей в войне огромные людские и материальные потери, шло восстановление разрушенного войной народного хозяйства, показало огромные возможности советской мобилизационной экономики, позволило, благодаря оперативной системе управления и концентрации ресурсов всей страны, в короткий срок ликвидировать атомную монополию США [14].

ПЕРВЫЕ ШАГИ К ОСВОЕНИЮ

Высокая концентрация на Урале предприятий ядерного цикла, энергетических и исследовательских реакторов, источников ионизирующих излучений, газоаэрозольные выбросы в атмосферу радионуклидов, сброс в водоёмы радиоактивных вод, накопление потенциально опасных высокоактивного плутония и отвалного гексафторида урана в непригодных хранилищах привели к радиоактивному загрязнению окружающей среды. Производственный персонал ядерных объектов в первые годы их эксплуатации, вследствие конструктивных недостатков, неотработанности технологий, недостаточного внимания к условиям труда постоянно получал дозы радиоактивного облучения, превышавшие допустимый уровень [15–17].

Опасность радиационного облучения часто игнорировалась, на случавшиеся поломки, неполадки оборудования, нарушения технологических регламентов не обращалось должного внимания, среди обслуживавшего персонала, включая руководителей, преобладали благодушие и самоуспокоенность. Сведения о радиационной обстановке на ядерных производствах и облучении работников превышавшими допустимый уровень дозами были секретными и от общественности тщательно скрывались. По проблемам радиационной безопасности публиковались только технические справочники, в работах о «мирном атоме» пропагандировалась идея о его полной безопасности [18–20].

Овладение ядерными технологиями потребовало решения многих новых не только теоретических, технических, экономических, производственных, но и биологических и медицинских вопросов. Учитывая опасность атомных производств для здоровья людей, в 1946 г. для изучения медико-биологических проблем в атомной промышленности был создан Институт биофизики Министерства здравоохранения СССР. В биофизической лаборатории Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, по поручению И.В. Курчатова, в конце 1940 – начале 1950 гг. под руководством В.М. Ключковского были предприняты исследования закономерностей распространения радионуклидов в природных средах и влияния ионизирующих излучений на растения и животных [21].

На комбинате «Маяк», на озере Сунгуль, недалеко от Каслей, для изучения радиоэкологической ситуации в 1947 г. была создана лаборатория НКВД «Б». Ей было поручено исследование последствий радиоактивного загрязнения биосферы, биологической очистки сточных вод, воздействия радиации на живые организмы, способов защиты от поражающего действия радиоактивных веществ. В лаборатории работали заключённые специалисты, в том числе профессор С.А. Вознесенский; биолог и генетик Н.В. Тимофеев-Ресовский, находившийся с 1927 по 1945 г. в Германии,

«невозвращенец», директор Кайзер Вильгельм Института биофизики и генетики в Берлин-Бухе, в 1945 г. депортированный в СССР и приговорённый за измену родине к 10 годам лишения свободы, в 1955 г. амнистированный; вывезенные из Германии немецкие биофизики, радиобиологи, радиохимики, медики – К. Циммер, Г. Бор, А. Кач, В. Менке, Н. Риль и др. В лаборатории С.А. Вознесенского проводились исследования по переработке радиоактивных отходов в нейтральные вещества, выведению радиоизлучателей из живых организмов. Под руководством Н. В. Тимофеева-Ресовского изучалось поведение радиоактивных веществ в различных условиях биосферы, влияние ионизирующих излучений на организмы в биоценозах [22].

В 1953–1954 гг. на комбинате «Маяк» был создан Филиал № 1 Института биофизики Минздрава СССР. Главным направлением его исследований стало совершенствование диагностики и лечения лучевых заболеваний, разработка методов прогноза и профилактики воздействия радиации на организм человека, радиационной гигиены труда, радиационной безопасности [23–24]. В 1955 г. лаборатория «Б» была расформирована, радиобиологи переведены в Уральский филиал АН СССР (УФАН СССР), часть их обосновалась на биостанции, организованной на берегу озера Большое Миассово в Ильменском заповеднике Челябинской области. Её возглавил В.Н. Тимофеев-Ресовский, обладавший широким научным кругозором, но не имевший никаких учёных степеней и званий и диплома о высшем образовании. На биостанцию летом приезжали сотрудники из разных научных учреждений и студенты вузов, проводились дискуссии и творческие семинары. Эксперименты сотрудников биостанции позволили накопить значительный научный материал по биогеоценологии, радиобиологии и радиоэкологии [25].

ЗАГРЯЗНЕНИЕ БАССЕЙНА РЕКИ ТЕЧИ, ВЗРЫВ В 1957 г. НА ПО «МАЯК»

Первые ядерные объекты на Урале строились ускоренными темпами, в чрезвычайной спешке, когда требовалось как можно скорее создать атомное оружие, сложные и опасные для здоровья людей технологические процессы вводились при отсутствии производственного опыта и необходимых знаний, осваивались на ходу, при игнорировании мер радиационной безопасности.

На комбинате «Маяк» (Челябинск-40) в первые годы его деятельности (1949–1951) жидкие радиоактивные отходы сбрасывались в реку Теча, далее шли по рекам Исеть – Тобол – Иртыш – Обь вплоть до Северного Ледовитого океана, что привело к радиационному загрязнению воды, донных отложений, почв и растительности всей речной системы. За период 1949–1952 гг. в гидросистему Теча – Исеть – Тобол было сброшено 76 млн м³ сточных вод суммарной активностью около 2,75 млн Ки. Из-за режима секретности населению не сообщалось об опасности для здоровья пользоваться радиоактивной водой, оно продолжало использовать её для хозяйственно-бытовых нужд [26–27, 16, с. 29–38].

В начале 1950-х гг., когда стала очевидной опасность продолжения сброса радиоактивных вод в реку Теча, руководством комбината стали приниматься меры для снижения уровня радиоактивных отходов, по очистке сбросовых радиоактивных вод. Этими проблемами занимались И.В. Курчатов, А.П. Александров, Е.П. Славский, Б.Г. Музруков, дозиметрические службы комбината, лаборатория «Б», Научно-технический Совет Министерства среднего машиностроения, Технический Совет Первого главного управления, Институты АН СССР: биофизики, прикладной геофизики, радиевый, физической химии, общей и неорганической химии и др. Несмотря на привлечение значительных научных сил, создать удовлетворительную технологию переработки радиоактивных отходов тогда не удалось [6, Кн. 1. с. 350; 2002. Кн. 4. с. 619, с. 622, с.

670–671; 2005. Кн. 5. с. 231–233].

Сброс радиоактивных вод в Течу был прекращён, сооружена система гидротехнических сооружений – плотин, дамб, прудов-отстойников, призванных предупредить выход радиоактивных отходов в озеро Кызыл-Таш и реку Теча. Населению было запрещено использовать из неё воду, прибрежная полоса ограждена проволочными заграждениями. Высокоактивные радиационные стоки стали сливать в превращённое в естественный отстойник озеро Карачай, не имевшее выхода в близлежащие водоёмы [18, с. 30–33].

29 сентября 1957 г. на комбинате «Маяк» из-за неправильной организации охлаждения емкостей, резкого разогрева нитратно-ацетатного осадка в хранилище произошёл взрыв смеси нитратных и ацетатных солей. Взорвалась банка № 14 – цилиндр из нержавеющей стали в бетонном каньоне диаметром 9 и глубиной 7.4 м, содержащий 70–80 т радиационных веществ. Бетонная плита весом в 160 т, перекрывавшая каньон, взрывом была сорвана и отброшена на 25 м, разрушена кирпичная стена дома, находившегося в 200 м, выбиты стёкла в зданиях на расстоянии 1,8 – 2 – 2,7 км.

Взрыв поднял в атмосферу около 2 млн Ки радиоактивных веществ, радиоактивное облако из жидких и твёрдых аэрозолей, образовавшееся на высоте в 1–2 км, под действием ветра двинулось на северо-восток, рассеивая в окружающую среду радионуклиды и через 10–11 часов иссякло близ г. Тюмени. Радионуклидами была загрязнена территория в форме эллипса длиной в 345 км при ширине 30–50 км общей площадью 23 тыс. км², получившая название Восточно-Уральский радиоактивный след [28, 29].

Сведения о взрыве на комбинате «Маяк» официальными властями тщательно скрывались и даже после опубликования в 1976 г. эмигрировавшим на Запад диссидентом Жоресом Медведевым сенсационного сообщения о взрыве близ г. Кыштыма в английской газете «Нью-Сайентист» и издания им в США в 1979 г. книги «Ядерная катастрофа на Урале», написанных без знания достоверных данных о взрыве, на основании слухов и устных рассказов сотрудников Тимирязевской сельскохозяйственной академии, в биологической лаборатории которой он работал до отъезда за границу, и встреченных там с недоверием, в СССР это событие находилось под покровом тайны и долго оставалось неизвестным для советской общественности и прессы [30].

Авария 1957 г. («Кыштымская катастрофа») нанесла огромный материальный ущерб. На загрязнённой территории находились 392 населённых пункта, проживали 335 тыс. чел., которые подверглись повышенному радиационному воздействию. В зоне загрязнения 63 % составляли земли сельскохозяйственного назначения (пашни, пастбища и т.п.), 20 % - леса. Из хозяйственного оборота было выведено 106 тыс. га земель в Челябинской, Свердловской и Тюменской областях. Наиболее мощные дозы излучения находились в районе взрыва и по оси радиационного следа.

Для ликвидации последствий аварии были мобилизованы большие силы, техника - пожарные и поливочные машины, бульдозеры, автогрейдеры и т. п. Проводилась тотальная дезактивизация. На территории комбината поверхности, стены, перекрытия, крыши отмывались, здания разрушались или сжигались, оборудование и машины обрабатывались или закапывались в землю, в наиболее загрязнённых местах снимался слой почвы в 20 см и отвозился в ямы-могильники или такие участки засыпались слоем земли толщиной от 0,5 до 2 м, заражённые одежда, обувь, домашние вещи, деньги, документы, накладные, маршрутные листы водителей и т.п. сжигались. Из мест наибольшего загрязнения были переселены 10,2 тыс. чел., эвакуированные проходили санитарную обработку, из населённых пунктов ничего не вывозилось, постройки

сжигались, домашние животные уничтожались и хоронились в специальных могильниках [32–34, 16, с. 64–75].

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выяснение причин радиационной катастрофы 1957 г. и ликвидация её последствий потребовали развёртывания крупных научных исследований в области радиоэкологии, радиационной медицины, генетики, для оказания квалифицированной медицинской помощи пострадавшему от радиации населению, выявления и лечения больных лучевой болезнью.

При Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) комбината были созданы лаборатории внешней дозиметрии, группы дезактивизации оборудования, поверхностей, спецодежды, дозиметрии ионизирующих излучений. В мае 1958 г. в 15 км от Челябинска-40 была создана Опытная научно-исследовательская станция (ОНИС), которая сыграла важную роль в изучении последствий ядерной аварии 1957 г. и выработке рекомендаций по восстановлению и организации сельского хозяйства на загрязнённых территориях. Станция сосредоточила внимание на исследовании закономерностей накопления радиоактивных веществ в сельскохозяйственных продуктах, поиске агротехнических приёмов снижения уровня их накопления, разработке агротехнических и зоотехнических рекомендаций по использованию загрязнённых земель, изучении генетических последствий повышенного фона радиации на растения и животных. Рекомендации станции о подборе зерновых культур, кормов для животных, сочетания глубокой вспашки с внесением минеральных удобрений открывали путь для восстановления сельскохозяйственного производства на загрязнённых землях [21, 35–36].

В августе 1958 г. в Челябинске был организован филиал Ленинградского НИИ радиационной гигиены, в октябре 1962 г. преобразованный в Филиал №4 Института биофизики АН СССР (ФИБ-4). Его главной функцией стала оценка медицинских последствий облучения населения и разработка методов лечения облучённых больных. Исследовались миграция изотопов в биологических цепочках, пути их поступления в организмы, влияние внутреннего облучения на людей и животных, разрабатывались рекомендации для безопасного проживания на слабо заражённых территориях [23].

Важный вклад в развитие радиационной медицины внёс Медикосанитарный отдел комбината (МСО-71). Его сотрудники не только исполняли клинические обязанности, выявляли и лечили профзаболевания, контролировали соблюдение санитарных норм и правил охраны здоровья, но и вели исследования по биохимии костных и кровяных тканей, лёгких и печени, лучевых поражений наследственных структур, профилактического и лечебного значения ДНК при лучевых воздействиях [24].

Комплексные мероприятия по реабилитации загрязнённых территорий, снижение уровня радиации вследствие радиоактивного распада короткоживущих радионуклидов, проникновение радиоактивных изотопов в растительность и почву, позволили снизить радиационный фон и добиться в зоне загрязнения достаточно благополучной стабильной радиационной обстановки.

Радиационная обстановка на Урале в настоящее время очень сложная. Помимо радиационного заражения значительных территорий предприятиями атомного комплекса, район подвергся радиационному воздействию ряда других бедствий. 14 сентября 1954 г. на Тоцком полигоне в Оренбургской области были проведены войсковые учения с участием 45 тыс. военнослужащих, произведён взрыв атомной бомбы силой в 40 килотонн, образовавший радиоактивный след длиной в 210 км [37]. В 1960–1980 гг. на Урале было проведено 38 подземных атомных взрывов, из них 5 с

выбросом на поверхность: 16 – в Осинском и Красновишерском районах Пермской области для увеличения добычи нефти, 2 – в Чердынском районе Пермской области для создания ложа планируемого канала Печора – Кама, 16 – в Оренбургской области для создания подземных газохранилищ, 4 – в Башкортостане для повышения нефтеотдачи пластов [38].

28 апреля 1968 г. через южную часть Пермской и Свердловской областей по оси Ачит – Первоуральск – северная часть г. Екатеринбурга – Верхняя Пышма – Сухой Лог прошёл Восточно-Чернобыльский радиоактивный след, создавший в местах наибольшего выпадения радионуклидов несколько радиационных аномалий. Систематического радиоэкологического наблюдения требует район Белоярской атомной электростанции, расположенной в 40 км восточнее г. Екатеринбурга – её окрестности, Белоярское водохранилище и Ольховское болото. Радиоэкологическую опасность представляют места захоронения радиоактивных отходов, производства и хранения ядерных боеприпасов, переработки ядерного горючего, добычи и первоначальной переработки урана и тория [39, 16, с. 5, с. 39–42, с. 75–77].

Советская атомная промышленность и атомное оружие создавались в условиях строжайшей секретности, которая сейчас может показаться излишней, но в период «холодной войны» была абсолютно необходимой. Предприятия атомного цикла, обслуживающий персонал находились в закрытых зонах, без права выхода за их пределы, без права переписки, их местонахождение, применяемые технологии, производимая продукция и т. п. были секретными [40–41]. До середины 1980-х гг. в советской печати отсутствовали публикации о предприятиях атомной промышленности и экологической ситуации на территории их деятельности.

Во второй половине 1980-х гг., в период «перестройки» и «гласности», и в начале 1990-х гг., при смене в стране общественно-политического строя, ослаблении «холодной войны», подписании в 1991 и 1994 гг. соглашений между США и Россией о сокращении стратегических вооружений, установлении с США научно-технического сотрудничества, заключении 14 января 1994 г. долгосрочного контракта с американской компанией USEC о крупномасштабной продаже США российского низкообогащённого урана, выработанного из высокообогащённого оружейного урана, – предприятия ядерного комплекса были рассекречены, проблемы ядерной промышленности получили справедливое место в средствах массовой информации и литературе. Рассекречивание материалов об атомной промышленности способствовало резкому расширению и углублению исследований по проблемам радиоэкологии.

ПРЕВРАЩЕНИЕ РАДИОЭКОЛОГИИ В САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ НАУКУ

В 1990-е и начале 2000-х гг. были опубликованы работы историков В.Н. Новосёлова, В.С. Толстикова, Е.Т. Артёмова, А.Э. Бедея, В.Н. Кузнецова, Н.В. Мельниковой и др. о создании уральской атомной промышленности и закрытых городах Урала; труды радиобиологов и медиков с участием и под редакцией Р.М. Алексахина, А.И. Бурназяна, Л.А. Булдакова, Д.А. Кривоуцкого, В.М. Ключковского, Г.Н. Романова и др. Опубликованы воспоминания учёных и государственных деятелей, участников создания советского ядерного оружия – Ю.Б. Харитона, А.М. Петросьянца, М.Г. Первухина, Е.П. Славского и др. Прочную опору для радиоэкологического исследования проблем атомной промышленности дало опубликованное в 1998–2009 гг. официальное многотомное издание «Атомный проект СССР: Документы и материалы», охватывающее период с 1938 по 1956 гг.

Появилась масса статей, посвящённых проблемам ядерной и радиационной безопасности, радиоэкологии, надёжности Белоярской АЭС, утилизации отработанного

ядерного топлива. Эти проблемы стали предметом обсуждения и дискуссий на многочисленных научных и научно-практических конференциях [25, 43–46]. Выдвинут вопрос о необходимости ознакомления с основами радиоэкологии и привитии культуры безопасности в атомной энергетике в процессе обучения специалистов в вузах, повышении уровня радиоэкологических знаний населения [47–50].

Институтом промышленной экологии Уральского отделения РАН в 1999 г. была издана коллективная монография «Урал: наука, экология», содержащая данные об экологической ситуации региона, состоянии здоровья населения, утилизации промышленных отходов. Показаны сформировавшиеся в регионе научные экологические направления, методы и способы решения экологических и экологообусловленных проблем фундаментального и прикладного характера, применение к решению экологических задач математических методов, токсикологии, спектроскопии, геофизических методов, методов механики сплошных сред, использование сильноточных наносекундных электронных пучков [27].

Институтами экологии растений и животных и геофизики Уральского отделения РАН в 2000 г. издана книга «Радиоактивные беды Урала», которая даёт возможность объективно оценить радиационную обстановку в регионе, обусловленную высокой концентрацией ядерных производств, ядерными катастрофами, ядерными взрывами в военных и мирных целях, утилизацией радиоактивных отходов, приведены сведения о содержании радионуклидов в компонентах окружающей природной среды, их действии на людей и животных, показано влияние геолого-географических особенностей региона на процессы переноса и переотложения радиоактивных загрязнений [16].

ВЫВОДЫ

Экология, в том числе радиоэкология, ещё совсем недавно считавшиеся чисто биологическими науками, в последние десятилетия вторглись на территории технических и гуманитарных дисциплин. Сложная экологическая обстановка, большие территории загрязнённых радиацией территорий, опасная концентрация несовместимых с жизнью веществ затрагивают коренные жизненные интересы людей, выдвигают на первый план проблемы здоровья и выживания населения.

Урал – важнейший промышленный район, где тяжёлая радиационная обстановка осложнена массированным техногенным натиском на природу предприятий чёрной и цветной металлургии, тяжёлого машиностроения, химической и нефтехимической промышленности, оказался регионом с чрезмерной концентрацией природозагрязняющих производств [51–52]. Естественно, что Урал, один из крупнейших научных центров страны, стал одним из мест создания и развития ряда новых экологических наук – радиобиологии, радиоэкологии, радиогенетики, радиационной медицины. Опираясь на учение В.И. Вернадского о биосфере и радиоактивности и биогеоэкологические идеи В. Н. Сукачёва, уральские учёные, при участии и активной помощи Академии наук СССР и Российской академии наук, развернули масштабные работы по исследованию радиоэкологических проблем, внесли значительный вклад в создание и развитие отечественной радиоэкологии.

Уральскими радиоэкологами достигнуты важные успехи в исследовании особенностей существования живых организмов и их сообществ в условиях техногенного радиоактивного загрязнения, концентрации и миграции радиоактивных нуклидов в биосфере, воздействия ионизирующих излучений на организмы, популяции и биоценозы. Данные уральских радиоэкологов помогли решению крупных производственных проблем по внедрению замкнутых циклов охлаждения ядерных реакторов, по организации хранения и обезвреживания радиоактивных отходов,

изысканию средств защиты организмов от радиационного излучения, методов пострadiационного восстановления, способов дезактивизации загрязнённых радионуклидами территорий, их радиационной реабилитации.

Рекомендации уральских радиоэкологов приняты во внимание при разработке и утверждении Закона РФ «О радиационной безопасности населения России», с их учётом разработаны и введены в действие нормативные документы, определяющие обеспечение радиационной безопасности на предприятиях ядерного цикла, порядок и способы захоронения радиоактивных отходов, стали основой для принятия управленческих и административных решений. Работы уральских экологов получили мировое признание, высоко оцениваются мировой научной общественностью [53–55].

В наши дни проблемы культуры радиационной безопасности, обеспечения безопасной, стабильной радиоэкологической обстановки приняли весьма острый, злободневный характер. Радиационное загрязнение биосферы, увеличение техногенной радиоактивности приобрели размеры, опасные для здоровья и жизни человечества и всего живого на планете, заставляют всегда помнить предостережение В.И. Вернадского об опасности самоуничтожения человечества из-за неразумного использования ядерной энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трухановский, В.Г. У. Черчилль [Текст] / В.Г. Трухановский. – М., 1968.
2. Чернявский, Г.И. Трумэн [Текст] / Г.И. Чернявский. – М., 2016. – С. 272–281.
3. Сибирский, Б.Н. Ядерный блицкриг США [Текст] / Б.Н. Сибирский // Военно-исторический журнал. – М., 2003. – №5. – С. 34.
4. Страницы автобиографии В.И. Вернадского [Текст]. – М., 1981. – С. 244–255, 269–278.
5. Аксёнов, Г.П. Вернадский [Текст] / Г.П. Аксёнов. – М., 1994. – С. 324–325, 491–492.
6. Атомный проект СССР: Документы и материалы [Текст]. М.- Саров, 1999. Т. II. Атомная бомба 1945–1954. – Кн. 1. – С. 11–13, 39; Кн. 2. С. 73–74.
7. Круглов А.К. Как создавалась атомная промышленность в СССР [Текст] / А.К. Круглов. – М., 1995.
8. Создание первой советской ядерной бомбы [Текст]. – М., 1995.
9. Новосёлов, В.Н. и др. Тайны «Сороковки» [Текст] / В.Н. Новосёлов, В.С. Толстиков. – Екатеринбург, 1995.
10. Артёмов, Е.Т. и др. Укрощение урана [Текст] / Е.Т. Артёмов, А.Э. Бедель. – Екатеринбург, 1999.
11. Рыкованов, Г.Н. и др. Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики в разработке ядерного оружия [Текст] / Г.Н. Рыкованов, Е.Н. Аврорин // Стратегические ядерные силы. – М., 2000. – Т. 1. – С. 374–397.
12. Кузнецов, В.Н. Закрытые города Урала: Исторические очерки [Текст] / В.Н. Кузнецов. – Екатеринбург, 2008.
13. Город Снежинск [Текст]. Под общей ред. В.В. Алексеева и Г.Н. Рыкованова. – Екатеринбург, 2009.
14. Алексеев, В.В. и др. Советский атомный проект как феномен мобилизационной экономики [Текст] / В.В. Алексеев, Б.В. Литвинов // Вестник Российской академии наук. – 1998. – Т. 68. – №1. – С. 3–22.
15. Некипелов, Б.В. и др. Опыт первого предприятия атомной промышленности (уровни облучения и здоровье персонала) [Текст] / Б.В. Некипелов, А.Ф. Лызлов, Н.А. Кошурникова // Природа. – 1990. – №2.
16. Уткин, В.И. и др. Радиоактивные беды Урала [Текст] / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, А.В. Евстигнеев и др. – Екатеринбург, 2000. – С. 29–42.
17. Урал и экология [Текст]. Под ред. А.М. Черняева и Б.А. Урванцева. – Екатеринбург, 2001. – С. 57–66.

18. Нормы радиационной безопасности (НРБ-6) [Текст]. М., 1978.
19. *Кимель, Л.Р. и др.* Защита от ионизирующих облучений [Текст] / Л.Р. Кимель, В.П. Машкович. – М., 1972.
20. *Маргулис, У.Я.* Атомная энергия и радиационная безопасность [Текст] / У.Я. Маргулис. – М., 1983.
21. *Алексахин, Р.М.* У истоков отечественной радиологии (атомный Ротамстед и радиоэкологическая Мекка) [Текст] / Р.М. Алексахин // Вопросы радиационной безопасности. – 1997. – №3.
22. *Емельянов, Б.М. и др.* Лаборатория «Б»: Сунгульский феномен [Текст] / Б.М. Емельянов, В.С. Гаврильченко. – Снежинск, 2000.
23. *Аклеев, А.В., и др.* Радиоактивное загрязнение окружающей среды в регионе Южного Урала и его влияние на здоровье населения [Текст] / А.В. Аклеев, П.В. Голощапов, М.О. Дегтева и др. Под общей ред. Л.А. Булдакова. – М., 1991.
24. *Дощенко, В.Н.* Профилактика и диагностика лучевых заболеваний в период пуска и освоения атомного производства на ПО «Маяк» [Текст] / В.Н. Дощенко. Под ред. Л.А. Булдакова. – М., 1995.
25. *Куликов, Н.В. и др.* Н.В. Тимофеев-Ресовский и радиоэкологические исследования на Урале [Текст] / Н.В. Куликов, И.В. Молчанова // Н.В. Тимофеев-Ресовский на Урале: Воспоминания. – Екатеринбург, 1998. – С. 9–15.
26. *Новоселов, В.Н. и др.* Атомный след на Урале [Текст] / В.Н. Новоселов, В.С. Толстиков. – Челябинск, 1997.
27. Урал: наука, экология [Текст]. – Екатеринбург, 1999. – С. 18.
28. *Никипелов, Б.В. и др.* Радиационная авария на Южном Урале в 1957 г. [Текст] / Б.В. Никипелов, Г.Н. Романов, Л.А. Булдаков и др. // Атомная энергия. – 1989. – Т. 67. – Выпуск 2. – С. 74–80.
29. *Никипелов, Б.В. и др.* Взрыв на Южном Урале [Текст] / Б.В. Никипелов, Е.Г. Дрожко // Природа. – 1990. – №5. – С. 48–49.
30. *Medvedev Zh A.* Two decades of dissidence. «New Scientist», 1976, 72 №1025.
31. *Medvedev Zh.A.* Nuclear Disaster In The Urals. TBS. The Book Service Ltd, 1979.
32. *Романов, Г.Н. и др.* Кыштымская авария крупным планом: Радиационная обстановка после аварии [Текст] / Г.Н. Романов, А.С. Воронов // Природа. – 1990. – №5. – С. 50–52.
33. Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале [Текст] / Отв. ред. В.Е. Соколов, Д.А. Криволуцкий. – М., Наука, 1993.
34. *Bradley D.J.* Behind the Nuclear Curtain: Radioactive waste management in the former Soviet Union. N.Y., 1995.
35. *Толстиков, В.С.* Социально-экологические последствия развития атомной промышленности на Урале (1945–1998) [Текст] / В.С. Толстиков. – Челябинск, 1998.
36. *Антропов, З.Г. и др.* Итоги изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения территории продуктами деления урана [Текст] / З.Г. Антропов и др. Под ред. А.И. Бурназяна. – М. 1990.
37. Отдалённые эколого-генетические последствия радиационных инцидентов: Тощкий ядерный взрыв [Текст] / Под ред. А.Г. Васильева. – Екатеринбург, 2000.
38. Атомные взрывы в мирных целях. Сб. статей [Текст] / Под ред. И.Д. Морохова. – М., 1970.
39. *Чеботина, М.Я. и др.* Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища [Текст] / М.Я. Чеботина, А.В. Трапезников, В.Н. Трапезникова, Н.В. Куликов. – Свердловск, 1992.
40. *Кузнецов, В.Н.* Атомный проект за колючей проволокой [Текст] / В.Н. Кузнецов. – Екатеринбург, 2004.
41. *Кузнецов, В.Н.* Цена свободы – атомная бомба [Текст] / В.Н. Кузнецов. – Екатеринбург, 2005.
42. *Булатов, В.И.* Россия радиоактивная [Текст] / В.И. Булатов. – Новосибирск, 1996.
43. *Давыдов, А.В. и др.* Радиоэкология: курс лекций [Текст] / А.В. Давыдов, С.А. Игумнов, А.Г. Талалай, В.И. Уткин и др. – Екатеринбург, 2000.

44. Радиационная безопасность и защита населения: Материалы междунар. науч.- практ. конф. [Текст] / Ред. *А.П. Ястребов*. – Екатеринбург, 1995.
45. Радиационная безопасность Урала и Сибири: Материалы науч.- практ. конф. [Текст] / Под ред. *В.И. Уткина*. – Екатеринбург, 1997.
46. Утилизация плутония; проблемы и решения: Материалы «Российско-американских Слушаний» [Текст] / Под. ред. *В.И. Уткина, Л.И. Пискунова*. – Екатеринбург, 2000.
47. *Евдошкина, Ю.А.* Формирование культуры безопасности личности как новое направление образовательного процесса в техническом вузе [Текст] / Ю.А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №2(7). – С. 92 – 94.
48. *Гаврилов, Д.В.* Роль и место исторической экологии в высшем педагогическом образовании [Текст] / Д.В. Гаврилов // Третьи Уральские историко-педагогические чтения. – Екатеринбург, 1999. – С. 256–251.
49. *Гаврилов, Д.В.* Историческая экология как необходимейшая составная часть системы общего гуманитарного образования [Текст] / Д.В. Гаврилов // Урал индустриальный: Бакунинские чтения. –Екатеринбург, 2003. – С. 250–251.
50. *Тышлаков, О.Л. и др.* О формировании культуры безопасности в процессе обучения студентов в вузе [Текст] / О.Л. Тышлаков, С.Е. Щеклеин, Г.А. Новиков // Перспективные энергетические технологии. Экология, экономика, безопасность и подготовка кадров. Екатеринбург, 2016.
51. *Гаврилов, Д.В.* Экологическая ситуация на Урале на рубеже III-го тысячелетия и перспективы её развития [Текст] / Д.В. Гаврилов // Каменный пояс на пороге III-го тысячелетия. – Екатеринбург, 1997. – С. 16–21.
52. Исторический опыт взаимодействия человека и окружающей среды на Урале [Текст] / Отв. ред. *Д.В. Гаврилов*. – Екатеринбург, 1997.
53. Рубежи созидания: Документы и материалы [Текст]. – Екатеринбург, 2002. – С. 333–334, 362, 384–386, 396, 400–402.
54. Учёные Уральского научного центра Академии наук СССР [Текст]. – Свердловск, 1997. – С. 22–25, 31–32, 125–126, 212–213.
55. *Большаков, В.Н.* Известен в мире: Институту экологии растений и животных УНЦ АН СССР – 40 лет [Текст] / В.Н. Большаков // Наука Урала. – 1984. – 26 июля.

REFERENCES

- [1] Trukhanovskij V.G. U. Cherrhill. M. 1968. (in Russian)
- [2] Chernjavskij G.I. Trumehn. M. 2016. pp. 272–281. (in Russian)
- [3] Sibirskij B.N. Jadernyj blickrig SshA [The USA Nuclear Blitzkrieg]. Voenno-istoricheskij zhurnal [Military and Historical Journal]. 2003, №5, p. 34. (in Russian)
- [4] Stranicy avtobiografii V.I. Vernadskogo [Vernadsky Autobiography Pages]. M. 1981, pp. 244–255, 269–278. (in Russian)
- [5] Aksjonov G.P. Vernadskij. M. 1994. pp. 324–325, 491–492. (in Russian)
- [6] Atomnyj proekt SSSR: Dokumenty i materialy [The USSR Atomic Project: Documents and Materials]. M., Sarov, 1999. Vol. II. Atomnaja bomba 1945–1954 [The Atomic Bomb 1945-1954]. Book. 1. pp. 11–13, 39; Book. 2. pp. 73–74. (in Russian)
- [7] Kruglov A.K. Kak sozdavalas atomnaja promyshlennost v SSSR [How the Atomic Industry Was Created in the USSR]. M. 1995. (in Russian)
- [8] Sozdanie pervoj sovetskij jadernoj bomby [The Creation of the First Soviet Nuclear Bomb]. M. 1995. (in Russian)
- [9] Novosjolov V.N., Tolstikov V. S. Tajny «Sorokovki» ["Sorokovka" Secrets]. Ekaterinburg, 1995. (in Russian)
- [10] Artjomov E.T., Bedel' A.Eh. Ukroshhenie urana [Taming of Uranium]. Ekaterinburg, 1999. (in Russian)
- [11] Rykovanov G.N., Avrorin E.N. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut tekhnicheskij fiziki v razrabotke jadernogo oruzhija. Strategicheskie jadernye sily [All-Russian Scientific Research Institute of Technical Physics in the Development of Nuclear Weapons]. M. 2000. Vol. 1. pp. 374–397. (in Russian)

- [12] Kuznecov V.N. Zakrytye goroda Urala: Istoricheskie ocherki [Closed Cities of the Urals: Historical Essays]. Ekaterinburg, 2008. (in Russian)
- [13] Gorod Snezhinsk [Snezhinsk]. Pod obshhej redakciej V.V. Alekseeva i G.N. Rykovanova [Edited by V.V. Alekseeva, G.N. Rykovanova]. Ekaterinburg, 2009. (in Russian)
- [14] Alekseev V.V., Litvinov B.V. Sovetskij atomnyj proekt kak fenomen mobilizacionnoj ehkonomiki [The Soviet Atomic Project as a Phenomenon of the Mobilization Economy]. Vestnik Rossijskoj akademii nauk [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 1998, Vol. 68, №1, pp. 3–22. (in Russian)
- [15] Nekipelov B.V., Lyzlov A.F., Koshurnikova N.A. Opyt pervogo predpriyatija atomnoj promyshlennosti (urovni oblucheniya i zdorov'e personala) [Experience of the First Nuclear Industry Enterprise (Levels of Exposure and Health of Personnel)]. Priroda [Nature], 1990, №2. (in Russian)
- [16] Utkin V.I., Chebotina M.Ja., Evstigneev A.V. etc. Radioaktivnye bedy Urala [Radioactive Woes of the Urals]. Ekaterinburg, 2000. pp. 29–42. (in Russian)
- [17] Ural i ehkologija [Urals and Ecology]. Pod redakciej A.M. Chernjaeva i B.A. Urvanceva [Edited by A.M. Chernjaeva, B.A. Urvanceva]. Ekaterinburg, 2001. pp. 57–66. (in Russian)
- [18] Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-6) [Standarts of Radiation Safety]. M. 1978. (in Russian)
- [19] Kimel' L.R., Mashkovich V.P. Zashhita ot ionizirujushhikh obluchenij [Protection against Ionizing Radiation]. M. 1972. (in Russian)
- [20] Margulis U.Ja. Atomnaja ehnergija i radiacionnaja bezopasnost [Atomic Energy and Radiation Safety]. M. 1983. (in Russian)
- [21] Aleksakhin R.M. U istokov otechestvennoj radiologii (atomnyj Rotamsted i radioehkologicheskaja Mekka) [The Origins of Russian Radiology (Atomic Rotamsted and Radioecological Mecca)]. Voprosy radiacionnoj bezopasnosti [Radiation Safety Issues], 1997, №3. (in Russian)
- [22] Emel'janov B.M., Gavril'chenko V.S. Laboratorija «B»: Sungul'skij fenomen [Laboratory "B": The Sungul Phenomenon]. Snezhinsk, 2000. (in Russian)
- [23] Akleev A.V., Goloshhapov P.V., Degteva M.O. etc. Radioaktivnoe zagriznenie okruzhajushhej sredy v regione Juzhnogo Urala i ego vlijanie na zdorov'e naselenija [Radioactive Pollution of the Environment in the South Urals Region and its Impact on Public Health]. M. 1991. (in Russian)
- [24] Doshhenko V.N. Profilaktika i diagnostika luchevykh zabolevanij v period puska i osvoenija atomnogo proizvodstva na PO «Majak» [Prophylaxis and Diagnosis of Radiation Diseases during the Launch and Development of Nuclear Production at the Mayak PA.]. M. 1995. (in Russian)
- [25] Kulikov N.V., Molchanova I.V. N.V. Timofeev-Resovskij i radioehkologicheskie issledovanija na Urale [Timofeev-Resovsky and Radioecological Research in the Urals]. N.V. Timofeev-Resovskij na Urale: Vospominanija [N.V. Timofeev-Resovsky in the Urals: Memoirs]. Ekaterinburg, 1998. pp. 9–15. (in Russian)
- [26] Novoselov V.N., Tolstikov V.S. Atomnyj sled na Urale [Atomic Track in the Urals]. Cheljabinsk, 1997. (in Russian)
- [27] Ural: nauka, ehkologija [Ural: Science, Ecology]. Ekaterinburg, 1999. p. 18. (in Russian)
- [28] Nikipelov B.V., Romanov G.N., Buldakov L.A. etc. Radiacionnaja avarija na Juzhnom Urale v 1957 g. [Radiation Accident in the Southern Urals in 1957] Atomnaja ehnergija [Atomic Energy], 1989. Vol. 67. Issue 2. pp. 74–80. (in Russian)
- [29] Nikipelov B.V., Drozhko E.G. Vzryv na Juzhnom Urale [Explosion in the Southern Urals]. Priroda [Nature], 1990, №5, pp. 48–49. (in Russian)
- [30] Medvedev Zh. A. Two decades of dissidence. «New Scientist», 1976, 72, №1025. (in English)
- [31] Medvedev Zh.A.. Nuclear Disaster In The Urals.TBS. The Book Service Ltd, 1979. (in English)
- [32] Romanov G.N., Voronov A.S. Kyshtynskaja avarija krupnym planom: Radiacionnaja obstanovka posle avarii [Kyshtym Accident Close-Up: Radiation Situation after the

- Accident]. Priroda [Nature], 1990, №5, pp. 50–52. (in Russian)
- [33] Ehkologicheskie posledstviya radioaktivnogo zagrjaznenija na Juzhnom Urale [Ecological Consequences of Radioactive Contamination in the Southern Urals]. Otvetstvennye redaktory V.E. Sokolov, D.A. Krivoluckij [Responsible editors V.E. Sokolov, D.A. Krivolutsky]. M. Pub. Nauka [Science], 1993. (in Russian)
- [34] Bradley D.J. Behind the Nuclear Curtain: Radioactive waste management in the former Soviet Union. N.Y., 1995. (in English)
- [35] Tolstikov B.C. Social'no-ehkologicheskie posledstviya razvitija atomnoj promyshlennosti na Urale (1945–1998) [Social and ecological consequences of the nuclear industry development in the Urals (1945–1998)]. Cheljabinsk, 1998. (in Russian)
- [36] Antropov S.G. etc. Itogi izuchenija i opyt likvidacii posledstvij avarijnogo zagrjaznenija territorii produktami delenija urana [Results of the Study and Experience of Liquidation of Territory Accidental Pollution Consequences by Products of Uranium Fission]. M. 1990. (in Russian)
- [37] Otdaljonnye ehkologo-geneticheskie posledstviya radiacionnykh incidentov: Tockij jadernyj vzryv [Remote Ecologic and Genetic Consequences of Radiation Incidents: Totsky Nuclear Explosion]. Pod redakciej A. G.Vasil'eva [Edited by A.G. Vasiliev]. Ekaterinburg, 2000. (in Russian)
- [38] Atomnye vzryvy v mirnykh celjakh. Sbornik statej [Atomic Explosions for Peaceful Purposes. Digest of articles]. Pod redakciej I. D. Morokhova [Edited by I. D. Morokhov]. M. 1970. (in Russian)
- [39] Chebotina M.Ja., Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Kulikov N.V. Radioehkologicheskie issledovaniya Belojarskogo vodokhranilishha [Radioecological Research of the Beloyarsk Reservoir]. Sverdlovsk, 1992. (in Russian)
- [40] Kuznecov V.N. Atomnyj proekt za koljuchej provolokoj [Atomic Project behind Barbed Wire]. Ekaterinburg, 2004. (in Russian)
- [41] Kuznecov V.N. Cena svobody – atomnaja bomba [The Price of Freedom Is an Atomic Bomb]. Ekaterinburg, 2005. (in Russian)
- [42] Bulatov V.I. Rossiya radioaktivnaja [Radioactive Russia]. Novosibirsk, 1996. (in Russian)
- [43] Davydov A.V., Igumnov S.A., Talalaj A.G., Utkin V.I. etc. Radioehkologija: kurs lekcij [Radioecology: a course of lectures]. Ekaterinburg, 2000. (in Russian)
- [44] Radiacionnaja bezopasnost i zashhita naselenija: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Radiation Safety and Population Protection: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Ekaterinburg, 1995. (in Russian)
- [45] Radiacionnaja bezopasnost' Urala i Sibiri: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Radiation Safety of the Urals And Siberia: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Ekaterinburg, 1997. (in Russian)
- [46] Utilizacija plutonija; problemy i reshenija: Materialy «Rossijsko-amerikaeskih Slushanij» [Disposition of Plutonium; Problems and Solutions: Materials of the "Russian-American Meetings"]. Ekaterinburg, 2000. (in Russian)
- [47] Evdoshkina Ju.A. Formirovanie kultury bezopasnosti lichnosti kak novoe napravlenie obrazovatel'nogo processa v tekhnicheskoy vuzhe [Forming Personal Safety Culture as a New Direction of the Educational Process in a Technical University]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety]. 2013, №2(7), pp. 92–94. (in Russian)
- [48] Gavrilov D.V. Rol i mesto istoricheskoy ehkologii v vysshem pedagogicheskom obrazovanii [The Role and Place of Historical Ecology in Higher Pedagogical Education]. Tret'i Ural'skie istoriko-pedagogicheskie chtenija [The Third Ural Historical and Pedagogical Readings]. Ekaterinburg, 1999. pp. 256–251. (in Russian)
- [49] Gavrilov D.V. Istoricheskaja ehkologija kak neobkhodimejjshaja sostavnaja chast' sistemy obshhego gumanitarnogo obrazovaniya [Historical Ecology as a Necessary Part of the System of General Humanities Education]. Ural industrial'nyj: Bakuninskie chtenija [Industrial Urals: Bakunin Readings]. Ekaterinburg, 2003, pp. 250–251. (in Russian)
- [50] Tyshlakov O.L., Shheklein S.E., Novikov G.A. O formirovanii kul'tury bezopasnosti v processe obuchenija studentov v vuzhe [Formation of Safety Culture in the Process of Teaching Students in the University]. Perspektivnye ehnergeticheskie tekhnologii.

- Ehkologija, ehkonomika, bezopasnost' i podgotovka kadrov [Perspective Energy Technologies. Ecology, Economics, Security and Training]. Ekaterinburg, 2016. (in Russian)
- [51] Gavrilov D.V. Ehkologicheskaja situacija na Urale na rubezhe III-go tysjacheletija i perspektivy ejo razvitija [The Ecological Situation in the Urals at the Turn of the Third Millennium and the Prospects for its Development]. Kamennyj pojas na poroge III-go tysjacheletija [Stone Belt on the Threshold of the III-th Millennium]. Ekaterinburg, 1997. pp. 16–21. (in Russian)
- [52] Istoricheskij opyt vzaimodejstvija cheloveka i okruzhajushhej sredy na Urale [Historical Experience of Human Interaction with the Environment in the Urals]. Ekaterinburg, 1997. (in Russian)
- [53] Rubezhi sozidanija: Dokumenty i materialy [Edges of Creation: Documents and Materials]. Ekaterinburg, 2002. pp. 333–334, 362, 384–386, 396, 400–402. (in Russian)
- [54] Uchjonye Ural'skogo nauchnogo centra Akademii nauk SSSR [Scientists of the Ural Scientific Center of the USSR Academy of Sciences]. Ekaterinburg, 1997. pp. 22–25, 31–32, 125–126, 212–213. (in Russian)
- [55] Bol'shakov V.N. Izvesten v mire: Institutu ehkologii rastenij i zhivotnykh UNC AN SSSR – 40 let [Known in the world: the Institute of Plant and Animal Ecology of the USSR Academy of Sciences - 40 years]. Nauka Urala [Science of the Urals], 1984, 26 July. (in Russian)

The Role of Ural Region in Creation and Development of Russian Radioecology

D.V. Gavrilov

*Federal State Budgetary Institution of Science Institute of History and Archeology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IAI UB RAS)
Kovalevskaya St., 16, Ekaterinburg, Sverdlovskaya region, 620990, Russia
e-mail: iia-history@mail.ru*

Abstract – The article notes that the Urals, the main area of the Soviet nuclear industry, became one of the important centers for the creation and development of Russian radioecology. The circumstances, methods and stages of radioecological research development in the region are analyzed. The paper shows the danger of radiation required radioecological research. Contamination with radionuclides of the Techa River, an explosion at the Mayak PA in 1957, the need to rehabilitate radioactive contamination expanded and deepened the research, and led to the creation of new environmental research institutions. The article draws the conclusion on the role of Ural scientists in the creation and development of Russian radioecology and the development of standards for radiation safety culture.

Keywords: radioecology, Ural nuclear complex, the Techa River, accident, Mayak PA, the East Urals Radioactive Trace (EURT), radioactive contamination rehabilitation, the radiation safety culture

Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" – стратегический вклад в развитие атомной энергетики

Начало истории Национального исследовательского ядерного университета МИФИ было положено 75 лет назад принятием постановления об организации Московского механического института боеприпасов (ММИБ) 23 ноября 1942 года Советом народных комиссаров СССР. Инициатива принадлежала заместителю Председателя ГКО Л.П. Берии и наркому боеприпасов Б.Л. Ванникову. Учебный процесс в новом вузе начался уже с 1 января 1943 года и реализовывался в рамках трех факультетов: 1) трубок и взрывателей; 2) снарядов, мин, 3) авиабомб, патронов и гильз. Первый выпуск специалистов ММИБ осуществил в 1944 году.

Первая реорганизация произошла 16 января 1945 года, институт стал называться Московским механическим институтом (ММИ) и были созданы новые факультеты, заменившие прежние: механико-технологический, конструкторский и точной механики.

Безусловно, огромное влияние на вектор развития ММИ оказал созданный 20 августа 1945 года Специальный комитет при Совете народных комиссаров, которому была поручена координация всех работ по использованию внутриатомной энергии урана. Его возглавлял заместитель Председателя СНК Л.П. Берия. С целью непосредственного руководства работой всех организаций по использованию энергии урана было создано Первое главное управление во главе с выдающимся организатором промышленности и талантливым инженером, генерал-полковником Б.Л. Ванниковом. В ведение этого управления 30 августа 1945 года и был передан Московский механический институт. Всего через месяц, 20 сентября 1945 года, вышло Постановление СНК СССР № 2386627сс, подписанное Сталиным, об организации инженерно-физического факультета в ММИ для подготовки инженеров–физиков. Возглавил его выдающийся ученый, действительный член Украинской академии наук, Александр Ильич Лейпунский. В декабре 1945 года создаются кафедры атомной физики, прикладной ядерной физики, точной механики. Далее появляются кафедры металлофизики, специальной математики, специальной химии и металлургии. Это стало новым этапом в развитии ММИ, создания на его основе Московского инженерно-физического института и началом эры ядерного образования в СССР.

Зарождающаяся атомная промышленность СССР нуждалась в специалистах с университетской физико-математической, в сочетании с инженерной, подготовкой, что реализовывалось в уникальной квалификации специалистов–выпускников инженерно-физического факультета – "инженер-физик". Молодые специалисты МИФИ должны были не только обладать высоким уровнем знаний, но и способностями к созданию новых технологий. Этому способствовал высочайший уровень профессорско-преподавательского состава, в который входили такие уникальные специалисты, как И.Е. Тамм, А.Д. Сахаров, Н.Н. Семёнов, И.М. Франк, П.А. Черенков, Н.Г. Басов, известные ученые, академики И.В. Курчатов, И.В. Обреимов, Я.Б. Зельдович, И.Я. Померанчук, М.А. Леонтович, А.Н. Тихонов, А.Б. Мигдал, Г.С. Ландсберг, Б.П. Жуков, С.А. Христианович, И.К. Кикоин.

Постепенно вуз приобретал более узкую ориентацию на подготовку специалистов для атомной энергетики и оборонной промышленности, путем перевода механических специальностей в другие институты при одновременном расширении состава инженерно-физических специальностей.

В 1952 году по Постановлению Правительства СССР были созданы первые четыре отделения МИФИ в закрытых городах (ныне Озерск, Новоуральск, Лесной на Урале и Саров) для подготовки кадров на местах. Впоследствии были созданы

отделения МИФИ в Обнинске, Снежинске и Трехгорном. МИФИ готовил кадры для ядерной отрасли по широчайшему спектру специализаций, в итоге стал действительно элитным вузом и приобрел мировую известность.



Ректор В.Г. Кириллов-Угрюмов (с 1959г. по 1974 г.)
открывает комплекс зданий МИФИ на Каширском шоссе, 1962 г.

С 1992 года образовательная деятельность МИФИ расширяется введением экономических и юридических специальностей, которые также характеризуются "ядерным" уклоном, т.к. позиционируются как необходимые атомной отрасли. Сотрудники МИФИ начинают развивать международное сотрудничество в научной и образовательной сферах.

В начале нового тысячелетия МИФИ начинает активно работать с МАГАТЭ в сфере управления и сохранения ядерных знаний и разработке примерных образовательных программ в области "Nuclear Security and Safety" и "Nuclear Technological and Engineering". Миссией МАГАТЭ неоднократно отмечалось, что МИФИ имеет все возможности для становления в качестве международного регионального центра ядерного образования, ведущего подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров в области мирного использования атомной энергии для стран, вставших на путь развития атомной энергетики.

В 2008 году с началом реорганизации ядерной отрасли России и созданием ГК "Росатом" МИФИ преобразуется в Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ). Целью создания НИЯУ МИФИ является кадровое и научно-инновационное обеспечение атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслей экономики и социальной сферы Российской Федерации по профильным специальностям университета на основе системной модернизации многоуровневого профессионального образования университета, обеспечение интеграции науки, образования и производства. В его состав, кроме московской площадки, вошли более двадцати учебных заведений ВПО и СПО, расположенных в регионах, где имеются предприятия атомной отрасли.

Стоящие перед Россией новые вызовы, продиктованные ситуацией в мировой экономике, существенным образом повышают актуальность профессионального образования. От его развития будет зависеть, в каком состоянии страна выйдет из кризиса и как будет дальше развиваться. С целью стратегического развития НИЯУ МИФИ осуществляет непрерывные преобразования, направленные на повышение

качества подготовки кадров, на развитие научно-исследовательского и инновационного потенциала, на расширение сферы международного сотрудничества.



Ректор М.Н. Стриханов,
доктор физико-математических наук,
профессор, член РАО

Достигнутый к 2013 году качественный уровень и статус позволил НИЯУ МИФИ войти в состав 15 вузов, которые по результатам открытого конкурса, объявленного 8 мая 2013 года, были отобраны для участия в программе поддержки повышения их международной конкурентоспособности и включения в сотню мировых университетов, которая носит название "Проект 5–100".

К мероприятиям, реализуемым НИЯУ МИФИ в рамках данного проекта и способствующим его продвижению в международных рейтингах, относятся: реализация совместных образовательных программ с другими зарубежными вузами, привлечение иностранных профессоров для обучения наших студентов, развитие международной академической мобильности для студентов и преподавателей вузов и др.

НИЯУ МИФИ является первым и единственным университетом Проекта повышения конкурентоспособности ведущих российских вузов, который в 2015 году одновременно вошел в ТОП-100 лучших университетов мира сразу двух международных рейтинговых агентств – ТНЕи QS.

К 2017 году, к своему 75-летию, НИЯУ МИФИ достиг существенных результатов, его позиции в российских и международных рейтингах представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Место НИЯУ МИФИ в рейтинге вузов в 2016–2017 гг.

Место в рейтинге среди вузов РФ (среди всех вузов)	Рейтинг в стране (в мире)
ARWU — ShanghaiRanking's Global Ranking of Academic Subjects 2017 - Physics	3 (201–300)
THE WUR	6 (401–500)
THE — Physical Sciences	2 (84)
THE BRICS & Emerging Economies Rankings	3 (19)
QS WUR	7 (373)
QS — Physics & Astronomy	4 (51–100)
QS — Engineering — Electrical & Electronic	4 (251–300)
Webometrics	5 (809)
RUR (Round University Rankings, университеты 80 стран мира)	2 (231)
Национальный рейтинг университетов (составлен Международной информационной Группой «Интерфакс» и радиостанцией «Эхо Москвы»)	2

В рамках реализации "Проекта 5–100", в НИЯУ МИФИ для более тесной интеграции образовательной и научно-исследовательской деятельности было решено объединение кафедр, исследовательских лабораторий или центров схожей направленности в рамках стратегических академических единиц (САЕ), в то время как административные составляющие этих подразделений будут объединены в отдельные вертикали, вне рамок САЕ.

В результате сформировалась современная структура вуза – созданы пять стратегических академических единиц (институтов), объединивших в себе различные аспекты жизнедеятельности университета:

- Институт ядерной физики и технологий (ИЯФит);
- Институт лазерных и плазменных технологий (ЛаПлаз);
- Инженерно-физический институт биомедицины (ИФИБ);
- Институт нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике (ИНТЭЛ);
- Институт интеллектуальных кибернетических систем (ИИКС).

Стратегические академические единицы сегодня – это актуальная научно-исследовательская повестка, высокий задел и выдающиеся показатели по группам ресурсов, развитая ресурсная база и инфраструктура, вовлечение студентов в практико-ориентированную научно-исследовательскую работу.

Основными направлениями деятельности каждого САЕ являются следующие:

- ИЯФит:
 - 1) эффективность и безопасность эксплуатации АЭС;
 - 2) технологии переработки РАО и вопросы экологии;
 - 3) физика высоких энергий, физика элементарных частиц;
- ИФИБ:
 - 1) нано-технологии для биомедицины;
 - 2) ядерная медицина, нано-тераностика;
 - 3) компьютерная медицина;
- ЛаПлаз:
 - 1) промышленные лазерные технологии;
 - 2) прецизионные лазерные системы, квантовая метрология;
 - 3) лазерные и плазменные технологии, лазеры с высокой интенсивностью;

- ИНТЭЛ:
 - 1) новые технологии в нано-, силовой и функциональной электронике;
 - 2) интеллектуальные инженерные системы на основе сенсоров, МЭМС/НЭМС;
 - 3) ТГц технологии для диагностики материалов, связи и систем безопасности;
 - ИИКС:
 - 1) кибертехнологии;
 - 2) системы кибербезопасности;
 - 3) технологии для предотвращения финансирования терроризма и легализации преступных доходов.
- Сегодня НИЯУ МИФИ объединяет широкую филиальную сеть:
- Обнинский институт атомной энергетики (ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск);
 - Волгодонский инженерно-технический институт (ВИТИ НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск);
 - Балаковский инженерно-технологический институт (БИТИ НИЯУ МИФИ, г. Балаково);
 - Димитровградский инженерно-технологический институт (ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград);
 - Саровский физико-технический институт (СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров);
 - Северский технологический институт (СТИ НИЯУ МИФИ, г. Северск);
 - Снежинский физико-технический институт (СФТИ НИЯУ МИФИ, г. Снежинск);
 - Новоуральский технологический институт (НТИ НИЯУ МИФИ, г. Новоуральск);
 - Озерский технологический институт (ОТИ НИЯУ МИФИ, г. Озерск).
 - Технологический институт (ТИ НИЯУ МИФИ, г. Лесной);
 - Трехгорный технологический институт (ТТИ НИЯУ МИФИ, г. Трехгорный);
 - Ангарский политехнический колледж (АПК НИЯУ МИФИ, г. Ангарск);
 - Красноярский промышленный колледж (КПК НИЯУ МИФИ, г. Железногорск);
 - Красноярский электромеханический техникум (КЭМТ НИЯУ МИФИ, г. Зеленогорск);
 - Московский областной политехнический колледж (МОПК НИЯУ МИИ, г. Электросталь);
 - Нововоронежский политехнический колледж (НВПК НИЯУ МИФИ, г. Нововоронеж);
 - Сибирский политехнический колледж (СПК НИЯУ МИФИ, г. Новосибирск)
 - Уральский технологический колледж (УрТК НИЯУ МИФИ, г. Заречный).

Каждое из перечисленных обособленных структурных подразделений выполняет задачи формирования и развития кадрового и научно-исследовательского потенциала предприятий различных дивизионов ГК "Росатом", расположенных в регионе их присутствия.

Масштабная реструктуризация, проводимая в НИЯУ МИФИ, включает также эффективную оптимизацию организационной, функциональной структуры, кадрового состава, согласующейся с современными требованиями развития сферы образования. Сориентирована на интенсивную компьютеризацию, внедрение инноваций в организацию учебного процесса, а также на бенчмаркинг лучших мировых практик и активное вовлечение инструментов маркетинга и пиара. Это способствует формированию имиджа НИЯУ МИФИ не только на национальном, но и на международном уровнях.



Ректор М.Н. Стриханов подписывает 20 декабря 2016 г. Соглашение о сотрудничестве по созданию Альянса трансляционной медицины. Партнеры: Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Национальный исследовательский Томский государственный университет и Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»

Сегодня в полной мере можно заявить о том, что НИЯУ МИФИ является пространством создания инноваций не только для будущего развития атомной отрасли, но и выходящие далеко за пределы атомной энергетики.

Традиционными в НИЯУ МИФИ остаются только принципы приоритета высокого качества подготовки кадров и эффективного синтеза образования и научных исследований, заложенные 75 лет назад.

*(составлено по данным официальных источников,
бюллетеням оперативной информации,
отчетам на официальном сайте МИФИ,
материалам в открытом доступе)*

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Акатьев В.А.	110	Мельник А.В.	68
Алалем Е.А.	19	Мухамеджанова Е.Р.	110
Бекетов В.Г.	91	Одзерихо И.А.	68
Бурдаков С.М.	102	Писаревский М.И.	35
Гаврилов Д.В.	115	Портнов А.А.	35
Герасимов С.И.	68	Ретмайер М.	46
Герасимова Р.В.	68	Рыбачук А.М.	61
Гоок С.	46	Сальников А.А.	91
Граф Б.	46	Серебряков А.А.	35
Губеладзе А.Р.	102	Сысоев Ю.С.	91
Губеладзе О.А.	102	Томилин С.А.	77
Долчинков Н.Т.	7	Тюрин Е.М.	35
Доронин Ю.В.	61	Федоров П.И.	19
Елохин А.П.	19	Федосеев В.Н.	35
Ерофеев В.И.	68	Чернов А.В.	91
Колоколов Е.И.	77	Шишов В.В.	77
Ксенофонтов А.И.	19	Яковлев Л.И.	35
Кубарев В.Ф.	61	Яненко Б.А.	68
Ляхов К.И.	68		
Марко А.	46		

AUTHOR INDEX OF VOL. 3, 2017

Akatiev V.A.	110	Kolokolov E.I.	77
Alalem E.A.	19	Ksenofontov A.I.	19
Beketov V.G.	91	Lyakhov K.I.	68
Burdakov S.M.	102	Marko A.	46
Chernov A.V.	91	Melnik A.V.	68
Cubarew V.F.	61	Mukhamedzhanova E.R.	110
Dolchinkov N.T.	7	Odzerikho I.A.	68
Doronin Yu.V.	61	Pisarevskii M.I.	35
Elokhin A.P.	19	Portnov A.A.	35
Erofeev V.I.	68	Rethmeier M.	46
Fedorov P.I.	19	Rybachuk A.M.	61
Fedoseev V.N.	35	Salnikov A.A.	91
Gavrilov D.V.	115	Serebryakov A.A.	35
Gerasimov S.I.	68	Shishov V.V.	77
Gerasimova R.V.	68	Sysoev Yu.S.	91
Gook S.	46	Tomilin S.A.	77
Graf B.	46	Tyurin Ye.M.	35
Gubeladze A.R.	102	Yakovlev L.I.	35
Gubeladze O.A.	102	Yanenko B.A.	68

NOTES FOR AUTHORS

1) The full text of article intended for publication has to be followed by representation of establishment in which work is made, and is signed by authors.

2) The file has to contain the expert resolution on publication possibility.

3) Information attached:

- A file with 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 . If there are some authors, specify who to be corresponded with);

- A file with information about place of employment in Russian and English, including the postal address with an index. If there are several authors, to specify the place of employment of each author);

- the title of article and initials of authors in Russian and English;

- the abstract in Russian and English;

- UDC index;

- keywords in Russian and English.

4) The volume of article has to be no more than 12 pages of the typewritten text, including tables, the list of references (15–25 sources) and drawings (no more than 10).

5) Article has to be typed according to rules of a computer typing. Only one article is located in one file (in case of submission of two articles and more). Information of point 3 are a part of the article and have to be also submitted in electronic form.

Article should be issued 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. Use of any other fonts is possible only by way of exception if they are entered to a file code. Please do not use signs of forced transfer and additional gaps. Vectorial values are selected with a bold-face type.

The equation editor of Equation 3.0 is only used to record the formulas. Large formulas need to be broken on some lines, and each new line is a new object. It is forbidden to scale formulas. Typing formulas it is necessary to use the following sizes: the text – 11 pf, a large index – 8 pf, a small-sized index – 6 pf, the large character – 12 pf, the small-sized character – 10 pf. Formulas shouldn't include signs of a punctuation and numbering in composition.

The article should contain only the most necessary formulas; it is desirable to refuse the intermediate calculations. Only those formulas which have references are numbered. Numbering of formulas should be shown through the whole article. Tables should have titles and numbering, only the standard abbreviations are allowed. The tables are desirable not to exceed one page of the text. The number of tables shouldn't exceed the number of pages.

Figures and diagrams must be black-and-white, 800x600 in size, with signatures. Diagrams should be issued in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format and only in the separate file (each diagram on a new page, or in the new file).

Units of measure should be given according to the International system (SI).

6) References are given at the end of article in order they mention. References are highlighted with square brackets in the text only to the published materials. References to foreign sources are given in original language.

7) The Publication Ethics.

The editors of the “Global Nuclear Safety” Journal work in accordance with the international publication ethics principles, including but not limited to privacy policy, vigilance over the scholarly publications, consideration of possible conflict of interests, etc. The editorial board follows the recommendations of the Committee on Publication Ethics (<http://publicationethics.org/>) and valuable practice of world-leading journals and publishers.

Authorship. All persons designed as “authors” should meet the criteria of the concept. Each author should have participated sufficiently in the work to take responsibility for its content. Authorship credit should be based on the following facts:

a) substantial contribution to conception and design, acquisition of data, or analysis and interpretation of data;

b) drafting the article or reviewing and introducing fundamental changes in it;

c) final approval of the version to be published.

Acquisition of funding or collection of data, as well as general supervision of the research group alone does not constitute authorship.

Editors of the “Global Nuclear Safety” journal has the right to request and publish information about the contributions of each person in writing the article.

All contributors who do not meet the criteria for authorship should be listed in the section “Acknowledgements”. The group of authors/contributors should jointly make the decision about the order in which their names are given.

The authors are responsible for the contents of their paper or short communication and its publication fact. The editorial staff reserves the right to shorten and review the articles submitted.

Reviewing. “Global Nuclear Safety” is peer-reviewed journal. Submitted papers and short communications are evaluated by editorial board members or specialized in the article field referees. Article review covers submitted material currency, scientific novelty degree, define its accordance to general journal profile, fixes facts of plagiarism. After the refereeing process is complete, the paper may be rejected, or returned to the authors for revisions, or accepted for publication.

Conflict of Interests. Conflict of interest concerning a particular manuscript exists when one of the participants of reviewing or publication process — an author, reviewer, or editor — has obligations that can influence his or her action (even if it is not really so). Financial relationships (such as, employment, consultancies, stock ownership, honoraria, and paid expert testimony) are the most easily identifiable conflicts of interest. However, conflicts can occur for other reasons, such as personal relationship, academic competition, and intellectual passion.

All participants in the peer-review and publication process must disclose all conflicts of interests.

When authors submit a manuscript, they are responsible for disclosing all financial and other relationship that might bias their work. Authors should identify all individuals and institutions, who provided financial assistance, as well as other financial and personal support. Authors should describe the role of the study sponsor(s), in study design; collection, analysis, and interpretation of data.

Authors should provide editors with the names of persons they feel should not be asked to review a manuscript because of potential, usually professional, conflicts of interest.

Reviewers must disclose to editors any conflicts of interests that could bias their opinions of the manuscript; they should recuse themselves from reviewing specific manuscripts if the potential for bias exists. In return, the editorial staff should have the possibility to judge the objectiveness of the review and decide whether to refuse the reviewer’s service.

Editorial staff may use information disclosed in conflict-of-interest and financial-interest statements as a basis for editorial decisions.

Editors who make final decisions about manuscripts must have no personal, professional, or financial interest/involvement in any of the issues they might judge. Other members of the editorial staff, if they participate in editorial decisions, must provide editors with a current description of their financial interests (as they might relate to editorial judgment) and recuse themselves from any decisions in which a conflict of interest exists.

Publication of Negative Findings. Many studies with negative results are actually indecisive. The possibility of indecisive results publication is specially considered by the editorial staff.

Redundant Publications. The editorial staff will not consider manuscripts that are simultaneously being considered by other journals, as well as the papers on work that has already been reported in large part in a published article or is contained in another paper that has been submitted or accepted for publication elsewhere, in print or in electronic media. This policy does not preclude the journal from considering a paper that has been rejected by another journal, or a complete report that follows publication of a preliminary report, such as an abstract or poster displayed at a professional meeting.

Correspondence. If necessary the readers can send their comments, questions and pointed remarks for the published articles and their comments will be published. The corresponding authors can respond to the remarks if they wish.

The article should be checked in the system of the «anti-plagiarism» (<http://www.antiplagiat.ru>) to determine the percentage of the originality and identify possible sources of borrowing.

8) Each author submitting article for consideration to the journal has to be registered previously on the websites: <http://orcid.org> and <http://www.researcherid.com> (if he has no ORCiD and ResearcherID yet). The author's ORCiD (Open Researcher and Contributor ID) and ResearcherID identifiers as an integral part of information about the author, will be placed in the corresponding structural block of the published article.

ATTENTION! In case of a divergence of paper and electronic versions the Editorial staff is guided by the paper version.

The bibliography has to be issued according to **Scopus** standard specification:

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), ISSN 2305-414X, p. 25-31. (in Russian)

Indicate article DOI if it in the presence.

For books:

- [2] Mogilev V.A., Novikov S.A. Faykov Yu.I. Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlya issledovaniya mekhanicheskoy stoykosti konstruktsy. [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, ISBN 5-9515-0072-9, 215 p. (in Russian)

For web-resources:

- [3] 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. Available at: <http://mindortrans.donland.ru/Default.aspx?pageid=107384>. (in Russian)

For foreign references:

- [4] 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:

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

For materials of conferences (foreign references):

- [6] 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.

All documents should be sent to the journal postal address:
347360, Russia, Rostov region, Volgodonsk, Lenin Street, 73/94
Editorial office of "Global Nuclear Safety" journal
E-mail: oni-viti@mephi.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1) Полный текст статьи, предназначенной для опубликования, должен сопровождаться представлением от учреждения, в котором выполнена работа, и подписан авторами.

2) Комплект должен содержать экспертное заключение о возможности опубликования.

3) К статье прилагаются:

- сведения об авторах на русском и английском языках (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, домашний, служебный и электронный адреса, телефоны. Если авторов несколько, указать, с кем вести переписку);

- сведения об организации авторов на русском и английском языках, включая почтовый адрес с индексом. Если авторов несколько, указать данные об организации каждого автора);

- название статьи и инициалы авторов на русском и английском языке;

- аннотация на русском и английском языках;

- индекс УДК;

- ключевые слова на русском и английском языках.

4) Объем статьи должен быть не более 12 страниц машинописного текста, включая таблицы, список литературы (15–25 источников) и рисунки (не более 10).

5) Статья должна быть набрана в соответствии с правилами компьютерного набора. В одном файле помещается только одна статья (в случае подачи двух статей и более). Сведения из пункта 3 являются частью статьи и должны быть также представлены в электронном виде.

Статья должна быть оформлена в формате Microsoft Office 97-2003 Word 7.0, через 1 интервал, шрифтом Times New Roman размером 12 пт. Поля со всех сторон – 2,5 см. Использование любых других шрифтов возможно только в виде исключения, если они внесены в код файла. Не следует использовать знаки принудительного переноса и дополнительных пробелов. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.

Для записи формул применять только редактор формул Equation 3.0. Большие формулы необходимо разбить на несколько строк, причем каждая новая строка – новый объект. Запрещается масштабировать формулы. При наборе формул необходимо придерживаться следующих размеров: текст – 11 пт, крупный индекс – 8 пт, мелкий индекс – 6 пт, крупный символ – 12 пт, мелкий символ – 10 пт. Формулы не должны включать в состав знаки пунктуации и нумерацию.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться. Нумеруются только те формулы, на которые имеются ссылки. Нумерация формул должна быть сквозная по всей статье. Таблицы должны иметь заголовки и нумерацию, в них допускаются только общепринятые сокращения.

Желательно, чтобы таблицы не превышали одной страницы текста. Количество таблиц не должно превышать количество страниц.

Рисунки и схемы должны быть черно-белыми, размером 800x600, с подписями. Графики должны быть оформлены в формате Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 и только отдельным файлом (каждый график на новом листе, либо в новом файле).

Единицы измерения следует давать в соответствии с Международной системой (СИ).

6) Литература приводится в порядке упоминания в конце статьи. В тексте должны быть ссылки в квадратных скобках только на опубликованные материалы.

Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, с указанием на перевод.

Рекомендуется проверка статей через программу Антиплагиат на сайте <http://www.antiplagiat.ru>

Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТу 7.1-2003 «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления». **References** предоставляются отдельно (правила оформления см. в разделе **The list of references standard in English**).

ВНИМАНИЕ! В случае расхождения бумажной и электронной версий Издательство руководствуется бумажной версией.

7) Этика публикаций.

Редакционная коллегия научного журнала «Глобальная ядерная безопасность» руководствуется в своей работе международными этическими правилами научных публикаций, включающими правила порядочности, конфиденциальности, надзора за публикациями, учет возможных конфликтов интересов и др. В своей деятельности редакция следует рекомендациям Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics (<http://publicationethics.org/>)), а также опирается на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

Авторство. Все лица, обозначенные как «авторы», должны соответствовать критериям этого понятия. Участие каждого автора в работе должно быть достаточным для того, чтобы принять на себя ответственность за ее содержание. Право называться автором основывается на следующих фактах:

а) значительном вкладе в концепцию и дизайн исследования или в анализ и интерпретации данных;

б) подготовке текста статьи или внесении принципиальных изменений;

в) окончательном утверждении версии, которая сдается в печать.

Участие, заключающееся только в обеспечении финансирования или подборе материала для статьи, не оправдывает включения в состав авторской группы. Общее руководство исследовательским коллективом также не признается достаточным для авторства.

Редакторы журнала «Глобальная ядерная безопасность» вправе спросить у авторов, каков вклад каждого из них в написание статьи; эта информация может быть опубликована.

Все члены коллектива, не отвечающие критериям авторства, должны быть перечислены с их согласия в специальном разделе «Выражение признательности».

Порядок, в котором будут указаны авторы, определяется их совместным решением.

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала оставляет за собой право на сокращение и редактирование присланных статей.

Рецензирование. Журнал «Глобальная ядерная безопасность» является рецензируемым журналом. Поступающие в редакцию журнала статьи и краткие сообщения проходят обязательное рецензирование членами редколлегии или специалистами по профилю данной статьи. Рецензия статьи раскрывает актуальность предоставленного материала, степень научной новизны, определяет соответствие предоставляемого текста общему профилю издания, фиксирует наличие плагиата. По результатам рецензирования статья может быть либо отклонена, либо отослана автору на доработку, либо принята к публикации.

Конфликт интересов. Конфликт интересов, касающийся конкретной рукописи, возникает в том случае, если один из участников процесса рецензирования или

публикации – автор, рецензент или редактор – имеет обязательства, которые могли бы повлиять на его или ее мнение (даже если это и не происходит на самом деле). Наиболее частая причина возникновения конфликта интересов – финансовые отношения (например, связанные с приемом на работу, консультациями, владением акциями, выплатой гонораров и платными заключениями экспертов), прямые или через близких родственников. Возможны и другие причины – личные отношения, научное соперничество и интеллектуальные пристрастия.

Участники процесса рецензирования и публикации должны сообщать о наличии конфликта интересов.

Авторы при представлении рукописи несут ответственность за раскрытие своих финансовых и других конфликтных интересов, способных оказать влияние на их работу. В рукописи должны быть упомянуты все лица и организации, оказавшие финансовую поддержку, а также другое финансовое или личное участие. Должна быть описана роль спонсора/спонсоров в структуре исследования, в сборе, анализе и интерпретации данных.

Авторы должны указывать имена тех, кому, по их мнению, не следует направлять рукопись на рецензию в связи с возможным, как правило профессиональным, конфликтом интересов.

Рецензенты должны сообщать редакции обо всех конфликтах интересов, которые могут повлиять на их мнение о рукописи; они должны отказаться от рецензирования конкретной статьи, если считают это оправданным. В свою очередь редакция должна иметь возможность оценить объективность рецензии и решить, не стоит ли отказаться от услуг данного рецензента.

Редколлегия может использовать информацию, представленную в сообщениях о наличии конфликта интересов и о финансовом интересе, как основу для принятия редакционных решений.

Редакторы, которые принимают решения о рукописи, не должны иметь личного, профессионального или финансового интереса/участия в любом вопросе, который они могут решать. Другие члены редакционного коллектива, если они участвуют в принятии решений, должны предоставить редакторам описание их финансовой заинтересованности (так как она может иметь влияние на редакторские решения) и отказаться от участия в принятии решения, если имеет место конфликт интересов.

Публикация отрицательных результатов. Многие исследования, показывающие отрицательные результаты, в действительности являются нерешающими/неокончательными. Возможность публикации неокончательных результатов исследований рассматривается редколлегией в особом порядке.

Множественные публикации. Редакция не рассматривает рукописи, одновременно представленные для публикации в другие журналы, а также работы, которые в большей части уже были опубликованы в виде статьи или стали частью другой работы, представленной или принятой для публикации каким-либо другим печатным изданием или электронными средствами массовой информации. Эта политика не исключает рассмотрение статьи, не принятой к публикации другим журналом, или полного описания, представленного после публикации предварительных результатов, т.е. тезисов или постерных сообщений, представленных на профессиональных конференциях.

Переписка. Читатели в случае необходимости могут направлять свои комментарии, вопросы или критические замечания к опубликованным статьям, которые будут напечатаны в журнале. При желании авторы статей могут ответить на замечания.

8) Каждый автор, подающий статью на рассмотрение в журнал, должен предварительно зарегистрироваться на сайтах: <http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com> (если у него еще нет ORCID и ResearcherID). Авторские идентификаторы ORCID (Open Researcher and Contributor ID) и ResearcherID, как неотъемлемая часть сведений об авторе, будет размещаться в соответствующем структурном блоке опубликованной статьи.

Ответственность за достоверность данных в публикуемой в журнале рекламе несет рекламодатель. Публикуемая реклама не является частью авторских произведений.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ:

Для книг: Энджел, Д. Поведение потребителей [Текст] / Д. Энджел. – М. : Физматлит, 1972. – 272 с.

Для журналов: Петров, Н.Н. Принципы построения образовательных программ и личностное развитие учащихся [Текст] / Н.Н. Петров // Вопросы психологии. – 1999. – №3. – С. 39.

Для диссертаций: Дзякович, Е.В. Стилистический аспект современной пунктуации : автореф. дис. канд. филол. наук [Текст] / Е.В. Дзякович – М., 1984. – 30 с.

Для депонированных работ: Кондраш, А.Н. Пропаганда книг [Текст] / А.Н. Кондраш. – М., 1984. – 21 с. – Деп. в НИЦ «Информпечать» 25.07.84. ФН 176.

Описание архивных материалов: Гуцин, 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. – М. : 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. : ил.

Для авторских свидетельств: А. с. 1007970 СССР, МКИ³ 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. – Режим доступа: URL: <http://voennoepravo.ru/node/2149> – 19.02.2011.

Комплект документов отправляется в редакцию журнала по адресу:
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

2017, 3(24)

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

Сдано в набор 20.09.2017 г.

Компьютерная верстка Вишнева М.М.

Подписано к печати 22.09.2017 г.

Бумага «SvetoCory» 80 г/м². Объем 15,84 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ