

ISSN 2305-414X

2016, 3

**GLOBAL  
NUCLEAR  
SAFETY**



**ГЛОБАЛЬНАЯ  
ЯДЕРНАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ**

<http://gns.mephi.ru>

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

# GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2016, 3(20)

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*)),  
*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](mailto:oni-viti@mephi.ru)  
Press address: Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia.

**Moscow**

---

© National Research Nuclear University MEPhI, 2016

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

# ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2016, 3(20)

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. Пимшин* (д-р техн. наук, проф. (*Россия*)),  
*Ю.П. Муха* (д-р техн. наук, проф. (*Россия*)),  
*В.В. Кривин* (д-р техн. наук, проф. (*Россия*)),  
*В.И. Ратушный* (д-р физ.-мат. наук, проф. (*Россия*)),  
*Ю.С. Сысоев* (д-р техн. наук, проф. (*Россия*)),  
*А.В. Паламарчук* (к-т техн. наук (*Россия*)),  
*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](mailto:oni-viti@mephi.ru)  
Адрес типографии: 347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94.

**Москва**

## CONTENTS

---

---

2016, 3(20)

---

---

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

The Material Costs in the Aftermath of Radioactive Pollution as a Result of Radiation Accident at Nuclear Facilities

*A.P. Elokhin, I.A. Starodubtcev*.....7

---

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

Combined Laser Additive Manufacturing for Complex Turbine Blades

*B. Graf, S. Gook, A. Gumenyuk, M. Rethmeier*.....34

Construction of Cognitive Model System and Project Feasibility Analysis Methods for Nuclear Power Plant Information Management Systems Creation

*A.E. Kolodenkova*.....43

The Mechanism of Connection Impact Strength Increase during Pulse Impact on the Welding Circuit in the Nuclear Power Complex

*S.M. Burdakov*.....51

---

### NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Forecasting Algorithm of Temperature Drift of Main Circular Pump Oil System of the NPP Unit with the VVER-1000 Reactor

*Yu.S. Sysoev, V.G. Bekhetov, N.A. Simakova*.....57

Adaptive Neural Network Controller for Power Control in Nuclear Power Plants WWER 1000

*H.F. Almasri*.....64

Diesel Generator Equipment Diagnostics of Nuclear Power Plant Using Deterministic and Stochastic Methods

*E.A. Abidova, L.S. Hegay, A.V. Chernov, V.A. Bulava, O.Yu. Pugachyova, V.I. Soloviev*.....74

---

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

Main Problems of Specialist Training for the Nuclear Industry in the Professional Standard Implementation

*V.A. Rudenko, S.A. Tomilin, N.P. Vasilenko*.....80

The Terminological System of the Russian Federation Criminal Code of 1996 in the Field of Nuclear and Radiation Safety Legal Protection

*E.A. Bragina*.....88

---

Author Index of vol. 3, 2016.....100

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

Номер 3, 2016

---

---

### ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Оценка материальных затрат при ликвидации последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды в результате радиационной аварии на ОИАЭ  
*А.П. Елохин, И.А. Стародубцев*..... 7

---

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

Комбинированные лазерные аддитивные технологии производства лопаток турбин сложной геометрической формы  
*Б. Граф, С.Э. Гоок, А.В. Гуменюк, М. Ретмайер*..... 34

Построение системы когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем для атомных станций  
*А.Е. Колоденкова*..... 43

Механизм повышения ударной вязкости соединений в атомно-энергетическом комплексе при импульсном воздействии на сварочный контур  
*С.М. Бурдаков*..... 51

---

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Алгоритм прогнозирования дрейфа температур маслосистемы ГЦН блока АЭС с реактором ВВЭР-1000  
*Ю.С. Сысоев, В.Г. Бекетов, Н.А. Симакова*..... 57

Нейросетевые варианты адаптивного регулирования мощности ядерного реактора ВВЭР 1000  
*Х.Ф. Альмасри*..... 64

Диагностирование дизель-генераторного оборудования АЭС с использованием детерминированных и стохастических методов  
*Е.А. Абидова, Л.С. Хегай, А.В. Чернов, В.А. Булава, В.И. Соловьёв, О.Ю. Пугачёва*..... 74

---

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

Основные проблемы организации подготовки специалистов для атомной отрасли в условиях внедрения профессиональных стандартов <i>В.А. Руденко, С.А. Томилин, Н.П. Василенко</i> .....	80
Формирование терминологической системы Уголовного Кодекса Российской Федерации 1996 г. в сфере правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты <i>Е.А. Брагина</i> .....	88
<hr/>	
Авторский указатель номера 3, 2016 .....	100
<hr/> <hr/>	

---

---

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

---

---

УДК [657.471+658.7]:504.5:621.039.58

**ОЦЕНКА МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ  
ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ  
РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ НА ОИАЭ**

© 2016 А.П. Елохин, И.А. Стародубцев

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

В работе на примере некоторой гипотетической аварии на объекте использования атомной энергии (ОИАЭ) представлен сценарий, определяющий последовательность работ, связанных с регистрацией ионизирующего излучения, обусловленного выходом газоаэрозольной радиоактивной примеси в атмосферу, а также оценкой радиоактивного загрязнения воздушного бассейна и подстилающей поверхности при распространении примеси по ветру. Проводится оценка дозовых нагрузок на персонал и население региона, оказавшегося под факелом радиоактивного выброса, и работы по ликвидации последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды. Приводится математическая формулировка постановки задачи по оценке радиоактивного загрязнения окружающей среды и методы ее решения, а также оценка ущерба окружающей среде, включающей населенные пункты, сельскохозяйственные угодья, парки, заповедники и естественные природные заказники.

*Ключевые слова:* радиационная авария на объекте использования атомной энергии, регистрация ионизирующего излучения, факел радиоактивного выброса, оценка радиоактивного загрязнения воздушного бассейна и подстилающей поверхности, оценка дозовых нагрузок на персонал и население региона, оценка ущерба окружающей среде.

Поступила в редакцию 15.07.2016 г.

Развитие атомной промышленности в XX веке сопровождалось значительными радиационными авариями, например, на химкомбинате НПО «Маяк» в СССР 29.09.1957, на заводе Селлафильд (Уиндскейл, Великобритания) 10.10.1957, на АЭС «Tree Mile Island» (штат Пенсильвания, США) 28.03.79, на Чернобыльской АЭС на Украине 26.04.86 и пр. [1], которые привели к значительному загрязнению окружающей среды. Подобная эстафета, к сожалению, продолжилась и в XXI веке на японской АЭС Фукусима-1. Эти примеры наглядно показывают, что увеличение числа производств, связанных с атомной промышленностью, ведет к росту вероятности возможных радиационных аварий, обусловленных, во многих случаях, человеческим фактором. Из последнего также следует, что дальнейшее развитие энергетической и других отраслей промышленности, как в развитых, так и в развивающихся странах, нуждающихся в электроэнергии, приведет к росту строительства атомных электростанций\*, поскольку альтернативные источники энергии либо маломощны, а их технологии недостаточно развиты для широкого промышленного использования (например, водородная энергетика [2, 3]), либо эти источники привязаны к

---

\* Электростанции, работающие на угле, не рассматриваются, поскольку при штатной работе АЭС оказывается значительно чище с экологической точки зрения. Электростанции, работающие на газе, наиболее экологичны, чем на угле, но спрос на газ, несмотря на энергетический кризис в мире, адекватен росту финансовых затрат на этот продукт, что эквивалентно использованию в качестве топлива денежных ассигнаций.

географическим особенностям региона (энергоустановки на основе использования солнечной энергии, геотермальные, ветровые, приливные электростанции и др.) и могут служить лишь в качестве региональных источников энергии. Напротив, гидроэлектростанции могут достигать высокой мощности, но при создании водохранилищ возникает значительное количество отчуждаемых (затопляемых) земель, в том числе и плодородных сельскохозяйственных, что, несомненно, оказывает негативное влияние, как на сельское хозяйство в целом, так и на экологию наземных и водных экосистем.

С другой стороны, рост строительства атомных электростанций в соответствии с указанными вероятностными оценками может привести к росту радиационных аварий, связанных с выходом радиоактивных продуктов в окружающую среду. На это указывают такие факторы, как отсутствие соответствующего опыта по эксплуатации таких сложных производств как АЭС у специалистов «персонала АЭС» развивающихся стран, которое может повысить влияние «человеческого фактора» при возникновении и развитии радиационной аварии. Несомненно, что системы автоматизированного контроля радиационной обстановки окружающей среды, действующие на каждой из пускаемых даже в рамках физического пуска АЭС, оснащенные стандартным и нестандартным беспилотными летательными радиоуправляемыми аппаратами дозиметрического контроля, которые позволят минимизировать последствия аварий, где радиоактивные продукты могут выйти в окружающую среду [4], но указанная процедура (минимизация последствий) не избавит от необходимости ликвидации этих последствий. Таким образом, после окончания активной фазы радиационной аварии встает задача оценки ущерба, как окружающей среде загрязненного региона, так и населению, проживающему в этом регионе. Последняя задача частично рассматривалась в работе [5].

В настоящей работе, наряду со сценарием, определяющим последовательность работ, связанных с регистрацией ионизирующего излучения, обусловленного выходом радиоактивной газоаэрозольной примеси в атмосферу, оценкой радиоактивного загрязнения воздушного бассейна и подстилающей поверхности при распространении последней по ветру, оценкой дозовых нагрузок на персонал и население региона, оказавшегося под факелом радиоактивного выброса, и ликвидацией последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды, приводится математическая формулировка постановки задачи и методов ее решения, а также оценка ущерба на примере гипотетической аварии на объекте использования атомной энергии (ОИАЭ).

Рассмотрим гипотетическую аварию с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу, в виде радиоактивного облака. В соответствии со сказанным выше, будем считать, что система АСКРО, в рамках лаборатории внешней дозиметрии обеспечена соответствующими приборами и оборудованием, представленным на рисунке 1, которое предназначено для целей сбора и обработки информации по радиоактивному загрязнению окружающей среды, оценки дозовых нагрузок на персонал и население, передачи обработанной информации верхним эшелонам власти для принятия решений.

Оборудование, представленное иконками 1–9, является составной частью системы АСКРО и служит для получения исходной информации, определяющей метеорологические характеристики атмосферы, в которой распространяется газоаэрозольная радиоактивная примесь.

Блок 10 состоит из специального оборудования, содержащего блок первичной обработки информации нижнего уровня, представляющего результаты показаний датчиков АСКРО, и блок верхнего уровня, содержащий специальное программное обеспечение, предназначенное для оценки и прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды в условиях радиационных аварий, позволяющего

провести ряд расчетов, результаты которых представлены иконками 11–18.

Иконка 3 соответствует показаниям технологических датчиков, к которым относятся датчики температуры и давления, служащие для определения скорости воздушного потока, проходящего по венттрубе, датчик мощности дозы  $\gamma$ -излучения,  $\gamma$ -спектрометр, с помощью которых может быть определены объемная активность газоаэрозольной радиоактивной примеси, переносимой в трубе воздушным потоком, ее радионуклидный состав и, в конечном итоге, эффективная высота выброса [8], а также величина мощности выброса радионуклидов в атмосферу.

Иконка 4 соответствует специальному оборудованию, с помощью которого определяют скорость сухого осаждения радиоактивной примеси на подстилающую поверхность и характер ее шероховатости, определяющую граничные условия, при решении задачи переноса радиоактивной примеси в атмосфере [9].

Иконки 5, 6 отвечают специальному оборудованию по  $\gamma$ -спектрометрии и измерению мощности дозы  $\gamma$ -излучения системой датчиков, расположенных на промплощадке и в санитарно-защитной зоне АЭС или любого другого ОИАЭ.

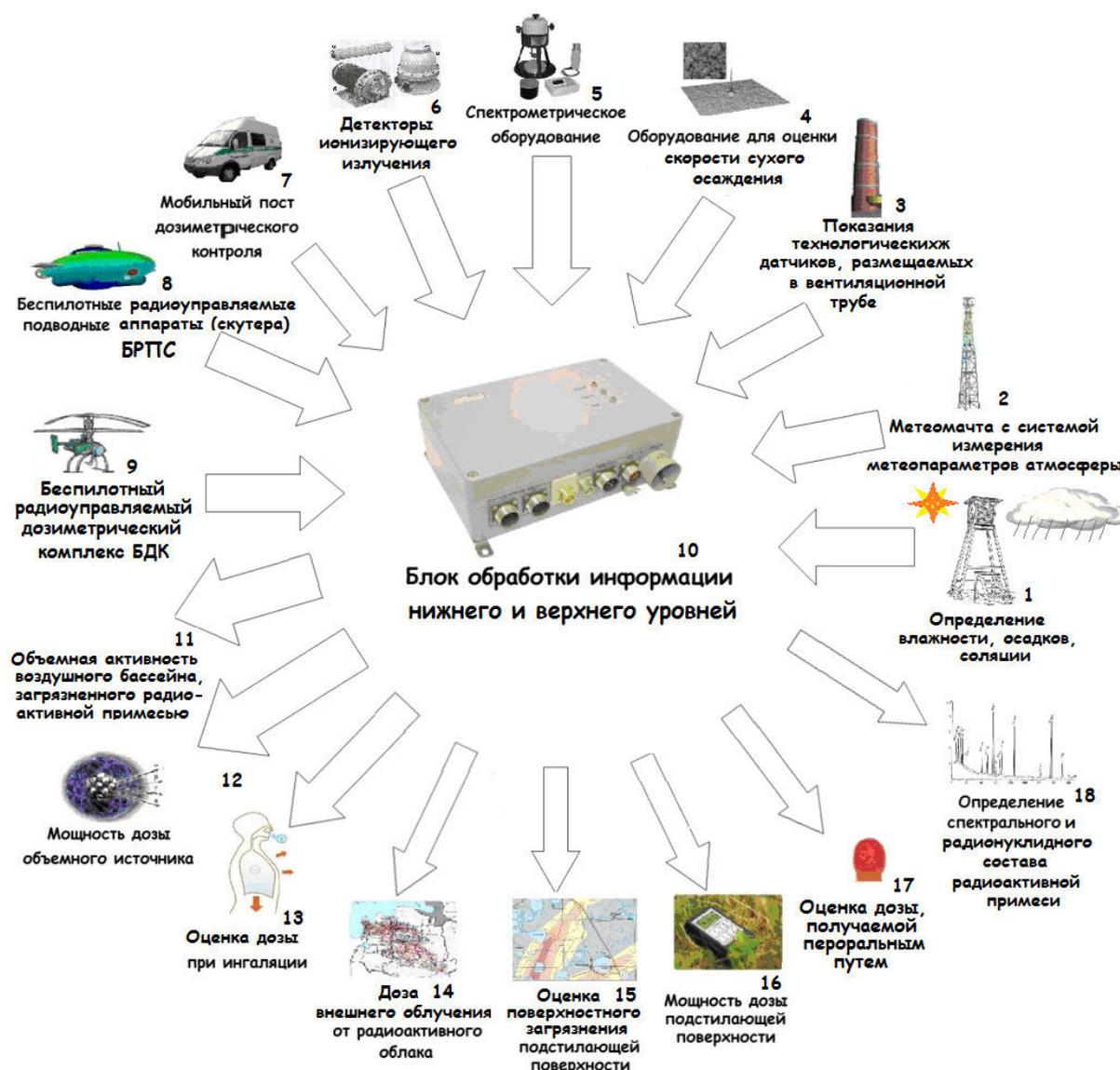


Рис. 1. – Приборное обеспечение и выходные параметры системы АСКРО, используемой для прогнозирования и оценки последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды

Иконки 7-9, имеющие непосредственное отношение к службе внешней дозиметрии системы АСКРО, представляют собой следующее:

7 – мобильные посты дозиметрического контроля (мобильная лаборатория) высокой проходимости, предназначенные для проведения работ дозиметрической разведки (измерения мощности дозы в условиях радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности и отбора проб для оценки радионуклидного состава) в малопроезжих местах, в лесах, полях, бездорожье [10];

8, 9 – беспилотные радиоуправляемые средства, используемые для оценки радионуклидного состава при радиоактивном загрязнении донной поверхности водных акваторий, например, пруда – охладителя, водных акваторий, баз подводного флота и т.д., (8 – беспилотный радиоуправляемый подводный скутер) или радиоактивного загрязнения воздушного бассейна и подстилающей поверхности (9 – беспилотный дозиметрический комплекс) [4];

Иконки 11–18 соответствуют результатам расчетов, осуществляемых блоком обработки информации 10. Они представляют собой следующее:

11 – результаты расчета пространственного распределения объемной активности газоаэрозольной радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере при возникновении радиационной аварии, обусловленной потерей управления источником [11];

12 – характеристика мощности дозы внешнего облучения, создаваемого радиоактивным облаком или факелом выбросов, распространяющихся в атмосфере;

13 – оценка дозовой нагрузки при вдыхании загрязненного воздуха персоналом или населением, оказавшимся в зоне распространения радиоактивного облака;

14 – оценка дозовой нагрузки внешнего облучения для персонала или населения, оказавшегося в зоне распространения радиоактивного облака;

15 – оценка поверхностной активности подстилающей поверхности после прохождения радиоактивного облака;

16 – оценка мощности дозы, создаваемой загрязненной подстилающей поверхностью;

17 – оценка дозы населения, получаемой пероральным путем, т.е. в результате потребления растений и мяса животных, оказавшихся в зоне радиоактивного загрязнения;

18 – оценка радионуклидного состава газоаэрозольной радиоактивной примеси, формирующей объемный источник, или радиоактивных аэрозолей, выпавших на подстилающую поверхность, путем определения спектрального состава  $\gamma$ -излучения.

Информация с приборов, описанных иконками 1-9, поступает в блок или систему блоков обработки данных. После первичной обработки данные представляют собой ряд параметров, которые определяют исходные данные для систем уравнений, описывающих перенос радиоактивной примеси в атмосфере, численное решение которых и является результатами прогноза, описывающего радиоактивное загрязнение воздушного бассейна и подстилающей поверхности, а также определяющего дозовые нагрузки на персонал и население в условиях радиационных аварий.

Автоматизированная система контроля радиационной обстановки позволяет определить уровни радиоактивного загрязнения в окружающей среде, дозовые нагрузки на персонал и население, а также предоставить в режиме реального времени текущую информацию по развитию радиационной аварии, как оперативной службе, так и руководству верхних эшелонов власти для принятия решений с целью минимизации последствий аварии.

Остановимся подробнее на выходных расчетных параметрах, которые

представлены иконками 10-18, ограничиваясь, для простоты, стационарным точечным<sup>1</sup> источником выбросов радиоактивной примеси в атмосферу, полагая, что в указанных условиях сработали все датчики, предоставляя все необходимые (ранее указанные) параметры, определяющие граничные условия переноса радиоактивной примеси в атмосфере, и необходимые характеристики, определяющие радионуклидный состав примеси, а также метеорологические характеристики атмосферы, определенные в рамках модели ее приземного слоя [1,4,7].

Рассматривая в качестве субстанции объемную активность газоаэрозольной радиоактивной примеси, загрязняющей окружающую среду,  $q(x, y, z)$  (Ки/м<sup>3</sup>), 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 математический аппарат работы [6].

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

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;

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

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

$P_0$  – поток тепла,  $\rho$  – 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.

<sup>1</sup> Сравнительные характеристики выброса радиоактивной примеси от точечного (сосредоточенного) и объемного источников, а также особенности распределения объемной активности и мощности дозы внешнего облучения, приведенные в работе [4]

Уравнение (2) относительно  $y$  имеет аналитическое решение Феррари [1,4,12] и зависит от  $z_n$  следующим образом:

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

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

Таким образом, зависимости скорости 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 [4, 6]. Измеряют на двух уровнях скорость ветра и температуру, например,  $z_1 = 2H$ ,  $z_2 = 0,5H$  ( $H = 1\text{ м}$ ). 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  $P_0/\rho_{cp} = -\chi v_* D\theta/D\theta_n$ ;

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

где  $u_n$ ;  $\theta_n$  – табулированные значения универсальных функций, вычисленных для различных  $z_n$  ( $z_n = z/L$ ) [6],

$Du_n$ ;  $D\theta_n$  – их разность.

Поскольку  $Du$ ;  $D\theta$  – измеряемые величины, а  $Du_n$ ;  $D\theta_n$  зависят от масштаба Монины – Обухова  $L$ , то выражение (9) есть неявная функция  $L$ . Для нахождения  $L$  задаются некоторым значением  $L_{\max}$  и варьируют его, например,  $L_i = DL \cdot i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ;  $DL = L_{\max}/N$  до тех пор, пока разность или относительная погрешность:

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

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

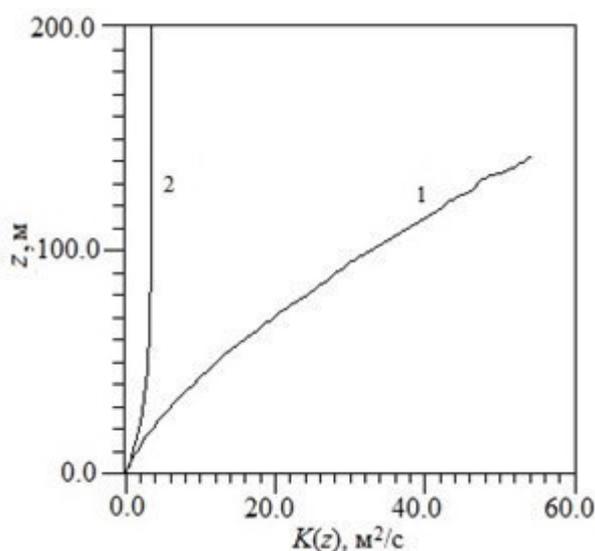
$$v'_* = \chi \frac{Du}{Du_n} \quad (11)$$

или

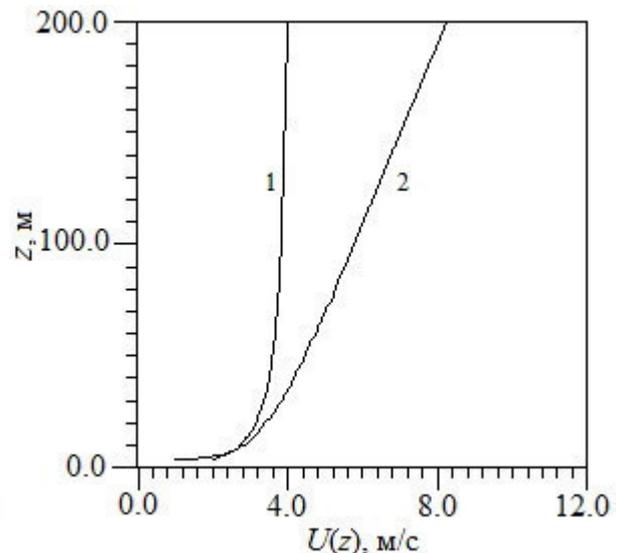
$$v''_* = \chi \sqrt{(gL/T_0)(D\theta/D\theta_n)}. \quad (12)$$

При стремлении  $\varepsilon \rightarrow 0$   $v_*' \rightarrow v_*''$ . Подобный метод расчета наиболее целесообразен при расчете метеопараметров на ЭВМ. Поскольку параметр  $L$  может быть как  $L > 0$  так и  $L < 0$  (при  $L = 0$  режим движения теряет турбулентный характер [6]), то всевозможные вариации  $L_i$  должны проводиться по формуле:  $L_i = DL(N + L - i)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, N, N + 1, N + 2, \dots, 2N + 1$ . 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  $u_n$ ,  $\theta_n$  по заданному  $z_n$  осуществляется следующим образом: при известном  $z_n$  находят  $u$ , по которому из таблицы находят значения соответствующие  $u_n$  или  $\theta_n$ . Аналогично находят значения этих функций для другого значения  $z_n$  (другого уровня), вычисляя затем разности  $\Delta u_n$ ,  $\Delta \theta_n$ . 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  $u(z)|_{z=z_0} = 0$ .

Рассчитанные значения  $u(z)$ ,  $k(z)$  для двух случаев  $L > 0$ ,  $L < 0$  приводятся в виде графиков на рисунках 2, 3.



**Рис. 2.** – Зависимость скорости приземного ветра  $U(z)$  от высоты от подстилающей поверхности (модель приземного слоя атмосферы): 1 - неустойчивое состояние ( $L_0 = -18$ ,  $v_* = 0,32$  м/с,  $\bar{u} = 3,8$  м/с,  $\bar{b} = 1,424$ ); 2 - устойчивое состояние ( $L_0 = 30$ ,  $v_* = 0,26$  м/с,  $\bar{u} = 5,66$  м/с,  $\bar{b} = 0,097$ ), [7].



**Рис. 3.** – Зависимость коэффициента турбулентной диффузии  $K(z)$  от высоты от подстилающей поверхности при различных состояниях устойчивости атмосферы (в рамках модели приземного слоя атмосферы): 1 - неустойчивое состояние  $L_0 = -18$ ,  $\bar{k} = 17$  м<sup>2</sup>/с; 2 - устойчивое состояние  $L_0 = 30$ ,  $\bar{k} = 3,5$  м<sup>2</sup>/с, [7].

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, объемную концентрацию примеси выражением:

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

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

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

$M$  – мощность выброса (кг/с);

$h_{\text{эф}}$  – эффективная высота выброса;

$\sigma$  – постоянная релаксации газоаэрозольной загрязняющей примеси, представляющая собой постоянную вымывания примеси из атмосферы  $\sigma_0$  ( $\text{с}^{-1}$ ), так что  $\sigma = \sigma_0$ ;  $w$  – гравитационная скорость оседания примеси.

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

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

Граничные условия определяются выражениями:

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

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

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

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

где  $\beta$  – 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), функциональная зависимость  $q(x, y, z)$  в приземном слое атмосферы при  $z = 1,5$  м приведена на рисунке 4.

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

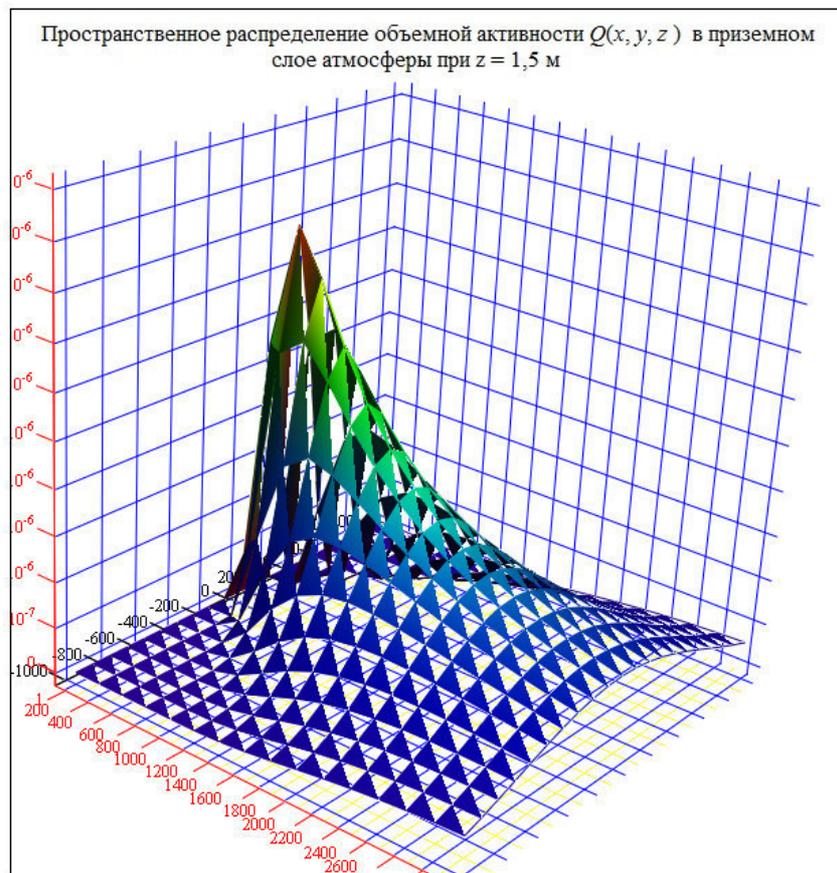


Рис. 4. – Распределение объемной активности газоаэрозольной радиоактивной примеси как функции  $x, y$  при  $z = 1,5$  м

Расчетное распределение объемной активности, представленное на рисунке 4, дает наглядное представление о характере этого распределения, но, 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 уже с 10 км от источника выбросов точность оценки будет превышать порядок величины [13]. Поэтому в условиях радиационных аварий, во-первых, необходимо, по возможности, уточнить состояние устойчивости атмосферы, определяемое с помощью приборов, представленных иконками 1 и 2, используя более надежные технологии измерения [4], и, во-вторых, использовать радиоуправляемые беспилотные средства дозиметрического контроля типа БДК (9), позволяющие провести как дозиметрический, так и радиометрический контроль воздушного бассейна и подстилающей поверхности в режиме реального времени (on-line), а затем использовать известные транспортные

средства (7) для уточнения характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Величина объемной активности, определенная формулами (13), (20), позволяет найти расчетные оценки мощности дозы от объемного источника и поверхностное загрязнение подстилающей поверхности. Таким образом, если  $q(x,y,z)$  – есть решение уравнения (15) с соответствующими граничными условиями и  $Nu_\alpha$  – некоторая совокупность радионуклидов в выбросе  $\alpha = 1, 2, \dots, N$ . Тогда, если  $E_\alpha, \eta_\alpha$  – энергия фотонного излучения какого-либо радионуклида и ее эффективный квантовый выход соответственно,  $\lambda_\alpha, T_\alpha$  – постоянная распада и период полураспада радионуклидов соответственно, а  $Q_{0,\alpha}$  – их начальная активность, то величина мощности дозы внешнего облучения от каждого из радионуклидов, распространяющихся в факеле выбросов или радиоактивном облаке, в общем случае может быть оценена по формуле [14]:

$$D'_\alpha(x_i, y_j, z_k) = 1,458 \cdot 10^3 \mu_\alpha(E_\alpha) E_\alpha \eta_\alpha \int_0^\infty dx \int_{-\infty}^{+\infty} dy \int_0^\infty q(x, y, z) [B(E_\alpha, R)/R^2] \exp(-\mu(E_\alpha)R) dz, \quad (21)$$

мЗв/час ,

$$\text{где } R = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_k)^2};$$

$x_i, y_j, z_k$  – координаты точки наблюдения;

$x, y, z$  – текущие координаты;

$\mu_\alpha(E_\alpha), \mu(E_\alpha)$  – линейный коэффициент поглощения  $\text{м}^{-1}$  и линейный коэффициент ослабления фотонного излучения  $\text{м}^{-1}$  в воздухе соответственно;

$B(E_\alpha, R) = 1 + a(E_\alpha) \cdot \mu(E_\alpha) R \exp(b(E_\alpha) \mu(E_\alpha) R)$  – фактор накопления в воздухе,

$a(E_\alpha), b(E_\alpha)$  – известные функции энергии фотонного излучения [15].

Очевидно, что общая мощность дозы может быть получена суммированием по всем радионуклидам:  $D'_{\text{tot}} = \sum_{\alpha=1}^N D'_\alpha$ . При этом время, необходимое для расчета мощности дозы от одного радионуклида на стандартном РС, может составить 30-60 сек, а для  $N$  радионуклидов в  $N$  раз больше. Понятно, что такой классический подход не может нас удовлетворить, если мы собираемся использовать автоматизированную систему в режиме реального времени. Выход из положения можно найти с помощью следующих соображений. Воспользуемся тем, что зависимость коэффициента поглощения от энергии фотонного излучения в диапазоне энергий фотонов  $0,08 \leq E_\gamma \leq 2$  МэВ слабо выражена [15], а средняя энергия ионизации среды постоянна и составляет  $\approx 33,85$  эВ. Это дает нам полное право воспользоваться понятием среднеэффективной энергией фотонного излучения и других характеристик радионуклидов, распространяющихся в атмосфере факелом выбросов [1,4].

$$\begin{aligned} \bar{E}_v \eta(t) &= \sum_{i=1}^N E_i \eta_i Q_i(t) / \sum_{i=1}^N Q_i(t); \quad Q_i(t) = Q_{0,i} \exp(-\lambda_i t); \\ \lambda_v(t) &= 0,693 / \bar{T}_v(t); \quad \bar{T}_v(t) = \sum_{i=1}^N T_i Q_i / \sum_{i=1}^N Q_i, \end{aligned} \quad (22)$$

где  $E_v(t); \lambda_v(t); T_v(t)$  – среднеэффективные значения соответственно энергии, постоянной распада и периода полураспада фотонного излучения радиоактивной примеси объемного источника,

представляющего собой облако или факел выбросов;  
 $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ;  $Q_{o,i}, \lambda_i, T_i$  – начальная активность, постоянная распада и период  
 полураспада  $i$ -го радионуклида;  
 $t$  – текущее время.

При таком подходе, очевидно, следует учитывать, что средняя энергия фотонного излучения, равно как и другие характеристики (постоянная распада, период полураспада) будут зависеть как от времени, так и от типа примеси, т.е. представляет ли собой радиоактивная примесь смесь ИРГ и аэрозолей или только аэрозолей. Последнее, очевидно, будет играть существенную роль для оценок мощности дозы внешнего облучения от подстилающей поверхности, загрязненной следом радиоактивных выбросов, а также оценок дозы внутреннего облучения при ингаляции. Несомненно, подобный метод оценки радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды не совсем удобен, поскольку не связывается конкретно с каким-либо радионуклидом и его характеристиками, но это есть не что иное, как расплата за возможность проводить прогностические оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды в режиме реального времени. Если эти особенности учтены, то величина мощности дозы внешнего облучения от облака или факела выбросов радиоактивной примеси, содержащей  $N$  нуклидов, может быть представлена в виде формулы (21), в которой в качестве энергии фотонного излучения  $i$ -го нуклида используется  $\bar{E}_v$  из формулы (22).

$$D'_v(x_i, y_j, z_k) = 1,458 \cdot 10^3 \mu_a(\bar{E}_v) \bar{E}_v \eta_v \int_0^\infty dx \int_{-\infty}^{+\infty} dy \int_0^\infty q(x, y, z) [B(\bar{E}_v, R)/R^2] \exp(-\mu(\bar{E}_v)R) dz. \quad (23)$$

мЗв/час.

Поверхностное загрязнение подстилающей поверхности согласно работам [1,4] описывается уравнением:

$$d\chi/dt = \alpha(t)\beta(x, y)q(x, y, z, t) \Big|_{z=z_0} - \lambda\chi, \quad (24)$$

в котором первый член в правой части определяет скорость радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, второй – скорость распада радионуклидов;  $\beta(x, y)$  – скорость сухого осаждения. При длительности выброса  $t_d$ , начальной поверхностной активности  $\chi_0(x, y)$  и  $\alpha(t) = \frac{\sum_{i=1}^M Q_i}{\sum_{i=1}^N Q_i}$  – относительном весе радионуклидов радиоактивной примеси, определяющей загрязнение подстилающей поверхности, ( $M$  – количество радионуклидов, определяющих аэрозольную составляющую радиоактивной примеси,  $N$  – общее количество радионуклидов радиоактивной примеси, включающее и ИРГ,  $M \leq N$ );  $\lambda_s(t)$  – эффективной постоянной распада этой части примеси  $\lambda_s = 0,693/T_s(t)$ ;  $\bar{T}_s(t) = \frac{\sum_{i=1}^M T_i Q_i}{\sum_{i=1}^M Q_i}$ ,  $\bar{T}_s(t)$  – периоде полураспада радиоактивной примеси, осевшей на подстилающую поверхность, решение уравнения имеет вид:

$$\chi(x, y) = \beta(x, y) \int_0^{t_d} \alpha(t') q(x, y, z_0, t') \exp\left[-\int_{t'}^{t_d} \lambda_s(t'') dt''\right] dt' + \chi_0(x, y) \exp\left[-\int_{t'}^{t_d} \lambda_s(t') dt'\right]. \quad (25)$$

Если пренебречь вторичным переносом, то после выпадения радиоактивной примеси на подстилающую поверхность ее активность изменяется, в основном, за счет

радиоактивного распада. Поэтому через время  $\tau$  после прекращения процесса загрязнения радиоактивность подстилающей поверхности можно оценить по формуле:

$$\chi_n(x, y, \tau) = \chi(x, y) \exp[-\lambda_s(\tau)\tau], \quad (26)$$

в которой  $\chi(x, y)$  определено выражением (25).

Если радиоактивная примесь состоит из долгоживущих радионуклидов, формулы существенно упрощаются. Так величины  $\bar{E}_v, \bar{T}_v, \lambda_v, \alpha, \bar{E}_s, \bar{T}_s, \lambda_s$  можно считать постоянными, и вместо уравнения (25) получают:

$$\chi(x, y) = \alpha\beta(x, y) \exp(-\lambda_s\tau) \int_0^{t_d} q(x, y, z_0, t') \exp[-\lambda_s(t_d - t')] dt' + \chi_0(x, y) \exp[-\lambda_s(t_d + \tau)]. \quad (27)$$

Для поверхностной активности при стационарных условиях выброса получают следующее выражение:

$$\chi_s(x, y, \tau) = \alpha\beta(x, y) q(x, y, z) \Big|_{z=z_0} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_s\tau_d)}{\lambda_s} \exp(-\lambda_s\tau) + \chi_0(x, y) \exp[-\lambda_s(t_d + \tau)]. \quad (28)$$

Оценка величины объемной активности, измеряемой при использовании БДК, состоит в измерении величины мощности дозы фотонного излучения в точке наблюдения (расположении БДК)  $\gamma$ -датчиком и характеристик  $\gamma$ -излучения радионуклидов (энергии  $\gamma$ -излучения, амплитуды и ширины пика поглощения на полувысоте). Измерение объемной активности воздушного бассейна осуществляется по формуле (29), корректность которой требует равномерного распределения радиоактивной примеси в шаре радиусом  $R \approx 1/\mu$  ( $E_\gamma = 1$  МэВ):

$$q_R(x_0, y_0, z_0, E_i) = \frac{D'_R(x_0, y_0, z_0) \cdot p_i}{4\pi \cdot 1.458 \cdot 10^5 \sum_{i=1}^N \gamma(E_i) E_i \nu(E_i) \beta(E_i) p_i \left\{ \frac{(1 - \exp[-\mu_i R])}{\mu_i} + \frac{a_i \mu_i}{[\mu_i (b_i - 1)]^2} [1 - \exp(\mu_i R (b_i - 1))] + \frac{a_i R \cdot \exp[\mu_i R (b_i - 1)]}{(b_i - 1)} \right\}}, \quad (29)$$

где  $D'_R(x_0, y_0, z_0)$  – значение мощности дозы, регистрируемой  $\gamma$ -детектором;

$x, y, z$  – координаты точки наблюдения;

$E_i$  – энергия фотонов;

$\beta(E_i)$  – энергетическая чувствительность  $\gamma$ -детектора;

$\mu(E_i), \gamma(E_i)$  – коэффициенты линейного ослабления и передачи энергии фотонного излучения соответственно;

$\nu(E_i)$  – квантовый выход фотонов с энергией  $E_i$ ;

$p_i$  – парциальный (весовой) вклад активности  $i$ -го радионуклида в общую объемную активность;

$a_i, b_i$  – безразмерные параметры формулы Бергера, зависящие от энергии  $\gamma$ -излучения и описывающей фактор накопления в гомогенной бесконечной среде (воздухе);

$R$  – радиус сферы равный пробегу  $\gamma$ -кванта с энергией  $E_\gamma = 1,0$  МэВ в воздухе.

Иллюстрация метода приведена на рисунке 5.

Метод определения поверхностной активности радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности в следе радиоактивного облака, иллюстрация применения которого приведена на рисунке 6, не имеет принципиальных отличий от метода оценки объемной активности и также осуществляется БДК, но требует дополнительных технических средств, обеспечивающих измерения высоты сканирования, в виде лазерного дальномера, определения ее оптимальной величины и оценки эффективного

радиуса сканирования.



**Рис. 5.** – Иллюстрация к использованию БДК для измерения объемной активности радиоактивного облака, создаваемого радионуклидами, распространяющимися в воздушной среде по ветру

Эти вопросы были решены в работах [16,17], в которых было получено, что оптимальная высота сканирования составляет 60 м, а эффективная площадь сканирования определяется площадью круга, радиус которого определяется соотношением  $R_{эф} \approx mh_D$ , где  $h_D$  – высота сканирования (высота полета БДК);  $m$  – числовой параметр, устанавливающий связь между эффективным радиусом и высотой сканирования  $h_D$ . Величина поверхностной активности  $i$ -го радионуклида  $\chi(p_i)$  подстилающей поверхности, загрязненной радиоактивными аэрозолями, может быть вычислена по формуле (30), в которой  $m = 3$ .

$$\chi(p_i) = \frac{D'_{tot}(x_0, y_0, h_D) \cdot p_i}{2\pi \cdot 1,458 \cdot 10^5 \sum_{i=1}^N \gamma(E_i) E_i \nu(E_i) \beta(E_i) \psi(E_i) p_i \left\{ E_1(\mu(E_i) h_D) - E_1(\mu(E_i) h_D \sqrt{m^2 + 1}) + \frac{a_i}{1-b_i} \exp[\mu(E_i) h_D (b_i - 1) \sqrt{m^2 + 1}] \right\}}, \quad (30)$$

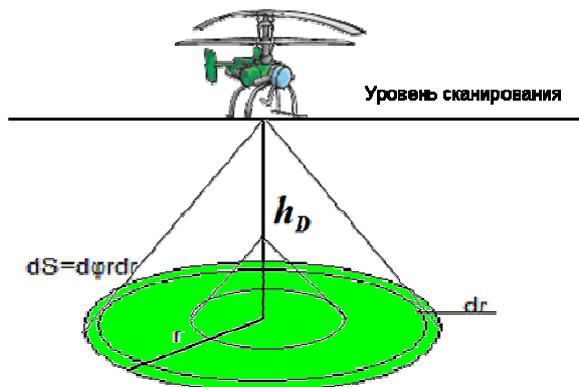
где  $D'_{tot}(x_0, y_0, h_D)$  – мощность дозы, создаваемая радиоактивными аэрозолями на подстилающей поверхности и измеряемая  $\gamma$ -детектором БДК;

$x_0, y_0$  – координаты точки наблюдения;

$E_1(\mu(E_i) h_D)$  – специальная функция;

$\psi(E_i)$  – поправочная функция, определяемая экспериментально [4];

$p_i$  – частичный вклад активности  $i$ -го радионуклида.



**Рис. 6.** – Иллюстрация к использованию БДК для измерения поверхностной активности подстилающей поверхности при ее радиоактивном загрязнении после прохождения радиоактивного облака.

$h_D$  – эффективная высота сканирования БДК

Из формул (29), (30) следует, что для оценки как объемной, так и поверхностной активности необходимы измерения мощности дозы  $\gamma$ -излучения, а также его спектрального состава. Для условий радиационных аварий необходимы  $\gamma$ -детекторы широкого диапазона от 0,01мкЗв/час до  $10^2$  Зв/час. Для оценки спектрального состава целесообразно использовать спектрометрические датчики высокого разрешения, работающие в широком температурном диапазоне  $-30 - 180$  °С, к которым относятся ксеноновый  $\gamma$ -спектрометр (КГД) высокого давления [18]. К характеристикам  $\gamma$ -излучения, которые необходимо измерять  $\gamma$ -спектрометром относятся: энергия фотонов  $E_i$ , амплитуда пика поглощения  $A_i(E_i)$ , и его ширина на полувысоте  $\Delta E_i$ . Если эти характеристики измерены, то активность  $i$  – го радионуклида можно найти по формуле:

$$q_i = k \cdot \frac{\alpha(E_i)A(E_i)\Delta E_i}{\nu_i}, \quad (31)$$

где  $\alpha(E_i)$ ;  $\nu_i$  – квантовый выход фотонов с энергией  $E_i$ ;  
 $k$  – постоянная.

При этом величина суммарной активности от  $N$  радионуклидов определится выражением:

$$Q = \sum_{i=1}^N q_i = k \sum_{i=1}^N \frac{\alpha(E_i)A(E_i)\Delta(E_i)}{\nu_i}, \quad (32)$$

а вес радионуклида (вклад его парциальной активности в общую ее величину) – отношением:

$$p_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^N q_i} = \frac{\alpha(E_i)A(E_i)\Delta(E_i)/\nu_i}{\sum_{i=1}^N \frac{\alpha(E_i)A(E_i)\Delta(E_i)}{\nu_i}}. \quad (33)$$

Тогда, если известна величина общей активности радиоактивной примеси  $Q$ , то парциальную активность  $i$  – го радионуклида можно найти как  $q_i = p_i \cdot Q$ . Характерный спектр  $\gamma$ -излучения радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ , регистрируемый КГД, приведен на рисунке 7.

Применение численных или аналитических методов, позволяющих решить задачу переноса радиоактивной примеси в атмосфере вида (13)-(20) или, имеющих более сложный вид [13], дает возможность получить численные оценки дозовой нагрузки на персонал и население вида (21), (23), а также рассчитать характер поверхностного радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, используя решения (25)-(28), для тех или иных условий. Однако, точность такого рода оценок, как указывалось выше, может быть не высока, но их преимущество состоит в том, что эти оценки можно получить в любой точке из области определения функции переноса радиоактивной примеси в атмосфере. Поэтому, чтобы исключить этот досадный недостаток, целесообразно использовать результаты измерений либо подобных величин, предоставляемых либо  $\gamma$ -датчиками системы АСКРО, либо БДК, либо их усредненные характеристики. Для этого следует провести измерение той или иной величины, например, мощности дозы внешнего облучения от объемного источника или от подстилающей поверхности в выбранной точке с заданными координатами и получить численную оценку этой же величины в выбранной точке, затем сравнить данные, найти

поправочный коэффициент, умножая который на расчетные данные, получить, наконец, результаты в любой точке из области определения функции с погрешностью не выше погрешности приборов измерения.

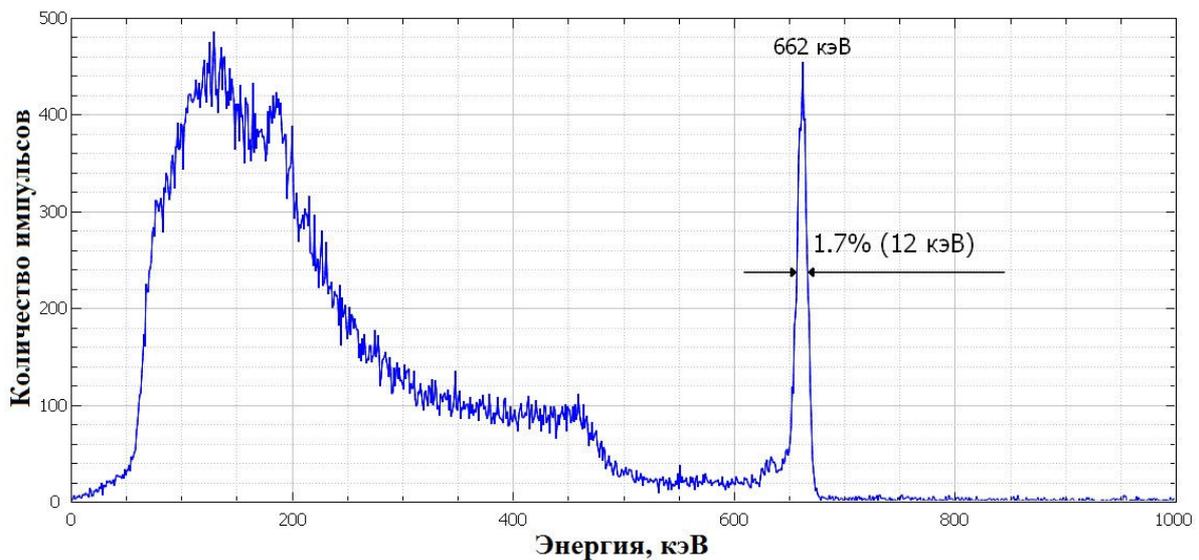


Рис. 7. – Спектр  $\gamma$ -излучения радионуклида <sup>137</sup>Cs, регистрируемого КГД, полученный методом цифровой обработки сигналов [18]

Приведенный метод оценки мощностей доз внешнего облучения от объемного источника или подстилающей поверхности справедлив, если измерения или численные оценки указанных величин проводят вблизи источника или на значительном расстоянии от него, где радиоактивная примесь распределена в пространстве далеко не равномерно. Если же расстояние от источника таково, что выполняется условие лучевого равновесия, то оценка дозовых нагрузок фотонного излучения может быть получена значительно проще, используя концепцию лучевого равновесия, в рамках которой указанные оценки для различных радионуклидов могут быть найдены по формулам [19]:

$$H_{\text{экв}} = A_V B_{\alpha\gamma} t, \tag{34}$$

где  $H$  – эквивалентная доза;

$A_V$  – объемная активность радиоактивной примеси, [Бк/м<sup>3</sup>];

$B_{\alpha\gamma}$  – дозовый коэффициент, равный мощности эквивалентной дозы, создаваемой в ткани человека на открытой поверхности почвы при единичной концентрации радионуклида в атмосферном воздухе, [Зв·м<sup>3</sup>/(с·Бк)];

$t$  – время облучения, с.

– доза при ингаляции:

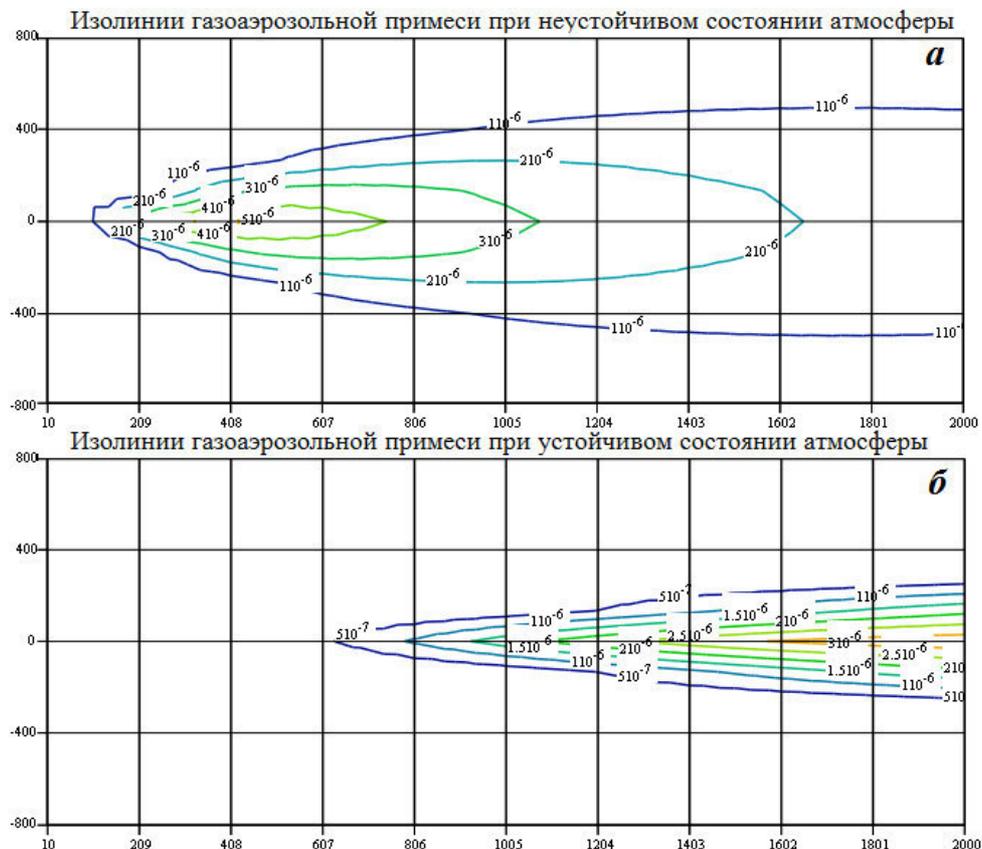
$$H_{\text{инг}} = A_V B_a t, \tag{35}$$

где  $B_a$  – дозовый коэффициент, численно равный мощности эквивалентной дозы для определенного органа человека, создаваемой при единичной концентрации радионуклида во вдыхаемом воздухе (обычно применяется для условного человека), Зв·м<sup>3</sup>/(с·Бк).

– доза, получаемая пероральным путем:

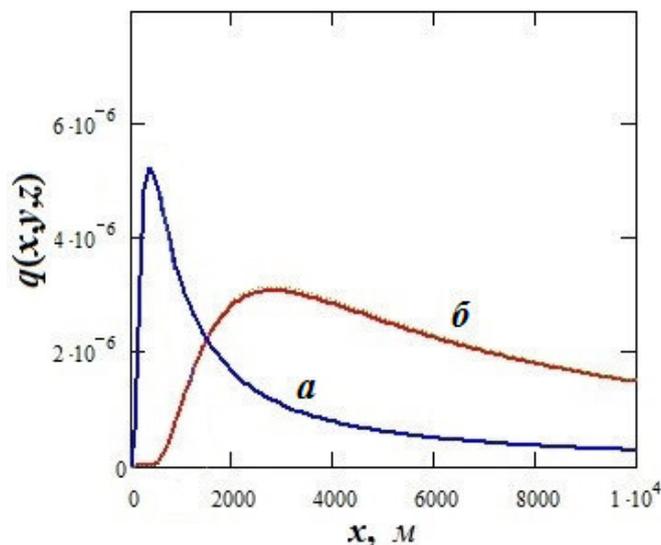
$$H_{\text{пер}} = A_V B_g t, \quad (36)$$

где  $B_g$  – дозовый коэффициент, численно равный мощности эквивалентной дозы для определенного органа человека, создаваемой при единичной концентрации радионуклида, при заглатывании.



**Рис. 8.** – Уровни поверхностного загрязнения подстилающей поверхности для неустойчивого состояния атмосферы (а) и устойчивого (б). Расчет по формуле (13) при  $z = 1,5$  м

В заключение этого краткого обзора методов и средств радиационного контроля окружающей среды приведем (см. рис. 8) результаты расчетов загрязнения подстилающей поверхности в зависимости от состояния устойчивости приземного слоя атмосферы, определяемой системой уравнений (1) – (12), при найденных масштабах Монино-Обухова  $L$  и динамической скорости  $v_*$ , указанных на рисунках 2, 3. На рисунке 8 приведены результаты расчетов изолиний пространственного распределения радиоактивной примеси в приземном слое атмосферы (на высоте  $z = 1,5$  м), которое описывается 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 экологии окружающей среде в целом. На рисунке 9а, б, в рамках рассматриваемой задачи, приведены результаты расчета осевого распределения радиоактивной примеси для неустойчивого (а) и устойчивого (б) состояний атмосферы, соответствующих рисункам 8а и 8б. Из анализа характера осевого распределения объемной активности, приведенного на рисунке 9, следует, что уровни одного значения поверхностного загрязнения, начиная с самого низкого, приведенные на рисунках 8а и 8б, в зависимости от состояния устойчивости атмосферы будут начинаться на различных расстояниях от начала координат.



**Рис. 9.** – Осевые распределения выбросов объемной активности  $q(x,y=0,z=1,5)$  газоаэрозольной радиоактивной примеси при *неустойчивом* (а) и *устойчивом* (б) состояниях атмосферы. Расчет по формуле (13) при  $z = 1,5$  м

Полученная информация об уровнях радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население в условиях радиационной аварии на ОИАЭ должна быть проанализирована в соответствии с критериями, которые определены нормативными документами: НРБ-99/2009, СП АС-2003, ОСПОРБ-99/2010 и др. Выполнение требований этих документов определяет «План Мероприятий», согласно которому на ОИАЭ в условиях радиационной аварии по согласованному с руководством ОИАЭ сценарию осуществляются определенные действия, направленные на минимизацию последствий аварии, порядок, последовательность и обязательность их выполнения, что, в конечном итоге, и позволит минимизировать последствия радиационной аварии. Результат указанных последовательных действий в рамках «Плана Мероприятий» будет играть существенную роль, как при минимизации последствий радиационной аварии, так и при оценке ущерба окружающей среде и населению.

Ликвидация радиационной аварии начинается с возобновлением управления источником, после чего ставится задача минимизации последствий аварии.

При решении последней задачи руководствуются информацией, касающейся радионуклидного состава выброса, его длительности, особенности подстилающей поверхности, попавшей в зону радиоактивного загрязнения, её площадью, численностью населения, проживающего в этой зоне. Для принятия решений о действиях, связанных с населением, руководствуются типом радионуклидов ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), периодом полураспада (короткоживущие, долгоживущие) и возможными дозовыми нагрузками на население, которое оно может получить, находясь на загрязненной территории.

При радиоактивном загрязнении короткоживущими радионуклидами следует проводить выжидательную тактику, то есть ограничить перемещение населения по территории на время распада радионуклидов до приемлемого уровня, организовать подвоз чистой воды и продуктов первой необходимости.

При загрязнении территории долгоживущими радионуклидами, методика принимает более сложный вид. В совокупности с дозовыми нагрузками на население, выбирается тип методики. Эти нагрузки закреплены законодательно и представлены в

таблицах 1 и 2 [20].

**Таблица 1.** – Критерии для принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов [20]

<i>Меры защиты</i>	<i>Предотвращаемая эффективная доза, мЗв</i>	
	<i>уровень А</i>	<i>уровень Б</i>
Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды	5 за первый год 1 /год в последующие годы	50 за первый год 10 /год в последующие годы
Отселение	50 за первый год	500 за первый год
	1000 за все время отселения	

**Таблица 2.** – Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов питания в первый год после возникновения аварии [20]

<i>Радионуклиды</i>	<i>Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах, кБк/кг</i>	
	<i>уровень А</i>	<i>уровень Б</i>
<sup>131</sup> I, <sup>134</sup> Cs, <sup>137</sup> Cs	1	10
<sup>90</sup> Sr	0,1	1,0
<sup>238</sup> Pu, <sup>239</sup> Pu, <sup>241</sup> Am	0,01	0,1

**Таблица 3.** – Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии [20]

<i>Меры защиты</i>	<i>Предотвращаемая доза за первые 10 суток, мГр</i>			
	<i>на все тело</i>		<i>щитовидная железа, легкие, кожа</i>	
	<i>уровень А</i>	<i>уровень Б</i>	<i>уровень А</i>	<i>уровень Б</i>
Укрытие	5	50	50	500
Йодная профилактика: взрослые	-	-	250*	2500*
дети	-	-	100*	1000*
Эвакуация	50	500	500	5000
* Только для щитовидной железы				

Принятие решений о мерах защиты населения в случае запроектной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, и уровней загрязнения с уровнями А и Б, приведенными в таблицах 1, 2. Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии, представлены в таблице 3.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, не превосходит уровень А, нет необходимости в выполнении мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территории.

Если предотвращаемое защитным мероприятием облучение превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, решение о выполнении мер защиты принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, достигает и превосходит уровень Б, необходимо выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории.

На поздних стадиях радиационной аварии, повлекшей за собой загрязнение обширных территорий долгоживущими радионуклидами, решения о защитных мероприятиях принимаются с учетом сложившейся радиационной обстановки и конкретных социально-экономических условий.

В зависимости от типа загрязненной территории выбирается одна из методик

оценки последствий аварии и набора мероприятий по ликвидации ее последствий [20]. Методика содержит в себе критерии и рекомендации для экстренных служб по работе в зоне аварии с объектами природы и инфраструктуры, а так же населением.

Территории, которые могут быть загрязнены в результате прохождения над ними радиоактивного облака при гипотетической аварии, целесообразно разделить на три типа: населенные пункты; сельскохозяйственные угодья; парки, заповедники, естественные природные заказники.

Для первого типа большое значение имеет такое мероприятие, как рекультивация и дезактивация земель (почва, инфраструктура). При этом для определения вида радионуклидов, загрязняющих подстилающую поверхность, предварительно проводится спектральный анализ проб подстилающей поверхности, используя методы, основанные на применении либо БДК (9), либо мобильной лаборатории дозиметрического контроля (7) (см. рис. 1). Исходя из результатов, принимается решение о выполнении тех или иных мероприятий: при дозовых нагрузках на население больше 30 мЗв в месяц для начала временного отселения и 10 мЗв в месяц для окончания временного отселения. Если прогнозируется, что накопленная за один месяц доза будет находиться выше указанных уровней в течение года, тогда решается вопрос о полной эвакуации населения [20]; дезактивация гражданских, природных, военных и промышленных объектов; эвакуация населения на время проведения мероприятий по ликвидации последствий аварии с предоставлением медицинских услуг. Информационные мероприятия следует проводить путем издания брошюр для населения близлежащих населенных пунктов с описанием правил поведения и актуальных сведений об обстановке на загрязненной территории. Для более оперативного извещения населения близлежащих городов рекомендуется создание информационных центров, установка табло с отображаемой на нем актуальной информацией о радиационной обстановке.

Для второго и третьего типов радиоактивно-загрязненных территорий целесообразно рассматривать вопрос о физических мерах их изоляции. Такими средствами могут служить ограждения строительного типа из полупрозрачных конструкций, с созданием КПП и постов охраны [21]. При создании таких систем следует учитывать биоценоз местности, поскольку существование ограждений ставит под угрозу пути миграции, а также условия обитания крупных животных, ареал обитания которых может располагаться на изолируемых территориях. Поэтому эти вопросы следует учитывать, устанавливая для животных коридоры проходов, аналогичных тем, что создаются при строительстве автомобильных трасс. Для всех трех типов методик необходимо производить оценку дозовых нагрузок специальными службами, с использованием специализированной техники и приборов (5),(6), указанных выше (см. рис. 1), а также средств индивидуальной защиты персонала. Для оперативного анализа, как уже указывалось, целесообразно использование на ОИАЭ передвижных мобильных лабораторий (7) для исследования проб почвы и воды из зоны загрязнения [10], а также беспилотных средств радиационного контроля воздушной среды и водных акваторий (8),(9), о чем упоминалось выше.

Таким образом, общий вид методики оценки ущерба последствий радиационной аварии и последовательности шагов их ликвидации можно изобразить в виде схемы (рис. 10).

#### ДИСПАНСЕРИЗАЦИЯ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ, ПОСТРАДАВШЕГО ВО ВРЕМЯ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

Диспансеризация представляет собой комплекс мероприятий, в том числе по проведению медицинских осмотров врачами разной направленности и применение необходимых методов обследования.



**Рис. 10.** – Блок–схема методики оценки ущерба последствий радиационной аварии и последовательности шагов их ликвидации

В соответствии с Порядком проведения диспансеризации определенных групп взрослого населения, утвержденным Приказом Минздрава РФ от 03.12.2012 № 1006н (далее – Порядок № 1006н):

– первый этап диспансеризации включает в себя осмотр врачами-специалистами, исследования и иные мероприятия, проводимые у мужчин и женщин в определенный возрастной период;

– второй этап включает индивидуальное дообследование и уточнение диагноза заболевания, проведение углубленных профилактических консультаций.

Оплата первого этапа диспансеризации производится по законченному случаю. Расчет стоимости первого этапа необходимо осуществлять с учетом дифференциации в зависимости от объема диспансеризации по полу и возрасту, установленного Порядком № 1006н.

Оплата второго этапа диспансеризации осуществляется за посещение или законченный случай, включая посещения к конкретным специалистам (с учетом объема исследований по направлениям данных специалистов).

Оплата услуг в рамках мероприятий по диспансеризации, оказываемых учреждением гражданам, производится по тарифам. Тарифы для первого и второго этапов диспансеризации устанавливаются тарифным соглашением в субъекте РФ (см. табл. 4).

**Таблица 4.** – Тарифы на оплату медицинской помощи [22], [23].

Наименование услуги	Стоимость программы на одного человека (в руб.)
Диспансеризация для мужчин до 40 лет	11 450
Диспансеризация для мужчин старше 40 лет	12 300
Диспансеризация для женщин до 40 лет	14 450

Диспансеризация для женщин старше 40 лет	16 600
--	--------

В соответствии со статьей 5 закона 1244-1, статьей 15 закона 175-ФЗ, статьей 4.1 закона 2-ФЗ, такие денежные компенсации, за некоторым исключением, индексируются каждый год. Например, коэффициент индексации – с 1 февраля 2016 года – 1,07 [24].

Размер компенсации носит сугубо индивидуальный характер, который зависит от нанесенного материального и физического ущерба во время и после аварии. На примере аварии на ЧАЭС можно увидеть, что перечень медицинских и социальных услуг, а так же их стоимость, определены законодательно [24].

При аварии, повлекшей за собой радиоактивное загрязнение обширной территории, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки устанавливается зона радиационной аварии. В зоне радиационной аварии проводится контроль радиационной обстановки и осуществляются мероприятия по снижению уровней облучения населения на основе изложенных в [20] принципов и подходов.

### ПОРАЖЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

На примере аварии на ЧАЭС можно судить о поведении загрязнителя в момент выброса, а так же непосредственно после аварии.

В результате первичных работ, необходимых для проведения дезактивирующих мероприятий (частичное снятие загрязненного поверхностного слоя грунта около аварийного блока, покрытие площадки бетонными плитами и засыпание чистыми материалами – песком, щебнем и т.п.), возникает сложная последовательность почвенных слоев. Краткая характеристика таких слоев указана в таблице 5.

**Таблица 5.** – Характеристики геологической модели разреза локальной зоны «Укрытия» (указаны первые 4 зоны)

№ зоны	Геологический разрез			
	Зоны, выделенные по:		Литологический состав зон	
	физико-химическим условиям	стратиграфическим условиям		
I	Зона аэрации		Послеаварийный	Щебень, гравий, бетон, сухая
			техногенный слой	бетонная смесь, шлак, песок
II	Зона аэрации		Активный слой	Почвенно-растительный слой, песок, бетон
III			Доаварийный техногенный слой	
IV	Зона насыщения	Колебания УГВ	Естественные отложения	Пески различной зернистости, супесь, суглинок, фрагменты строительных конструкций

Радиометрический и радиохимический анализы проб показал, что толщина «активного» слоя составляет 10÷20 см) (см. рис. 11).

Таким образом, можно определить слой грунта, необходимый для снятия и последующей утилизации – 10-20 см., в зависимости от расположения местности и объема осадков [25].

Примерная сметная стоимость строительных и монтажных работ определена в соответствии с [26] с последующим пересчетом в уровень цен 2016 года (т.р.):

- оплата труда рабочих-строителей – 29,113;
- эксплуатация строительных машин и механизмов – 15,653;
- материалы – 9,894.

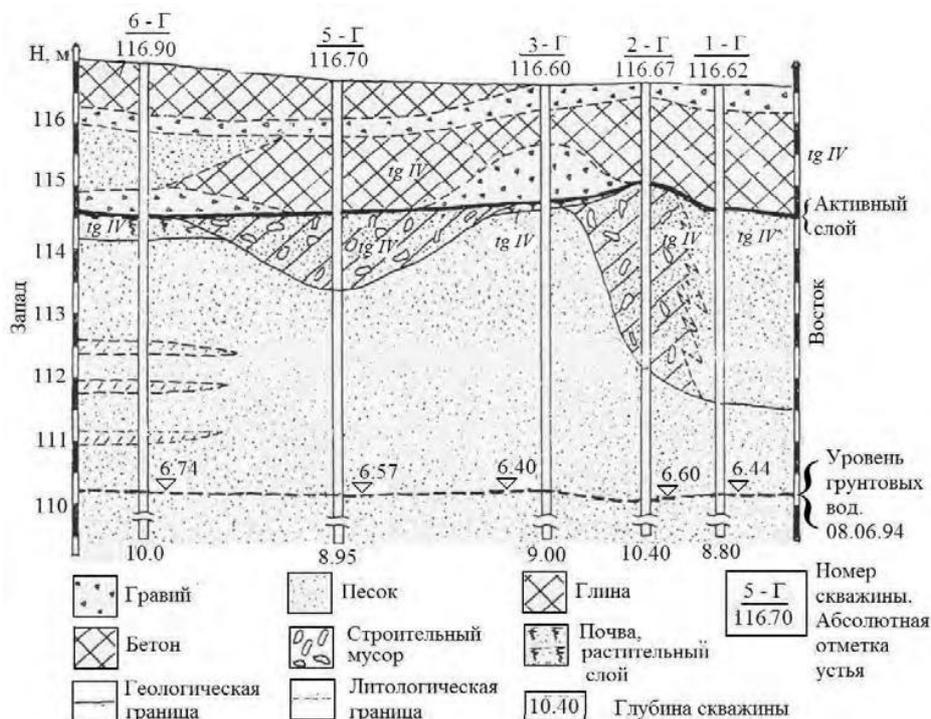


Рис. 11. – Геолого-литологический разрез (упрощенный). Масштаб горизонтальной шкалы – 1:100, масштаб вертикальной шкалы – 1:50. Уровень грунтовых вод – максимальный в 1994 г. (8 июня)

Допустим, при радиационной аварии произошло загрязнение почвенного и растительного покрова на площади 105,89 га.

Общая площадь проведения работ по рекультивации нарушенных земель составляет 32,08 га, стоимость выполнения работ технического этапа рекультивации в ценах 2014 г. – 3 391,911 тыс. руб., стоимость выполнения работ биологического этапа в ценах за 2014 г. [27, 28] – 6 141,574 тыс. руб.

Суммарная стоимость выполнения технического и биологического этапов работ по рекультивации земель составляет 9 533,485 тыс. руб.

### НОРМАТИВЫ ЖИЛИЩНОЙ ПЛОЩАДИ И ЕЕ СТОИМОСТЬ

При эвакуации населения из зоны радиационной аварии, перед государством стоит вопрос о его постоянном размещении. Наиболее оптимальный вариант – расселение по новым квартирам, как это было сделано после аварии на ЧАЭС.

Санитарная норма жилищной площади составляет минимум 6 квадратных метров на одного человека, высота помещения должна быть не ниже 2,2 метра. Согласно [29], норма жилищной площади – 12 квадратных метров на одного жильца. На территории РФ гражданам выделяется площадь в помещениях от 9 до 12 кв.м при высоте потолке от двух с половиной до трех метров.

Стоимость одного квадратного метра жилья различается [30], в зависимости от федерального округа и района размещения. На 2016 год цены варьируются от 25160 р. (республика Калмыкия) до 90400 р. (г. Москва). Однако, с точки зрения статистики, цены в Москве являются выбросом, поэтому среднюю стоимость кв.м. жилья можно принять за 33 тысячи рублей.

Средняя двухкомнатная квартира имеет метраж в 52 кв.м. Итак, стоимость размещения семьи в двухкомнатной квартире – 1 716 000 р. На этом примере можно

провести расчет стоимости расселения населения для его разных слоев. Стоимость размещения одной семьи умножается на количество семей (квартир).

До аварии на ЧАЭС в г. Припять население составляло 47,5 тыс. чел. (на ноябрь 1985 г.). Полагая, что средняя семья состоит из 4 человек (мать, отец и двое детей), при эвакуации 12 000 семей потребуется не меньшее количество квартир, что эквивалентно 20,4 млрд. руб. При этом, амбулаторное медицинское обслуживание населения, оказавшегося в зоне радиоактивного загрязнения, рекультивация земель, а также работы по животноводческому комплексу, несомненно, увеличат статью затрат. Напротив, затраты на систему АСКРО, оснащенную оборудованием, указанным на рисунке 1, с числом постов ~ 20 составляют 25-40 млн. руб.

Приведенные оценки убедительно показывают, что материальные и финансовые затраты на оборудование АЭС, позволяющее осуществлять радиационный контроль, проводить его обслуживание, а также вести работы, связанные с прогностическими оценками радиоактивного загрязнения окружающей среды, будут обходиться значительно дешевле, чем материальные и финансовые затраты по ликвидации последствий аварии на ОИАЭ.

Таким образом, представленные материалы с достаточной убедительностью дают полную картину методов оценки ущерба, связанного с радиационной аварией на ОИАЭ, содержащую как методы радиационного контроля, включающие методы и средства определения радионуклидного состава радиоактивной примеси, распространяющейся в окружающей среде, так и аппарат прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды и методы ликвидации последствий радиационных аварий. Несомненно, что математическая модель переноса радиоактивной примеси в атмосфере, используемая для целей прогнозирования и оценок радиоактивного загрязнения окружающей среды, может быть любой из рекомендованных Ростехнадзором [13] (наиболее адаптированной к местным условиям), но, что в любом случае необходимо, так это обязательное использование гибридного мониторинга, т.е. сочетание расчетных методов прогнозирования с привлечением результатов измерений дозовых характеристик ионизирующего излучения детекторами АСКРО [1, 4]. Последнее существенно повысит точность прогностических оценок, что, в конечном итоге, уменьшит материальные и финансовые затраты на ликвидацию последствий радиационной аварии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Елохин, А.П.* Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды [Текст] / А. П. Елохин : учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 316 с.
2. *Легасов, В.А. и др.* Водородная энергетика // Атомно-водородная энергетика и технология [Текст] / В.А. Легасов и др. – Вып. 1. – М., 1978. – С. 11–36.
3. *Шпильрайн, Э.Э. и др.* Введение в водородную энергетику [Текст] / Э.Э. Шпильрайн, С.П. Малышенко, Г.Г. Кулешов. Под ред. В.А. Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 264 с.
4. *Елохин, А.П.* Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды [Текст] : монография / А.П. Елохин; М-во образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ". – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. – 520 с.
5. *Крышев, И.И. и др.* Оценка ущерба окружающей среде при использовании атомной энергии [Текст] / И.И. Крышев, Л.А. Курындина, И.И. Линге // Атомная энергия. – 2014. – Том 117. – Вып. 3. – С. 159–163.
6. *Лайхтман, Д.Л.* Физика пограничного слоя атмосферы [Текст] / Д.Л. Лайхтман. – Л.: Гидромет. изд-во, 1970. – 340 с.
7. *Стародубцев, И.А. и др.* К вопросу об использовании автоматизированных систем контроля экологической обстановки на территориях, прилегающих к предприятиям черной, цветной металлургической и атомной промышленности [Текст] / И.А. Стародубцев, А.П. Елохин // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – №4(17). – С. 15–34.

8. *Талерко, Н.Н. и др.* К расчету траекторий струй в приземном слое атмосферы [Текст] / Н.Н. Талерко, М.В. Буйков // Труды УкрНИГМИ. – 1979. – Вып. 170. – С. 90–96.
9. *Дмитриев, А.В. и др.* Методы экспериментального определения параметров шероховатости почвенного покрова [Текст] / А.В. Дмитриев, В.В. Дмитриев, И.С. Коньшев, В.Н. Тудос // Вестник СибГАУ. – 2013. – № 5(51). – С. 104–106.
10. Мобильная лаборатория радиационного контроля "Мультирад ЭКО" [Электронный ресурс] // Информационный портал о контрольно-измерительных приборах и их производителях [pribory-si.ru](http://pribory-si.ru) – Каталог средств измерений, испытательного и лабораторного оборудования – 2016. – Режим доступа: URL: <http://pribory-si.ru/catalog/4602/5219/> - 09.03.2016.
11. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-2003/2010). СП 2.6.1.27-2000 [Текст].
12. *Елохин, А.П.* Оптимизация методов и средств автоматизированных систем контроля радиационной обстановки окружающей среды [Текст] / А.П. Елохин: дисс. докт. техн. наук. – М.: МИФИ, 2001. – 325 с.
13. *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 [Текст] / А.П. Елохин, М.В. Жилина, Д.Ф. Рау, Е.А. Иванов. Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.06.2010 г. № 465. – 79 с.
14. Метеорология и атомная энергия [Текст] / Пер. с англ. Под ред. Н.Л. Бызовой, К.П. Махонько. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 648 с.
15. *Машкович, В.П. и др.* Защита от ионизирующих излучений [Текст] / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
16. *Елохин, А.П. и др.* Способ дистанционного измерения загрязнения радионуклидами подстилающей поверхности в следе радиоактивного выброса радиационно-опасных предприятий и система для его осуществления [Текст] / А.П. Елохин, М.В. Жилина, Д.Ф. Рау, П.А. Пархома. Патент №2388018, бюл. №12, от 27.04.2010. Приор. от 26.06.2009.
17. *Елохин, А.П. и др.* Особенности сканирования подстилающей поверхности при помощи беспилотного дозиметрического комплекса [Текст] / А.П. Елохин, Жилина М.В., Пархома П.А. // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107. – Вып. 2. – С. 103–112.
18. *Улин, С.Е. и др.* Перспективы использования ксенонового гамма-спектрометров для экологического мониторинга [Текст] / С.Е. Улин, В.В. Дмитренко, В.М. Грачев, З.М. Утешев, К.Ф. Власик, А.С. Новиков // IV Международная конференция-выставка «Экологические системы, приборы и чистые технологии», Москва, 10-22 апреля 2010. – 2010. – №7. – С. 3–10.
19. *Гусев, Н.Г. и др.* Радиоактивные выбросы в биосфере [Текст] / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.
20. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) [Текст].
21. *Бондарев, П.В. и др.* Физическая защита ядерных объектов : учебное пособие для вузов [Текст] / П.В. Бондарев, А.В. Измайлов, А.И. Толстой; Под ред. Н.С. Погожина. – М.: МИФИ, 2008. – 584 с.: илл.
22. Постановление Правительства РФ от 4 октября 2012 г. №1006 «Об утверждении Правил предоставления медицинскими организациями платных медицинских услуг» [Текст]. – 2012.
23. Федеральный закон Российской Федерации от 21.11.2011 (ред. 25.11.2013) г. №323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» [Текст]. – 2013.
24. Закон РФ от 15 мая 1991 г. №1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» [Текст] – 1991.
25. *Боровой, А.А. и др.* Опыт Чернобыля (работы на объекте «Укрытие») [Текст] / А.А. Боровой, Е.П. Велихов. Часть 3. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2013. – 156 с.
26. Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации МДС 81-35.2004 [Текст]. – 2004.
27. *Пинаев, В.Е. и др.* Вопросы рекультивации земель – опыт подготовки главы для Проекта мероприятий по охране окружающей среды [Электронный ресурс] / В.Е. Пинаев, Д.В. Касимов, О.О. Афанасьева // Мир науки : интернет-журнал. – 2015 – №1. – Режим доступа: URL: <http://mirnauki.com/PDF/13EMN115.pdf> - 10.06.2016.
28. *Пинаев, В.Е. и др.* Оценка воздействия на почвенно-растительный покров – практика проведения при ОВОС [Электронный ресурс] / В.Е. Пинаев, Д.В. Касимов Науковедение : интернет-журнал (учредитель журнала НОУ ВПО ИГУПИТ). № 6 (24), выпуск ноябрь-

- декабрь 2014. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/121EVN614.pdf>.
29. Жилищный кодекс Российской Федерации. Статья 38. [Текст].
30. О нормативе стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по Российской Федерации на первое полугодие 2016 года и показателях средней рыночной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по субъектам Российской Федерации на I квартал 2016 года. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 28 декабря 2015 г. №951/пр. г. Москва. – М, 2015.

## REFERENCES

- [1] Elohin A.P. Avtomatizirovannye sistemy kontrolja radiacionnoj obstanovki okruzhajushhej sredy [The automated control systems of environment radiation situation]: uchebnoe posobie [education guidance]. M. Pub. NIJaU MIFI [NRNU MePhI], 2012, ISBN 978-5-7262-1716-1, 316 p. (in Russian)
- [2] Legasov V.A. etc. Vodorodnaja jenergetika [Hydrogen power engineering]. Iz knigi «Atomno-vodorodnaja jenergetika i tehnologija» [in “Atomic and hydrogen power and technology” book]. M. 1978, pp. 11–36. (in Russian)
- [3] Shpilrajn Je.Je., Malysenko S.P., Kuleshov G.G. Vvedenie v vodorodnuju jenergetiku. Pod redakciej V.A. Legasova [Introduction to hydrogen power]. M. Pub. Jenergoatomizdat [Energoatomizdat], 1984, 264 p. (in Russian)
- [4] Elohin A.P. Metody i sredstva sistem radiacionnogo kontrolja okruzhajushhej sredy : monografija [Methods and means of systems of environment radiation control: monograph]. M. Pub. NIJaU MIFI [NRNU MePhI], 2014, ISBN 978-5-7262-1957, 520 p. (in Russian)
- [5] Kryshev I.I., Kuryndina L.A., Linge I.I. Ocenka ushherba okruzhajushhej srede pri ispolzovanii atomnoj jenergii [Assessment of damage to the environment when using atomic energy]. Atomnaja jenergija [Atomic energy]. 2014, Vol. 117, №3, ISSN 0004-7163, pp. 159–163. (in Russian)
- [6] Lajhtman D.L. Fizika pogrannichnogo sloja atmosfery [Physics of an interface of the atmosphere]. Leningrad. Pub. Gidromet [Gidromet], 1970, 340 p.
- [7] Starodubcev I.A., Elohin A.P. K voprosu ob ispolzovanii avtomatizirovannyh sistem kontrolja jekologicheskoy obstanovki na territorijah, prilegajushhih 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]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2015, №4(17), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 15–34. (in Russian)
- [8] Talerko N.N., Bujkov M.V. K raschetu traektorij struj v prizemnom sloe atmosfery [To calculation of streams trajectories in a ground layer of the atmosphere]. Trudy UkrNIGMI [Works of Ukrainian research hydrometeorological institute], 1979, Vol.170, pp. 90–96. (in Russian)
- [9] Dmitriev A.V., Dmitriev V.V., Konyshov I.S., Tudos V.N. Metody jeksperimentalnogo opredelenija parametrov sherohovatosti pochvennogo pokrova [Methods of experimental determination of soil cover roughness parameters]. Vestnik SibGAU [Siberian State Aerospace University bulletin], 2013, №5(51), ISSN 1816-9724, pp. 104–106. (in Russian)
- [10] Mobilnaja laboratorija radiacionnogo kontrolja "Multirad JeKO". Informacionnyj portal o kontrolno-izmeritel'nyh priborah i ih proizvoditeljah pribory-si.ru. Katalog sredstv izmerenij, ispytatel'nogo i laboratornogo oborudovanija [Mobile laboratory of radiation control "Multirad EKO" / the Information portal about instrumentations and their pribory-si.ru producers - Catalog of measuring instruments, test and laboratory equipment], 2016. Available at: <http://pribory-si.ru/catalog/4602/5219/> (in Russian)
- [11] Sanitarnye pravila proektirovanija i jekspluatacii atomnyh stancij (SP AS-2003/2010). SP 2.6.1.27-2000 [Health regulations of design and operation of nuclear power plants.]. (in Russian)
- [12] Elohin A.P. Optimizacija metodov i sredstv avtomatizirovannyh sistem kontrolja radiacionnoj obstanovki okruzhajushhej sredy [Optimization of methods and means of the automated control systems of environment radiation situation.]. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehniceskix nauk [The thesis for the Doctor of Engineering degree]. M. MIFI [MEPhI], 2001, 325 p. (in Russian)
- [13] Elohin A.P., Zhilina M.V., Rau D.F., Ivanov E.A. Polozhenie o povyshenii tochnosti prognosticheskix ocenok radiacionnyh harakteristik radioaktivnogo zagrjaznenija okruzhajushhej sredy i dozovyh nagruzok na personal i naselenie. Prikaz Federalnoj sluzhby po jekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 08.06.2010 goda [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)
- [14] Meteorologija i atomnaja jenergija [Meteorology and atomic energy]. Pod redakciej N.L. Byzovoj, K.P. Mahonko [Edited by]. Leningrad. Pub. Gidrometeoizdat [Gidrometeoizdat], 1971, 648 p. (in Russian)
- [15] Mashkovich V.P., Kudrjavceva A.V. Zashhita ot ionizirujushhix izluchenij : spravochnik [Protection against ionizing radiation]. M. Pub. Jenergoatomizdat [Energoatomizdat], 1995. ISBN 5-283-03059-8, 496 p. (in Russian)
- [16] Elohin A.P., Zhilina M.V., Rau D.F., Parhoma P.A. Sposob distancionnogo izmerenija zagraznenija radionuklidami podstilajushhej poverhnosti v slede radioaktivnogo vybrosa radiacionno-opasnyh predpriyatij i sistema dlja ego osushhestvlenija. Patent № 2388018, bjuleten №12, 27.04.2010 [Way of remote measurement of pollution by radionuclides of the spreading surface in a trace of radioactive emission of the radiation-hazardous enterprises and system for his implementation. The patent № 2388018, the bulletin № 12, 4/27/2010.]. (in Russian)
- [17] Elohin A.P., Zhilina M.V., Parhoma P.A. Osobennosti skanirovanija podstilajushhej poverhnosti pri pomoshhi bespilotnogo dozimetricheskogo kompleksa [Features of scanning of the spreading surface by means of a pilotless dosimetric complex]. Atomnaja jenergija [Atomic energy], 2009, Vol. 107, №2, ISSN 0004-7163, pp 103–112. (in Russian)
- [18] Ulin S.E., Dmitrenko V.V., Grachev V.M., Uteshev Z.M., Vlasik K.F., Novikov A.S. Perspektivy ispolzovanija ksenonovogo gamma-spektrometrov dlja jekologicheskogo monitoringa. IV Mezhdunarodnaja konferencija-vystavka «Jekologicheskie sistemy, pribory i chistye tehnologii», 10-22 aprelja 2010 goda [Prospects use xenon gamma spectrometers for environmental monitoring. IV International conference exhibition "Ecological Systems, Devices and Clean Technologies", Moscow, on April 10-22, 2010]. M. 2010, №7, pp. 3–10. (in Russian)
- [19] Gusev N.G., Beljaev V.A. Radioaktivnye vybrosy v biosfere [Radioactive emissions in the biosphere]: spravochnik [Reference book]. M. Pub. Jenergoatomizdat [Energoatomizdat], 1986, 224 p. (in Russian)
- [20] SanPiN 2.6.1.2523-09 «Normy radiacionnoj bezopasnosti» (NRB-99/2009) [Health regulations and Standarts 2.6.1.2523-09 of "Standard of radiation safety" (NRB-99/2009)]. (in Russian)
- [21] Bondarev P.V., Izmajlov A.V., Tolstoj A.I. Fizicheskaja zashhita jadernyh obektov : uchebnoe posobie dlja vuzov [Physical protection of nuclear objects: Manual for higher education institutions]. M. Pub. MIFI [MEPhI], 2008, 584 p. (in Russian)
- [22] Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 4 oktjabrja 2012 g. №1006 «Ob utverzhenii Pravil predostavlenija medicinskimi organizacijami platnyh medicinskih uslug» [The resolution of the Government of the Russian Federation of October 4, 2012 N 1006 "About the approval of Rules of providing paid medical services by the medical organizations"]. (in Russian)
- [23] Federalnyj zakon Rossijskoj Federacii ot 21.11.2011 (v redakcii 25.11.2013) goda. №323-FZ «Ob osnovah ohrany zdorovja grazhdan v Rossijskoj Federacii» [The federal law of the Russian Federation, 21.11.2011 (an edition 25.11.2013) №323-FL "About bases of protection of public health in the Russian Federation"]. (in Russian)
- [24] Zakon Rossijskoj Federacii ot 15 maja 1991 g. №1244-1 «O socialnoj zashhite grazhdan, podvergnutih vozdejstvu radiacii vsledstvie katastrofy na Chernobylskoj AJeS» [The act of the Russian Federation of May 15, 1991 № 1244-1 "About social protection of the citizens who were affected by radiation owing to accident on the Chernobyl NPP"]. (in Russian)
- [25] Borovoj A.A., Velihov E.P. Opyt Chernobylja (raboty na obekte «Ukrytie») [Experience of Chernobyl (work on an object "Shelter")]. Part 3. M. Pub. NIC «Kurchatovskij institut» [National Research Center «Kurchatov Institute»], 2013, ISBN 978-5-904437-90-9, 156 p. (in Russian)
- [26] Metodika opredelenija stoimosti stroitelnoj produkcii na territorii Rossijskoj Federacii». MDS 81-35.2004 ["Technique of determination of cost of construction production in the territory of the Russian Federation" of MDS 81-35.2004]. (in Russian)
- [27] Pinaev V.E., Kasimov D.V., Afanaseva O.O. Voprosy rekultivacii zemel – opyt podgotovki glavy dlja Proekta meroprijatij po ohrane okruzhajushhej sredy [Questions of recultivation of lands – experience of training of the head for the Project of actions for environmental protection]. Mir nauki [World of science], 2015, №1. Available at: <http://mirnauki.com/PDF/13EMN115.pdf> (in Russian)
- [28] Pinaev V.E., Kasimov D.V. Ocenka vozdejstvija na pochvenno-rastitel'nyj pokrov – praktika provedenija pri OVOS ["Assessment of impact on a soil and vegetable cover – practice of carrying out at EIA"]. Naukovedenie [Science of science], №6(24), Issue nojabr-dekabr 2014 [Issue Novenber-December 2014]. ISSN 2223-5167, DOI: 10.15862/121EVN614, Availble at:

- <http://naukovedenie.ru/PDF/121EVN614.pdf> (in Russian)
- [29] Zhilishhnyj kodeks Rossijskoj Federacii. Statja 38 [Housing code of the Russian Federation. Article 38]. (in Russian)
- [30] O normative stoimosti odnogo kvadratnogo metra obshhej ploshhadi zhilogo pomeshhenija po Rossijskoj Federacii na pervoe polugodie 2016 goda i pokazateljah srednej rynochnoj stoimosti odnogo kvadratnogo metra obshhej ploshhadi zhilogo pomeshhenija po subektam Rossijskoj Federacii na I kvartal 2016 goda. Prikaz Ministerstva stroitelstva i zhilishhno-kommunalnogo hozjajstva Rossijskoj Federacii ot 28 dekabrja 2015 g. №951/pr. ["About the standard of the cost of one square meter of total area of premises for the Russian Federation on the first half of the year 2016 and indicators of the average market value of one square meter of total area of premises on subjects of the Russian Federation for the I quarter 2016". The order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia) of December 28, 2015] Moscow. (in Russian)

### **The Material Costs in the Aftermath of Radioactive Pollution as a Result of Radiation Accident at Nuclear Facilities**

**A.P. Elokhin\*, I.A. Starodubtcev\*\***

*Department of Automation Engineering, National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409*

*\* e-mail: [elokhin@yandex.ru](mailto:elokhin@yandex.ru); \*\* e-mail: [81-720@mail.ru](mailto:81-720@mail.ru)*

**Abstract** – The work on the example of a hypothetical accident at the nuclear facilities (nuclear facilities) presented the scenario that determines the sequence of works relating to the registration of ionizing radiation caused by the release of gas-aerosol radioactive impurities in the atmosphere, as well as the assessment of radioactive air pollution and the underlying surface in the propagation of impurities on wind. The estimation of dose loads on the personnel and population of the region came under the torch of the radioactive release, and work to eliminate the consequences of the radioactive pollution of the environment. A mathematical formulation of the statement on the assessment of the radioactive contamination of the environment problems and methods of its solution, as well as evaluation of environmental damage, including populated areas, farmland, parks, nature reserves and natural nature reserves.

*Keywords:* radiation accident at the nuclear facilities, registration of ionizing radiation, radioactive release torch assessment of radioactive contamination of air basin and the underlying surface, evaluation of radiation exposure of personnel and population of the region, assessment of environmental damage.

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

УДК 621.91

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ АДДИТИВНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛОПАТОК ТУРБИН  
СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Б. Граф<sup>\*</sup>, С.Э. Гоок<sup>\*</sup>, А.В. Гуменюк<sup>\*,\*\*</sup>, М. Ретмайер<sup>\*,\*\*,\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> *Общество Фраунгофера, Институт производственных систем и технологий конструирования ИПК,  
Берлин, Германия*

<sup>\*\*</sup> *Федеральное ведомство по исследованию и испытаниям материалов БАМ, Берлин, Германия*

<sup>\*\*\*</sup> *Берлинский технический университет, Берлин, Германия*

Лазерный луч, как источник энергии все чаще используется в аддитивных технологиях изготовления деталей энергетического машиностроения. Одними из перспективных методов аддитивного производства являются технологии, основанные на лазерном сплавлении Laser Metal Fusion (LMF) и лазерной наплавке металлического порошка Laser Metal Deposition (LMD). Использование порошковой ванны в технологии LMF позволяет синтезировать детали сложной геометрической формы. Недатками LMF являются низкая скорость процесса, относительно небольшой размер изготавливаемой детали и существенные ограничения в использовании различных материалов порошков во время изготовления детали. Технология LMD напротив, реализует более высокие скорости выращивания детали с возможностью смены порошка во время процесса. Однако, технология LMD имеет существенные ограничения по сложности геометрической формы изготавливаемых деталей. Комбинируя возможности двух этих технологий можно добиться соответствующих преимуществ, а именно изготавливать детали сложной геометрической формы, большего размера и с высокими скоростями процесса. В работе рассмотрены особенности комбинированной лазерной аддитивной технологии на примере изготовления лопаток газовых турбин со сложной геометрической формой. Эффективность предлагаемой технологии подтверждает более чем 60% сокращение времени изготовления детали.

**Ключевые слова:** аддитивные лазерные технологии, селективное лазерное сплавление, лазерная наплавка лопатки турбин.

Поступила в редакцию 04.07.2016 г.

## INTRODUCTION AND STATE OF THE ART

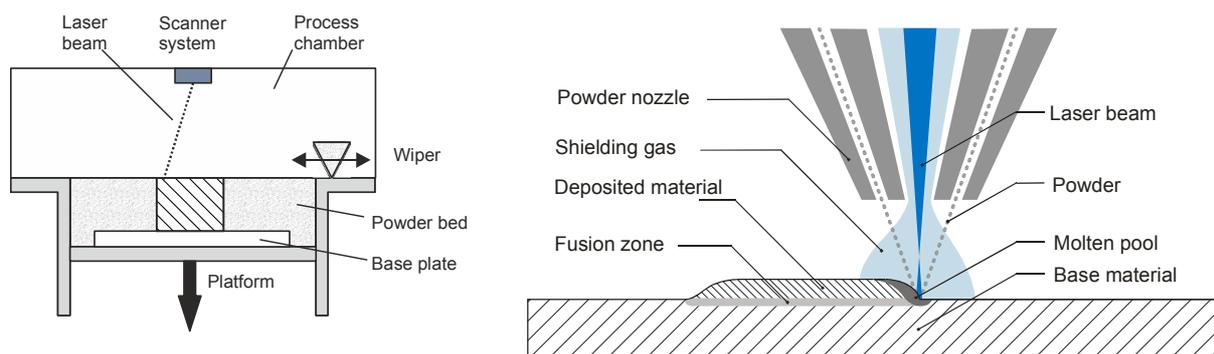
Today, the trend to individualized products and decreasing time to market, leads to an industrial demand for flexible manufacturing technologies [1]. These technologies have to be sustainable and resource-efficient, and have to allow the production of long-life capital goods. Additive manufacturing technologies offer high flexibility regarding complex design features and allow direct manufacturing from CAD-data without tooling, therefore saving time and costs [2]. Leading manufacturing companies are including additive manufacturing to their service portfolio. ZEISS offers support along the whole additive process chain from design till the finished product [3], and TRUMPF has recently entered the market with their own powderbed-based additive manufacturing machine TruPrint Serie 1000.

Additive processes gain in importance especially in the aviation industry, where the potential of lightweight structures to increase payload capacity and to decrease fuel consumption and pollutant emission is relevant.

Important laser beam processes for additive manufacturing are Laser Metal Fusion

(LMF) and Laser Metal Deposition (LMD). LMF is using a powder bed and based on three repeating steps. First, a thin layer of metal powder is placed on a platform with a mechanical coating system. In the second step, a focused laser beam selectively melts the top-most layer of the powder bed. And in the third step, the platform is lowered by the layer thickness and the cycle begins again. Typical layer thickness ranges from 30  $\mu\text{m}$  to 50  $\mu\text{m}$ , so complete parts usually consist of thousands of layers. Picture 1(a) shows the LMF process.

The LMD process is shown in picture 1(b). A molten pool is created on the surface by a laser beam. At the same time, powdery filler material is injected in the molten pool. After solidification, the filler material forms single weld beads. Multiple weld beads placed next to each other form layers or volumes.



**Picture 1:** (a) Laser metal fusion process; (b) Laser metal deposition process

Despite their ability to manufacture highly complex parts, the industrial applications of powder-bed based technologies like LMF are still limited because of low build-up rates. In order to improve the feasibility of additive manufacturing for industrial applications, it is necessary to improve manufacturing time for small and medium sized batch production. The Center for Digital Technology and Management in Munich describes an increased build-up rate as key driver for additive manufacturing in order to reach an expected market volume of €7.7 billion in 2023 [4]. In recent years, different methods for this purpose have been discussed and developed. One method are systems with higher laser power in order to melt multiple layers at the same time [5]. Another option are multi beam systems described in [6]. While an increased build-up rate was achieved, manufacturing time still remains too long for batch production.

LMF normally is restricted to the same powder for the whole build-up process. The need for more material flexibility drives current research activities. One option to modify material properties is creating different porosity levels, as described by Wegener from ETH Zürich in [7]. New materials are qualified by researches around the world, therefore increasing applications for powderbed-processes.

Instead of a powder-bed, Laser Metal Deposition (LMD) utilizes a powder nozzle for material delivery. Its application as additive manufacturing technology for Ti-6Al-4V and Inconel 718 is described in [8]. Material deposition for repair purposes and resulting mechanical properties are shown in [9] and [10]. In order to adjust process parameters for the additive manufacturing of a specific geometry, the relation of process parameters and bead geometry can be determined with design of experiments [11].

LMD offers the possibility to change the deposited material during the welding process. Scientists from the California Institute of Technology have shown that the production of multifunctional metal alloys with a strategically graded composition is possible, therefore mechanical and physical material properties can be adjusted for the respective application. This can be used for graded metal inserts in spacecraft panels [12].

Although LMF and LMD are increasingly covered in scientific research, a combination

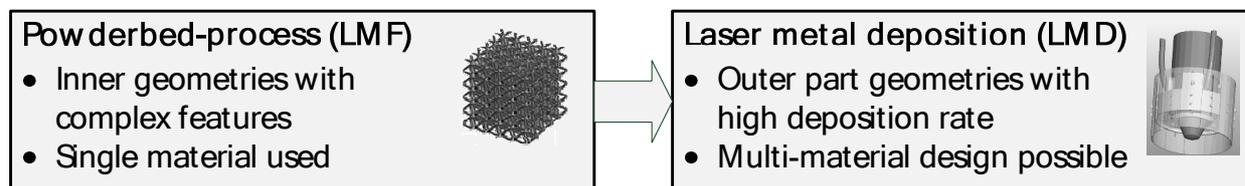
of Laser Metal Fusion and Laser Metal Deposition has rarely been described. To the authors knowledge, only one publication describes laser cladding as repair technology for tools made by selective sintering [13]. Multiple layers crack free and strongly bonded with the substrate could be deposited, although porosity was observed. Therefore, [13] recommends a grinding process on the surface to reduce porosity in the clad.

A comparison of the two additive processes LMF and LMD is shown in table 1. Because of their respective features, a combined additive process chain has the potential to benefit from high structural complexity with LMF, while increasing build-up rates and material flexibility with LMD.

**Table 1:** Comparison of additive technologies

	<b>Part dimensions</b>	<b>Structural complexity</b>	<b>Substrate</b>	<b>Material flexibility</b>
<b>Laser Metal Fusion</b>	Limited by the process chamber	High, e.g. lattice structures	Flat surfaces	Same powder for the whole process
<b>Laser Metal Deposition</b>	Limited by the machine working area	Limited, e.g. walls	Arbitrary surfaces	In-process change of powder

The aim of this paper is the combination of both additive manufacturing technologies LMF and LMD. This novelty allows manufacturing of complex components with high build-up rates, while maintaining high dimensional accuracy in the complex part. For this purpose, the feasibility of LMF and LMD combination is described.



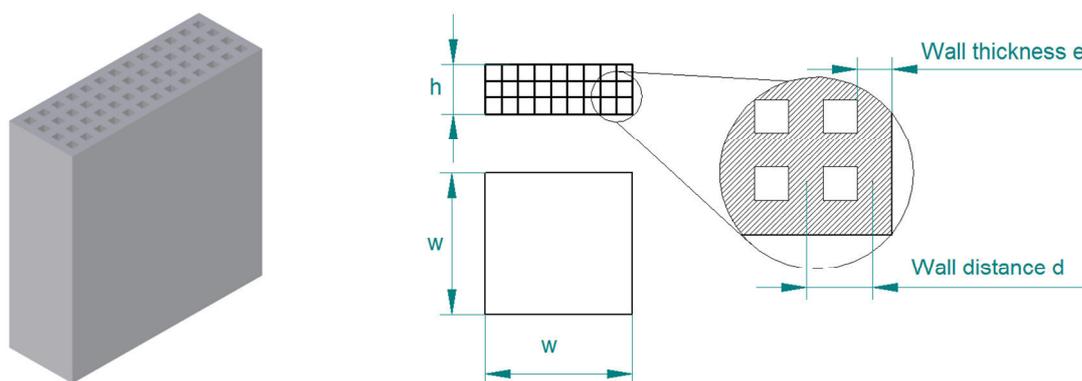
**Picture 2:** Combined additive manufacturing

## EXPERIMENTAL

LMD is conducted with a TRUMPF TruDisk 2002 system and 3-jet powder nozzle. For LMF, the machine 250HL from SLM Solutions is used.

### Lattice structures

In order to evaluate basic influences of the LMD process on a LMF substrate, different test geometries are manufactured with the combined process chain. The test geometries consist of lattice structures with different wall thickness, resulting in different stiffness and heat dissipation. Thereby typical LMF part features are represented in the substrate. Picture 3 shows the LMF substrate, and table 2 the variation of its wall thickness.



**Picture 3:** Test specimen manufactured with LMF

**Table 2:** Geometric dimension of test specimen

Number	Wall thickness in mm	Wall distance in mm	Height in mm	Width in mm
1	0.5	1.0	7.5	20.5
2	0.75	1.5	6.75	20.25
3	1	2	7	21
4	1	3	7	20

After LMF manufacturing, 10 layers of material are deposited with LMD on the specimen. No cooling break was made between the depositions of each layer. The process parameters are shown in table 3. The titanium alloy Ti-6Al-4V was chosen because of its susceptibility to heat tint, which allows to easily indicate thermal influence of the LMD process on the substrate. The geometrical influence regarding distortion is evaluated by comparing a 3D scan of the specimen before and after LMD welding.

#### Turbine blade:

Combined additive manufacturing is applied for the manufacturing of a turbine blade. First, a conventional turbine blade design is adjusted according to additive manufacturing design rules. The airfoil portion of the blade including its complex inner structures is built with LMF first. In the second step the fir-tree root of the blade is built with LMD employing two different parameter sets. One parameter set is optimized for high accuracy, while the second set is chosen in order to build massive volumes with a low number of layers. Every 5 layers cool down times around 3 minutes were made in order to prevent heat accumulation. The blade is manufactured from nickel-based alloy Inconel 718. The process parameters are shown in table 3. In order to evaluate build-up rates and potential economic benefits of combined laser additive manufacturing, the same blade is built with LMF only.

## RESULTS AND DISCUSSION

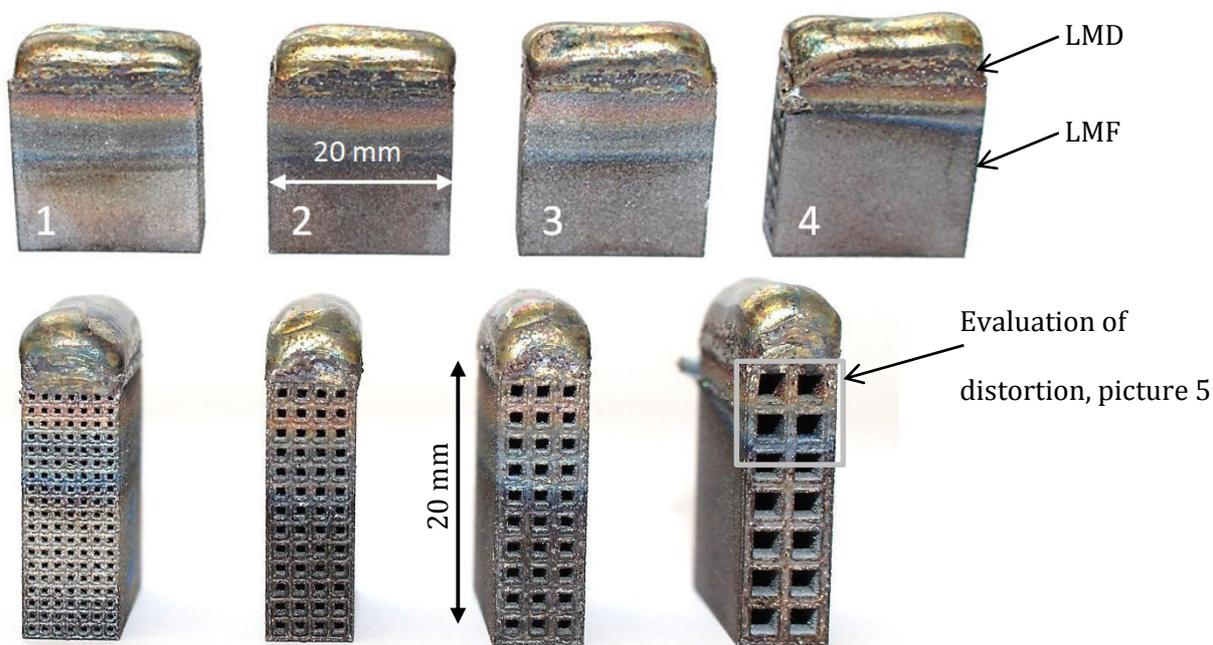
#### Test structures for LMF-LMD combination:

The test specimens after LMD material deposition are shown in picture 4. Geometries 1 to 3 have similar heat tint, while the heat tint in specimen 4 is confined in a smaller area closer to the LMD part. This difference can be explained by the part specific heat dissipation due to different wall thicknesses. The heat conduction for specimen 4 is along a width of

3 mm (3 walls with 1 mm thickness each), while the other specimen are considerably higher between 3.75 mm and 4 mm. The lower heat dissipation in specimen 4 leads to higher heat accumulation at the top and a smaller spatial extend of heat tint.

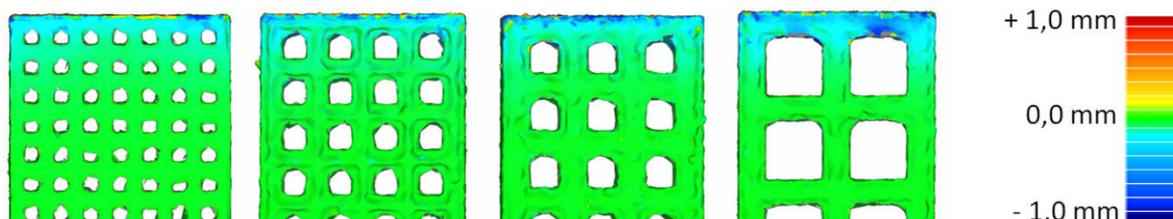
**Table 3:** Process parameters for test specimen and blade manufacturing

		Laser power in W	Velocity in mm/min	Spot diameter in mm	Powder mass flow in g/min
Test specimen Ti-6Al-4V	LMD	1000	1000	1.0	3.75
	LMF	275	975	0.1	-
Turbine blade Inconel 718	LMD volume	1000	600	1.0	6.5
	LMD high accuracy	800	800	1.0	6.5
	LMF volume	250	700	0.1	-
	LMF grid structure	150	350	0.1	-



**Picture 4:** Heat tint on test specimen after LMD deposition

Picture 5 shows the evaluation of geometric deviations after LMD welding based on the 3D scan. All four structures provide sufficient stiffness to prevent significant distortion due to LMD welding. Deviations are only visible along the edge and the contour, where substrate material is melted and geometric precision is lost after solidification.



**Picture 5:** Geometric deviation of LMF substrate after LMD welding, determined by 3D scan

These results from heat tint and geometric analysis can be applied to design the build-up process for the combined additive manufacturing in the following way:

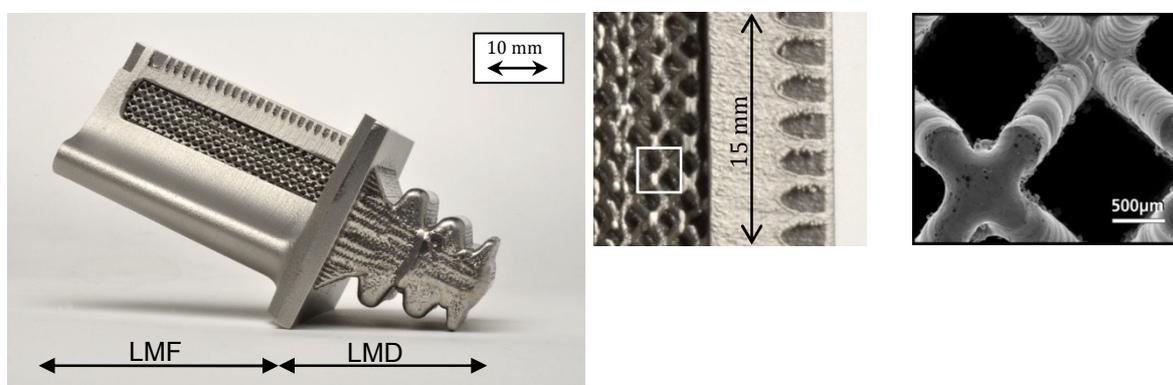
- In order to avoid heat accumulation resulting in heat tint, cool down times between layers should be made. It is necessary to account for individual part features regarding heat dissipation while designing the cool down times.

- Multiple LMD parameter sets should be applied during the build-up of a volume. Along the contour, a parameter set with low heat input and small melt pool seems favourably in order to reduce the influence on the edge of the LMF substrate. During the build-up of the inner volume, a parameter set with higher energy input and deposition rate can be chosen.

Both aspects are considered for the turbine blade manufacturing.

#### Turbine blade:

The turbine blade produced with combined laser additive manufacturing is shown in picture 6. In the detailed view of the lattice structures no cracks or deformations are visible. High geometrical accuracy was achieved for the complex trailing edge.



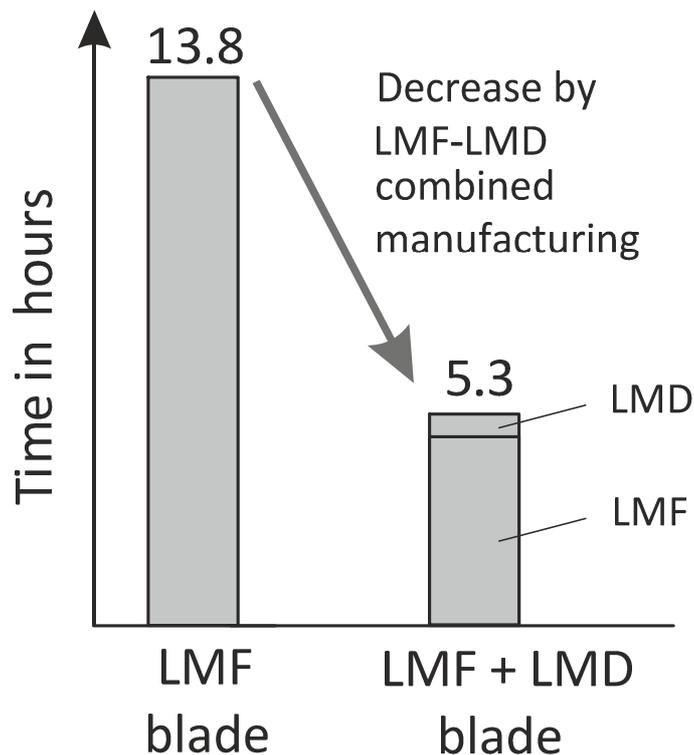
**Picture 6:** Turbine blade manufactured by LMF and LMD

The fir-tree root is built near net shape. Since this is a high precision part, further machining via CNC milling is required independently of the production method with LMF only or the combined laser additive manufacturing.

The possibility to include complex inner structures leads to higher functionality of turbine blades. Full material regions can be replaced with lattice structures, therefore a lighter design with sufficient stiffness can be achieved. Another advantage of lattice structures is a more effective heat exchange between cooling air and blade wall due to an increased surface-to-volume-ratio. The consumption of cooling air is reduced and thereby the degree of efficiency is increased.

A significant decrease of manufacturing time was achieved, picture 7. Compared to pure LMF manufacturing, the technology combination decreased the manufacturing time by more than 60 % from 13.8 hours down to 5.3 hours per blade.

During LMD manufacturing, the part temperature increases with each layer, influencing melt pool dimensions and process stability. In order to achieve a constant welding process, the laser power has to be controlled or cooling times between layers have to be applied. For high productivity multiple blades can be manufactured at the same time, using cooling times on one blade for continued material deposition on the next blade. For the shown turbine blade, a batch size of 18 blades allows for a continuous material deposition.



Picture 7: Manufacturing time

Advantages of the combined additive manufacturing with respect to the state of the art.

Compared to the state of the art, the following advantages are achieved by combined laser additive manufacturing:

*Material flexibility:* In the LMD process, material can be changed on the fly by adjusting the feed rate of different powder containers. The combined manufacturing method adds this feature with the geometric complexity of the powderbed process. This leads to new design options and allows components with graded material, while still maintaining complex geometrical features. Benefits are relevant in multiple industrial sectors, especially in the turbomachine industry.

*Turbomachine efficiency:* The new design of the turbine blade with complex inner lattice structures saves weight and improves heat exchange. This reduces the consumption of cooling air and therefore increases the efficiency of the turbomachine. Due to environmental awareness and the increasing scarcity of natural resources, the industrial demand for blades with advantageous designs is expected to rise.

*Batch production:* Blades with complex inner structures, which improve turbomachine efficiency, can only be produced with additive manufacturing processes. So far, low build-up rates in the powderbed prevented broad industrial use of these blades or similar parts. The described combined additive manufacturing reduces production time for the blade by 60 %, improving feasibility for batch production. This makes sure, that advantageous blade features are available for industrial application.

In order to best utilize the LMF-LMD combination in industrial applications, the following criteria should be assessed:

*Part complexity:* The combined laser additive manufacturing is most beneficial when the part consists of both complex and simple features. That way, the benefits of both technologies are utilized. For the turbine blade, part intricacy is represented in the lightweight

and complex airfoil portion, while the simple fir-tree root section is comprised of relatively straightforward geometry.

*Part interface geometry:* The boundary between the two processes should provide enough stiffness to reduce welding distortion effects during LMD build-up. A flat surface, as represented in the platform of the blade, is advantageous for adjusting the LMD process.

*Manufacturing materials:* Benefits regarding materials can be gained whenever a multi-material design is advantageous. With LMD, a change of material can be done easily during the build-up process. One example is to deposit a hard material on the surface for wear protection, while the inner volume is created using a material with high toughness.

*Production scale:* The LMD's high deposition rates can be utilized most efficiently if multiple parts are processed the same time. That way, single parts can cool down while the welding head continues welding subsequent parts. For this blade, a production scale of 18 blades leads to a continuous deposition process. The process combination is therefore most beneficial in small-batch production.

The target groups of combined additive manufacturing are small and medium-sized enterprises, particularly service contractors of Rapid Tooling and Rapid Manufacturing, as well as suppliers of the automotive and turbomachinery industry and mechanical engineering in general.

#### REFERENCES

- [1] T. Caffrey and T. Wohlers: Wohlers Report 2015: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry, 2015. (in English)
- [2] G. N. Levy, R. Schindel, and J.-P. Kruth: Rapid Manufacturing and Rapid Tooling with Layer Manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 52 (2), 2003. DOI:10.1016/S0007-8506(07)60206-6 (in English)
- [3] Carl Zeiss Jena GmbH: Additive Manufacturing at ZEISS, 2015. (in English)
- [4] L. Bechthold, V. Fischer, A. Hainzmaier et al.: 3D Printing - A Qualitative Assessment of Applications, Recent Trends and the Technology's Future Potential, Studien zum deutschen Innovationssystem - Center for Digital Technology and Management (CDTM), München, no. 17, 2015. (in English)
- [5] S. Bremen, D. Buchbinder, W. Meiners, and K. Wissenbach: Mit Selective Laser Melting auf dem Weg zur Serienproduktion?, Laser Technik Journal, vol. 8, no. 6, pp. 24–28, 2011. DOI: 10.1002/latj.201190072 (in English)
- [6] D. Buchbinder, H. Schleifenbaum, S. Heidrich et al.: High Power Selective Laser Melting (HP SLM) of Aluminum Parts, Physics Procedia, vol. 12, pp. 271–278, Jan. 2011. (in English)
- [7] A. B. Spierings, K. Wegener, and G. Levy: Designing Material Properties Locally with Additive Manufacturing technology SLM, Solid Freeform Fabrication Symposium SFF, Austin, TX, USA, 2012, pp. 447–455. (in English)
- [8] G. Kool and E. Amsterdam: Laser additive manufacturing of titan and inconel, The Future of Gas Turbine Technology - 5th International Conference, 2010. (in English)
- [9] P. Korinko, T. Adams, and S. Malene: Laser Engineered Net Shaping® for Repair and Hydrogen Compatibility, Welding Journal, vol. 90, pp. 171–181, 2011. (in English)
- [10] B. Graf, A. Gumenyuk, and M. Rethmeier: Laser metal deposition as repair technology for stainless steel and titanium alloys, Physics Procedia, vol. 39, pp. 376–381, 2012. DOI: 10.1016/j.phpro.2012.10.051 (in English)
- [11] B. Graf, S. Ammer, A. Gumenyuk, and M. Rethmeier: Design of Experiments for Laser Metal Deposition in Maintenance, Repair and Overhaul Applications, Procedia CIRP, vol. 11, pp. 245–248, Jan. 2013. (in English)
- [12] D. C. Hofmann, S. Roberts, R. Otis et al.: Developing Gradient Metal Alloys through Radial Deposition Additive Manufacturing, NATURE Scientific Reports, vol. 4, p. 5357, Jun. 2014. DOI: 10.1038/srep05357 (in English)
- [13] E. Capello, D. Colombo, and B. Previtali: Repairing of sintered tools using laser cladding by wire, Journal of Materials Processing Technology, vol. 164–165, pp. 990–1000, May 2005. DOI:10.1016/j.jmatprotec.2005.02.075 (in English)

## Combined Laser Additive Manufacturing for Complex Turbine Blades

**Benjamin Graf<sup>\*1</sup>; Sergej Gook<sup>1</sup>; Andrey Gumenyuk<sup>1,2</sup>; Michael Rethmeier<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup> *Fraunhofer Institute for Production Systems and Design Technology IPK, Pascalstraße 8-9, 10587 Berlin, Germany*

<sup>2</sup> *BAM - Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Germany*

<sup>3</sup> *Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Germany*

*e-mail: Benjamin.graf@ipk.fraunhofer.de*

**Abstract** – Laser beam processes are increasingly used in the field of additive manufacturing. Prominent methods are either powderbed-based like Laser Metal Fusion (LMF), or utilizing a powder nozzle like Laser Metal Deposition (LMD). While LMF allows the manufacturing of complex structures, build rate, part volumes and material flexibility are limited. In contrast, LMD is able to operate with high deposition rates on existing parts, and materials can be changed easily during the process. However LMD shape complexity is limited. Utilizing their respective strengths, a combination of these two additive technologies has the potential to produce complex parts with high deposition rates and increased material flexibility. In this paper, combined manufacturing with additive technologies LMF and LMD is described. Its benefit for industry with emphasis on turbomachinery is shown. As reality test for the innovation, an industrial turbine blade is manufactured.

*Keywords:* additive manufacturing; laser metal fusion; laser metal deposition; turbine blade.

---

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

---

УДК 004.414

**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ  
И МЕТОДОВ АНАЛИЗА РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОЕКТА  
ПО СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ  
ДЛЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ<sup>1</sup>**

© 2016 А.Е. Колоденкова

*Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия*

Для моделирования процесса оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем (ИУС) для атомных станций (АС) предлагается применять систему когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта. Рассматривается обобщенная схема анализа реализуемости проекта, а также структура системы когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию ИУС. Приводятся фрагменты экранных форм программного обеспечения (ПО), которое реализует отдельные модели и методы анализа реализуемости проекта.

*Ключевые слова:* система когнитивных моделей и методов, анализ реализуемости проекта, нечеткие исходные данные, АЭС.

Поступила в редакцию 15.07.2016 г.

Оценка реализуемости проекта по созданию ИУС для АС на этапе предпроектного исследования характеризуется: широким спектром неопределенностей (при описании целей, что обусловлено наличием свойств нечисловой природы, приближенностью и неоднозначностью определения значений числовых параметров; при задании исходных данных, что обусловлено их выражением в словесной форме), присутствием слабой структурированности теоретических и фактических знаний о проекте, отсутствием точного математического описания процесса создания ИУС [1–4].

В связи с этим для моделирования процесса оценки реализуемости проекта по созданию ИУС для АС предлагается построить систему когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию ИУС.

1. Структура системы когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию ИУС

Одним из основных условий повышения эффективности принятия управленческих решений на этапе предпроектного исследования при создании ИУС является обеспечение руководителя проекта, объективной, своевременной информацией о текущем и прогнозируемом состоянии развития ситуаций, связанных с созданием ИУС [5].

На рисунке 1 представлена обобщенная схема анализа реализуемости проекта по созданию ИУС.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-06129 [Work is performed with assistance of the Russian Foundation for Basic Research, the project № 15-08-06129].

Здесь *тонкие стрелки* показывают направление данных, которые используются в методах, *толстые стрелки* – использование одного метода для реализации другого.

В качестве входных исходных данных для оценки реализуемости проекта по созданию ИУС, выступают качественные и количественные данные, которые в свою очередь могут быть четкими / нечеткими.

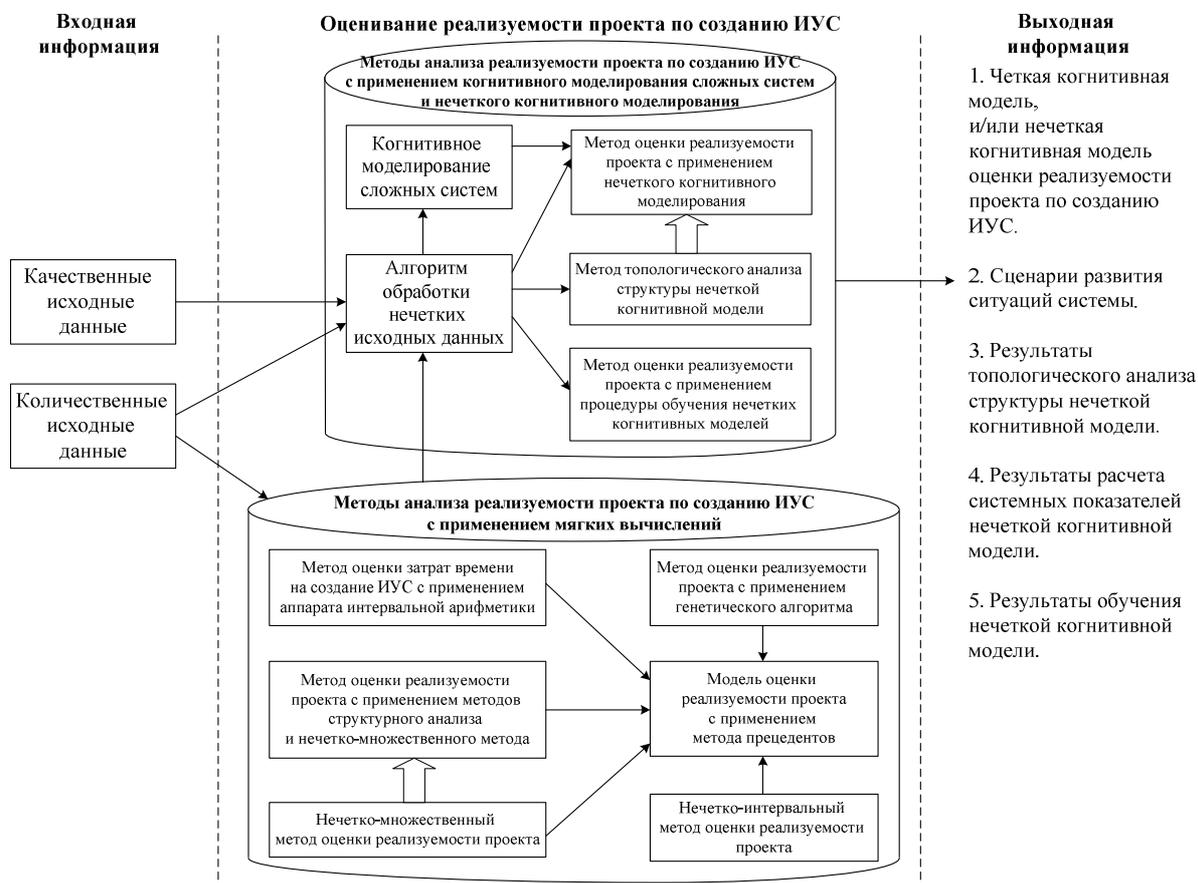


Рис. 1. – Обобщенная схема анализа реализуемости проекта по созданию ИУС

Под *четкими исходными данными* понимаются данные, представленные в виде чисел, которые отличаются или не отличаются единицами измерения и порядком величин. Под *нечеткими исходными данными* понимаются данные, представленные в виде чисел из интервала  $[-1; 1]$ , интервальных, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, а также лингвистических описаний, значениями которых являются слова [6].

Для методов оценки реализуемости проекта по созданию ИУС с применением мягких вычислений в качестве количественных исходных данных выступают показатели реализуемости проекта, а также ограничения на ресурсы, которые заданы в виде нечетких данных. Результатом данных методов является рассчитанная интервальная оценка [7–10], характеризующая приемлемую альтернативу проекта, которая обрабатывается и используется в дальнейшем в методах оценки реализуемости проекта по созданию ИУС с применением когнитивного моделирования сложных систем и/или нечеткого когнитивного моделирования.

Для методов оценки реализуемости проекта по созданию ИУС с применением когнитивного моделирования сложных систем и нечеткого когнитивного моделирования в качестве качественных и количественных исходных данных

выступают факторы, необходимые для оценки реализуемости проекта, причинно-следственные связи между ними, а также ограничения на факторы. Причем используются качественные и количественные исходные данные предварительно прошедшие обработку. В качестве качественных исходных данных выступают значения параметров факторов, а также связи между ними, представленные в виде нечетких исходных данных. В качестве количественных исходных данных выступают значения параметров факторов, связи между ними, а также ограничения, накладываемые на факторы, представленные в виде четких исходных данных [11].

*Под обработкой нечетких исходных данных* понимается структуризация и нормирование четких и/или нечетких значений параметров факторов, связей между ними и ограничений, накладываемых на факторы. Обработка нечетких исходных данных необходима для того, чтобы нечеткие значения параметров факторов представить в виде нечетких чисел из интервала  $[0; 1]$ , а связи между ними в виде «-1», «0», «+1» или нечетких чисел из интервала  $[-1; 1]$ , что позволяет в дальнейшем применить когнитивное моделирование сложных систем и/или нечеткое когнитивное моделирование. Нормирование приводит к тому, что численные значения не отличаются единицами измерения и порядком величин.

Для моделирования процесса оценки реализуемости проекта предлагается пользоваться не единственной моделью, а построить систему когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию ИУС, характеризующейся определенной иерархией и последовательностью использования моделей и методов (рис. 2).

Здесь  $k$  – количество четких когнитивных моделей,  $z = \overline{1, k}$ ;  $m$  – количество нечетких когнитивных моделей,  $b = \overline{1, m}$ . Под четкой когнитивной моделью понимается когнитивная карта (знаковый ориентированный граф), под нечеткой когнитивной моделью – нечеткая когнитивная карта (параметрический взвешенный ориентированный граф).

Отметим, что требования, предъявляемые к системе, определяют методы, с помощью которых данные модели должны разрабатываться, а также методы осуществления расчетов по ним. К методам предъявляются следующие требования:

- 1) четкости описания алгоритма, позволяющей проводить оценку реализуемости проекта при нечетких исходных данных;
- 2) возможности проводить расчеты оценки реализуемости проекта своевременно и многократно, поскольку сценариев развития ситуаций, связанных с созданием ИУС, может быть несколько;
- 3) необходимости учета в алгоритмах сложности и многофакторности процесса оценки реализуемости проекта по созданию ИУС;
- 4) необходимости согласования отдельных оценок реализуемости проекта в предлагаемой системе. Система когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию ИУС должна обеспечить непротиворечивость и взаимную корректировку оценок реализуемости проекта.

Применение когнитивного моделирования сложных систем и нечеткого когнитивного моделирования является необходимым условием для разработки и использования методов анализа реализуемости проекта по созданию ИУС, обеспечивающим высокие требования к выработке обоснованных вариантов управленческих решений для руководителей проекта при создании ИУС.

## 2. Примеры экранных форм программного обеспечения оценки реализуемости проекта

Для сокращения времени проведения предпроектных исследований разработано программное обеспечение (ПО), реализующее отдельные модели и методы анализа реализуемости проекта по созданию ИУС, которое служит математическим аппаратом при принятии управленческих решений по созданию ИУС, позволяющим решать задачи анализа, оценки, поддержки принятия решений, исследования динамики поведения системы при создании ИУС.

В структуре системы когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию ИУС выделены три составляющие (см. рис. 2): методы с применением «мягких вычислений» [1], когнитивное моделирование сложных систем и нечеткое когнитивное моделирование.

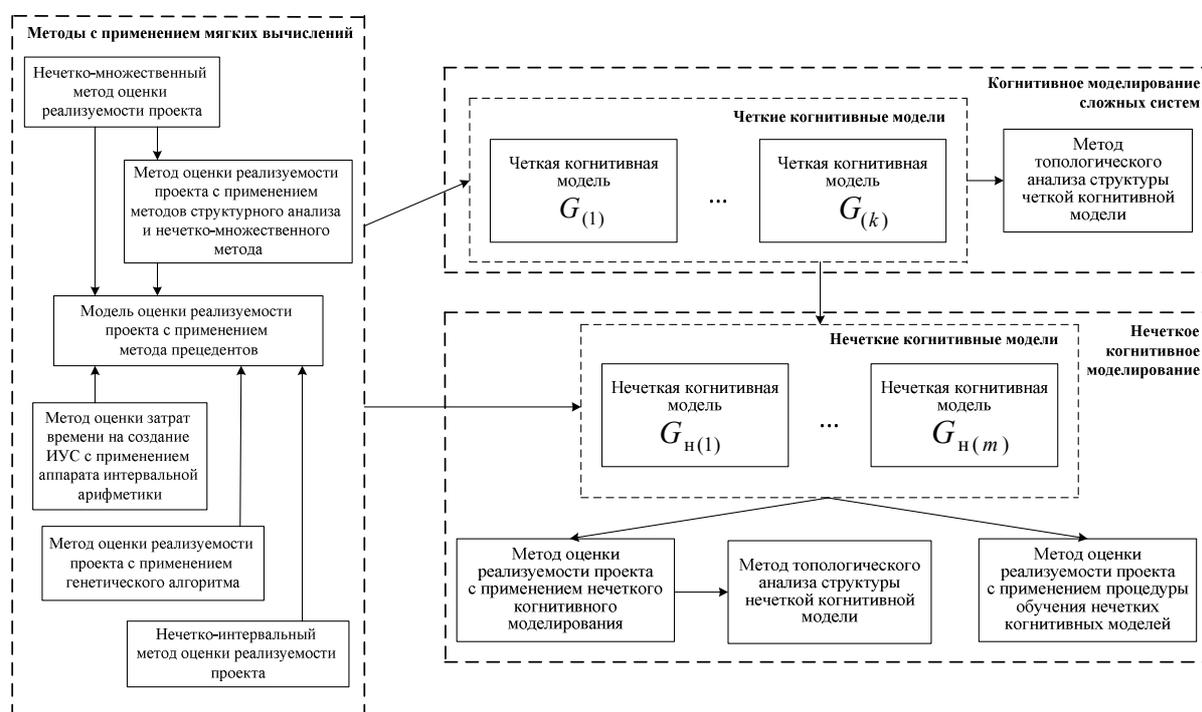


Рис. 2. – Структура системы когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию ИУС

Первая составляющая – методы с применением «мягких вычислений» включает: метод оценки реализуемости проекта с применением прецедентов реализован на языке программирования Java; нечетко-множественный и нечетко-интервальный методы оценки реализуемости проекта, а также метод оценки реализуемости проекта с применением методов структурного анализа и нечетко-множественного метода реализованы в пакете *MS Excel*; метод оценки реализуемости проекта с применением генетического алгоритма реализован на языке C++; метод оценки затрат времени на создание ИУС с применением аппарата интервальной арифметики реализован на языке программирования *Matlab*.

На рисунке 3. представлен фрагмент экранной формы оценки затрат времени на создание ИУС.

Вторая составляющая – когнитивное моделирование сложных систем включает: метод топологического анализа структуры ЧКМ, реализованный в пакете *MS Excel*;

построение ЧКМ, реализованное с помощью программы *CogMap* (разработчик С.А. Радченко).

Третья составляющая – нечеткое когнитивное моделирование включает: метод оценки реализуемости проекта с применением процедуры обучения НКМ, обработку нечетких исходных данных, а также расчет системных показателей НКМ, которые реализованы на языке *Java*; метод оценки реализуемости проекта с применением нечеткого когнитивного моделирования, а также метод топологического анализа структуры НКМ реализованы в пакете *MS Excel*.

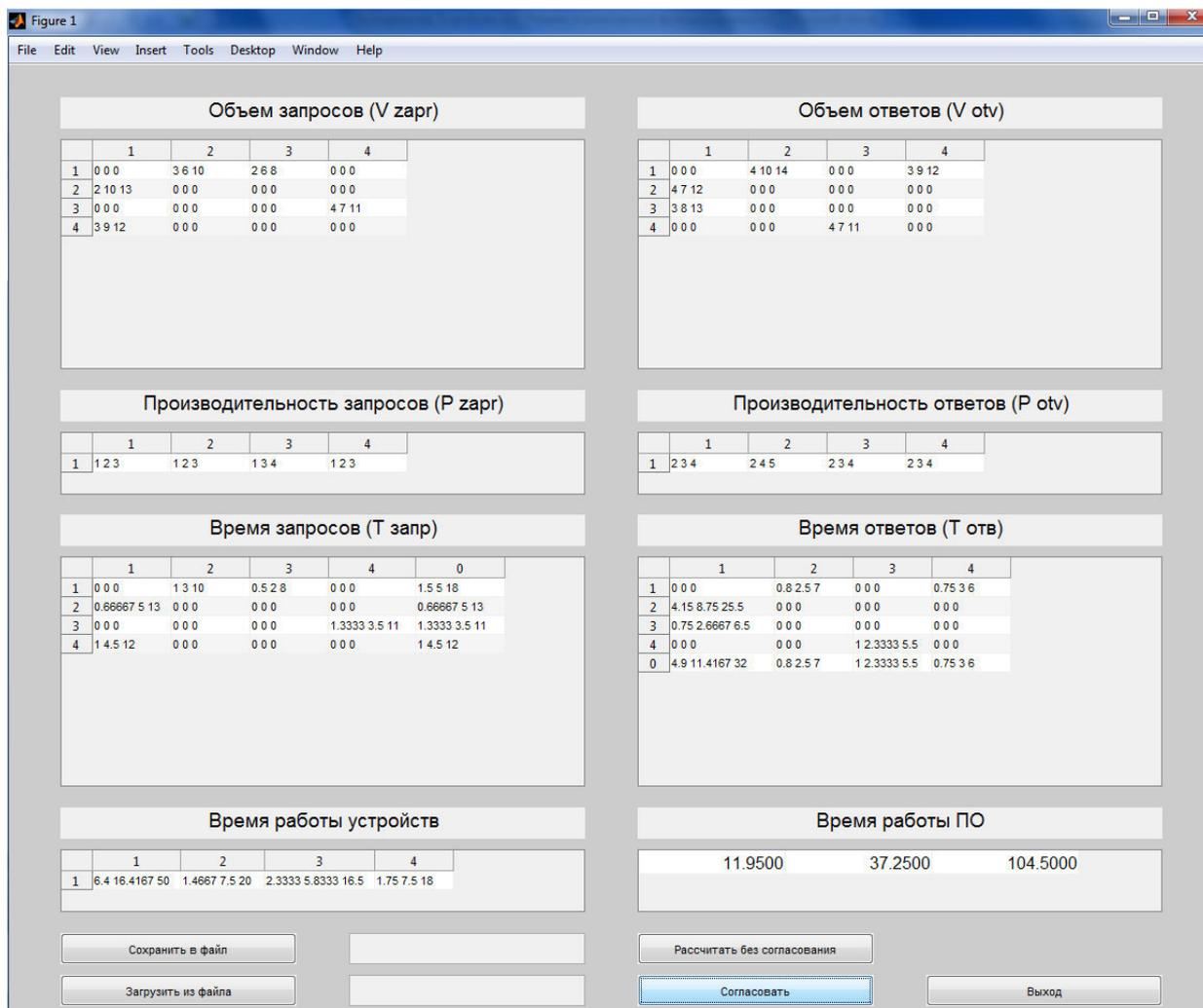


Рис. 3. – Фрагмент экранной формы оценки затрат времени на создание ИУС

На рисунке 4. представлен фрагмент экранной формы оценки затрат времени на создание ИУС.

Таким образом, разработанное ПО предоставляет возможность отображать на экране результаты предпроектных исследований в начале жизненного цикла ИУС.

### 3. Вывод

Для моделирования оценки реализуемости проекта по созданию ИУС для атомных станций в условиях нечетких исходных данных целесообразно применять разработанную систему когнитивных моделей и методов анализа реализуемости

проекта, которая позволяет провести согласованные и непротиворечивые оценки реализуемости проекта, опирающиеся на имеющиеся ресурсы, выявленные факторы и сценарии развития ситуаций, связанные с созданием ИУС. Разработанное ПО позволило сократить время проведения предпроектных исследований на начальном этапе жизненного цикла ИУС и повысить эффективность принятия управленческих решений.

The screenshot shows the 'NHL algorithm' software interface. The main window is titled 'NHL algorithm'. It contains several sections:

- Входные данные (Input data):** A table for 'Значения вершин' (Vertex values) with columns for variables x1 through x11. Each variable has a dropdown menu for its shape (e.g., 'Треугольное', 'Одиночное значение', 'Трапециевидное') and input fields for numerical values. For example, x1 is 'Треугольное' with values 40, 45, 49. x8 is 'Лингвистическое описание' with a value of 0.2 and a question mark.
- Ограничения (Constraints):** A table with columns 'Xmin' and 'Xmax' for variables X1 through X11. For X7, Xmin is 0.000000055 and Xmax is 0.00000001. For X10, Xmin is 168 and Xmax is 180. For X11, Xmin is 1500 and Xmax is 2000.
- Настройки (Settings):** Radio buttons for 'Численные значения' (selected) and 'Лингвистическое описание'. Below are dropdowns for 'Тип переменных' (Треугольное), 'Шкала' (5-бальная), and input fields for 'Скорость обучения' (0.05) and 'Пороговое значение' (0.001).
- Матрица связей (Linkage matrix):** A table with columns x1 through x11 and rows x1 through x11. It shows numerical relationships between variables, such as [1;1;1...], [-1;1;...], [4;1;4...], [2;1;2...], [4;1;4...], [-2;1;...], [4;1;4...], [3;1;3...], [4;1;4...], [-2;1;...], [-2;1;...], [3;1;3...], [-4;1;...], [-4;1;...], [-3;1;...], [-2;1;...], [-2;1;...].

Рис. 7. – Фрагмент экранной формы оценки реализуемости проекта с применением процедуры обучения НКМ

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каляев, И.А.* и др. Методы и средства повышения безопасности и сокращения времени операций с ядерным топливом на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 [Текст] / И.А. Каляев, В.В. Коробкин, Э.В. Мельник, М.А. Хисамутдинов : монография. – Ростов на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. – 208 с.
2. *Липаев, В.В.* Техничко-экономическое обоснование проектов сложных программных средств [Текст] / В.В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 284 с.
3. *Липаев, В.В.* Программная инженерия. Методологические основы [Текст] / В.В. Липаев. – М.: ГУ-ВШЭ, ТЕИС. 2006. – 608 с.
4. *Колоденкова, А.Е.* Оценка рисков создания программного обеспечения информационно-управляющих систем для высокорисковых промышленных предприятий в условиях интервальной неопределенности исходных данных [Текст] / А.Е. Колоденкова // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19. – №1. – С. 192–199.
5. *Колоденкова, А.Е.* Предпроектные исследования по созданию информационно-управляющих систем атомных станций в условиях неопределенности [Текст] / А.Е. Колоденкова // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 1(18). – С. 26–33.
6. *Кульба, В.В.* и др. Модифицированные функциональные графы как аппарат моделирования сложных динамических систем [Текст] / В.В. Кульба, В.М. Назаретов, И.П. Чухров : препринт. – М.: Институт проблем управления РАН, 1995. – 43 с.
7. *Колоденкова, А.Е.* Нечетко-множественный подход к оценке реалистичности альтернатив программного обеспечения мехатронных систем [Текст] / А.Е. Колоденкова // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – №4. – С. 45–53.

8. Колоденкова, А.Е. Оценка жизнеспособности программных проектов в условиях нечеткости исходных данных [Текст] / А.Е. Колоденкова // Программная инженерия. – 2011. – № 5. – С. 10–16.
9. Колоденкова, А.Е. Оценка реализуемости создания программного обеспечения информационно-управляющих систем атомных станций при интервальном характере исходных данных [Текст] / А.Е. Колоденкова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2015. – №4(185). – С. 28–34.
10. Коробкин, В.В. и др. Диагностика проектов по разработке программного обеспечения на основе использования прецедентов [Текст] / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова // Труды седьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD-2013. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2013. – Т. 1. С. 176–182.
11. Горелова, Г.В. и др. Оценка безопасности информационно-управляющих систем атомных станций с использованием когнитивного моделирования [Текст] / Г.В. Горелова, А.Е. Колоденкова // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – №4(62). – С. 339–348.

## REFERENCES

- [1] Kaliaev I.A., Korobkin V.V., Melnik E.V., Khisamutdinov M.A. Metodi i sredstva povisheniy bezopasnosti i sokraceniy vremeni operacii s yadernim toplivom na AIS s reaktorom tipa VVER-1000 [The methods and means to improve safety and reduce the time of operation of nuclear fuel in nuclear power plants with VVER-1000]: monographia [monograph]. Rostov-on-Don: Pub. Izdat. Uzhnogo Federalnogo universiteta [Southern Federal University Publishing House], 2014, ISBN 978-5-9275-1482-3, 208 p. (in Russian).
- [2] Lipaev V.V. Tehniko-ikonomiceskoe obosnovanie proektov slozhnih programmih sredstv [Feasibility study of software facilities projects]. M. Pub. SINTEG [SINTEG], 2004, ISBN 5-89638-082-8, 284 p. (in Russian).
- [3] Lipaev V.V. Programmaya inzheneriya. Metodologicheskie osnovi [Software engineering. Methodological foundations]. M. Pub. GU-VShE, TEIS [Higher School of Economics], 2006, ISBN 5-7598-0424-3, 608 p. (in Russian).
- [4] Kolodenkova A.E. Otsenka riskov sozdaniya programmogo obespecheniya informacionno-upravljajushhih sistem dlja vysokoriskovyh promyshlennyh predpriyatij v usloviyah interval'noj neopredelennosti ishodnyh dannyh [Risk assessment software information and control systems for high-risk industrial enterprises in terms of interval of initial data vagueness]. Vestnik UGATU [Ufa State Aviation Technical University Bulletin], 2015, Vol. 19, № 1, ISSN 1992-6502, pp. 192–199. (in Russian).
- [5] Kolodenkova A.E. Predproektnye issledovaniya po sozdaniyu informacionno-upravljajushhih sistem atomnyh stancij v usloviyah neopredelennosti [Exploratory researches in creating information-control systems for nuclear power plants under uncertainty]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №1(18), ISSN 2305-414X, pp. 26–33. (in Russian).
- [6] Kulba V.V., Nazaretov V.M., Chuhrov I.P. Modificirovannye funkcional'nye grafy kak apparat modelirovaniya slozhnyh dinamicheskikh sistem [Modified function graphs as the modeling of complex dynamic systems]. Preprint [Preprint]. – M. Pub. Izdat. Institut problem upravlenija RAN [V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences], 1995, 43 p. (in Russian).
- [7] Kolodenkova A.E. Nechetko-mnozhestvennyj podhod k ocenke realistichnosti al'ternativ programmogo obespecheniya mehatronnyh sistem [Multi-fuzzy approach for estimation alternatives reality in the mechatronic systems software]. Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie [Mechatronics, automation, control], 2011, № 4, ISSN 1684-6427, pp. 45–53. (in Russian).
- [8] Kolodenkova A.E. Otsenka zhiznesposobnosti programmnyh proektov v usloviyah nechetkosti ishodnyh dannyh [The Program project viability estimation in the conditions of fuzzy initial data]. Programmaja inzhenerija [Software engineering], 2011, №5, ISSN 2220-3397, pp. 10–16. (in Russian).
- [9] Kolodenkova A.E. Otsenka realizuemosti sozdaniya programmogo obespecheniya informacionno-upravljajushhih sistem atomnyh stancij pri interval'nom haraktere ishodnyh dannyh [Assess implementation of creating software for information and control systems nuclear power plants at interval nature of the source data]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Tehniceskie nauki [University news. North-Caucasian region. Technical sciences series], 2015, №4(185), ISSN 0321-2653, DOI: 10.17213/0321-2653-2015-4-28-34, pp. 28–34. (in Russian).

- [10] Korobkin V.V., Kolodenkova A.E. Diagnostika proektov po razrabotke programmno obespechenija na osnove ispol'zovanija precedentov [Diagnostics projects for software development through the use of precedents]. Trudy sed'moj mezhdunarodnoj konferencii «Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem» MLSD-2013 [Proceedings of the seventh international conference “Managing the development of large-scale systems”]. – M. Pub. Izdat. Institut problem upravlenija RAN [V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences], 2013, Vol. 1, ISBN: 978-5-91450-142-3, pp. 176–182. (in Russian).
- [11] Gorelova G.V., A. E. Kolodenkova Ocenka bezopasnosti informacionno-upravljajushhih sistem atomnyh stancij s ispol'zovaniem kognitivnogo modelirovanija [Safety assessment of the information-control systems for nuclear power plants using cognitive modeling]. Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti [Technologies of the technosphere safety], 2015, №4(62), eISSN 2071-7342, pp. 339–348. (in Russian).

## **Construction of Cognitive Model System and Project Feasibility Analysis Methods for Nuclear Power Plant Information Management Systems Creation**

**A.E. Kolodenkova**

*Ufa State Aviation Technical University, Russia 450008*

*e-mail: anna82\_42@mail.ru*

**Abstract** – It is offered to apply cognitive model system and methods of project feasibility analysis to modeling of project feasibility assessment process for the NPP information management system creation. The generalized scheme of project feasibility analysis, and structure of cognitive model system and methods of the project feasibility analysis for information management system creation is considered. Fragments of software screen forms which realizes separate models and methods of project feasibility analysis are given.

*Keywords:* system of cognitive models and methods, project feasibility analysis; indistinct initial data, NPP.

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

УДК 621.791

**МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ  
СОЕДИНЕНИЙ В АТОМНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ  
ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА СВАРОЧНЫЙ КОНТУР**

© 2016 С.М. Бурдаков

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

При изготовлении и эксплуатации ответственных металлических конструкций в атомно-энергетическом комплексе на основе жаропрочных легированных сталей могут иметь место процессы пластической деформации, протекающие с различной скоростью. Ряд деталей и узлов могут испытывать разные деформационные изменения.

Были изготовлены три образца для испытания на ударную вязкость при сварке с наложением напряжения 80В частотой 40кГц и три образца без наложения импульсной составляющей.

С помощью ручной дуговой сварки электродом ТМЛ-3У диаметром 4 мм, выполнялось многопроходное стыковое соединение стальных пластин толщиной 15мм с наложением и без наложения на дугу постоянного тока напряжения 80В частотой 40кГц от специального генератора при параллельном подключении к основному сварочному источнику. После проведения механических испытаний были получены следующие результаты. Среднее значение ударной вязкости для образцов без наложения импульсной составляющей составило 24 кгс·м/см<sup>2</sup>, а для образцов при сварке с наложением напряжения 80В частотой 40кГц составило 26,6 кгс·м/см<sup>2</sup>. Сделан вывод о том, что электромагнитное поле частотой 40кГц обеспечивает формирование структуры металла сварного шва с более высокими показателями ударной вязкости.

*Ключевые слова:* ответственные металлические конструкции, процессы пластической деформации, устойчивость горения дугового разряда, механические свойства, динамические нагрузки, ударная вязкость, измельчение дендритов, дефекты сварного соединения, электромагнитное поле, структура металла сварного шва, высокочастотные колебания.

Поступила в редакцию 14.05.2016 г.

Ряд ответственных металлических конструкций на основе жаропрочных легированных сталей, используемых в атомно-энергетическом комплексе, их детали и узлы могут испытывать пластические деформационные изменения в течение многих лет, а другие – мгновенно.

Скорость деформации при статических нагрузках, составляет,  $10^{-4} \div 10^{-2}$  сек. При динамической нагрузке на конструкцию меняется поведение дефектов в кристаллической решетке (в первую очередь дислокаций): увеличивается их количество, затрудняется перемещение. Результатом этого является изменение механических свойств сварочных соединений при динамических нагрузках по сравнению со статическими. Это изменение заключается в том, что прочностные характеристики при динамическом нагружении увеличиваются, а характеристики пластичности (ударной вязкости), как правило, уменьшаются [1].

Труднодоступность мест сварки в монтажных условиях, сложная геометрия сварных стыков, атмосферные воздействия способствуют частым, вынужденным

обрывам сварочной дуги с образованием недопустимых дефектов. Такие дефекты как неправильная форма швов, в частности чрезмерное усиление, резкие переходы от шва к основному металлу, бугристость и т. п. могут существенно снижать работоспособность соединения, эксплуатационную надежность конструкции в целом и возникновению аварийных ситуаций, особенно при динамических или вибрационных нагрузках [2].

Для работы в монтажных условиях сварочная дуга должна обладать повышенной устойчивостью горения.

Устойчивость горения сварочной дуги является важным технологическим фактором, влияющим на качество и прочностные характеристики сварочных швов при изготовлении металлических конструкций ответственного назначения. Следует отметить, что наложение напряжения 80В, частотой 40кГц на дугу постоянного тока способствует повышению ее устойчивости [3].

Известно, что сварочная дуга постоянного тока с наложением напряжения 80В, частотой 40кГц при ручной дуговой сварке обладающая повышенной устойчивостью и эластичностью, дает возможность увеличить глубину проплавления, улучшить механические свойства и качество металла шва [4].

Величина ударной вязкости зависит от пластичности и прочности испытываемого материала. Чем выше пластичность и чем больше напряжения на всем протяжении испытаний, тем большая работа, которую необходимо затратить на пластическую деформацию и разрушение в процессе испытания и эксплуатации конструкции. Следует отметить, что испытания на ударную вязкость позволяют выявить факторы, влияющие на прочность и пластичность (химический состав, форма и величина кристаллов, наличие дефектов и т.д.) [2].

Поэтому исследования металла сварного шва на ударную вязкость и механизмов влияющих на ее изменение являются актуальной задачей.

Для оценки влияния низковольтного напряжения частотой 40кГц на механические свойства и структуру металла сварного шва при сварке покрытыми электродами ТМЛ-3У был проведен ряд экспериментов по определению механических свойств металла сварного шва, а именно - ударной вязкости (КсuШ). ТМЛ-3У относится к электродам с фтористо-кальциевым покрытием, применяются для сварки оборудования и трубопроводов из сталей марок 12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ, 12Х2М1, 12Х1МФ, 12Х2МФБ, 12Х2МФСР, 20ХМФЛ, 15Х1М1Ф и 15Х1М1ФЛ, работающих при температурах до 570°С [5].

В соответствии с [6] для испытаний на ударную вязкость был принят тип образца с U – образным концентратором напряжений (рис. 1). В данной работе испытания проводились на маятниковом копре МК-30.

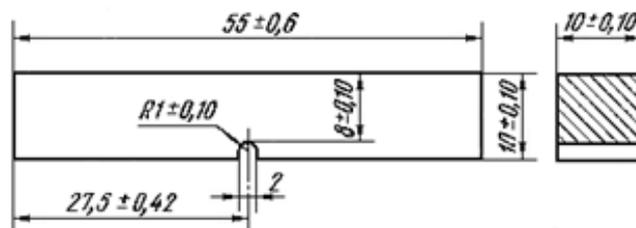


Рис. 1. – Тип образца для испытания на ударную вязкость

Образцы изготавливались следующим образом. С помощью ручной дуговой сварки электродом ТМЛ-3У диаметром 4 мм, выполнялось многопроходное стыковое соединение стальных пластин толщиной 15мм с наложением и без наложения на дугу постоянного тока напряжения 80В частотой 40кГц от специального генератора при параллельном подключении к основному сварочному источнику. Использовался

сварочный источник ВДУ-504, сварочный ток в данном случае составлял паспортное значение для данной марки электрода 140А в обоих случаях. Использовалась разделка кромок пластин согласно [7] – С23. После чего из металла полученного сварного соединения велось изготовление выше указанных образцов для испытаний. Были изготовлены три образца для испытания на ударную вязкость при сварке с наложением напряжения 80В частотой 40кГц и три образца без наложения импульсной составляющей.

После проведения механических испытаний были получены следующие результаты. Значение ударной вязкости ( $K_{CuIII}$ ) для образцов без наложения импульсной составляющей (образец 1. – 24,8 кгс·м/см<sup>2</sup>, образец 2. – 24,3 кгс·м/см<sup>2</sup>, образец 3. – 23 кгс·м/см<sup>2</sup>). Для образцов с наложением импульсной составляющей (образец 1-1. – 25,9 кгс·м/см<sup>2</sup>, образец 2-1. – 26,5 кгс·м/см<sup>2</sup>, образец 3-1. – 28 кгс·м/см<sup>2</sup>). Среднее значение ударной вязкости для образцов без наложения импульсной составляющей составило 24 кгс·м/см<sup>2</sup>, а для образцов при сварке с наложением напряжения 80В частотой 40кГц составило 26,6 кгс·м/см<sup>2</sup>.

Анализируя эти данные, можно сказать, что электромагнитное поле частотой 40кГц обеспечивает формирование структуры металла сварного шва с более высокими показателями ударной вязкости.

Наложение на дугу напряжения 80В частотой 40кГц приводит к изменению таких технологических характеристик процесса, как формирование шва, условия первичной кристаллизации металла сварочной ванны [8].

В целях выявления особенностей формирования шва необходимо определить его размеры и форму. Основные размеры сварного шва определяли экспериментально, так как применение аналитических методов затруднено, при сварке в нижнем положении на стальной пластине толщиной 8мм без наложения (образец 1), и с наложением напряжения 80В частотой 40кГц на дуговой разряд ( $I_{св}=140А$ ) (образец 2).

Размеры сварного шва определялись по поперечным макрошлифам (рис. 2 а, б). В таблице 1 приведены результаты измерения геометрических параметров сварного шва при сварке в нижнем положении (рис. 3).

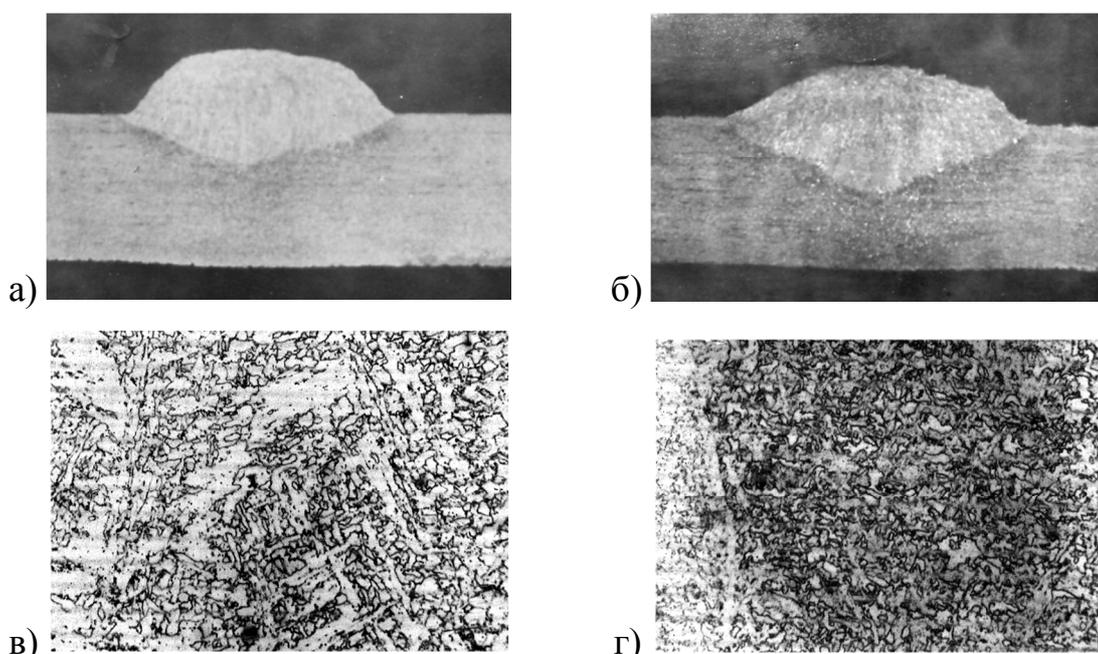
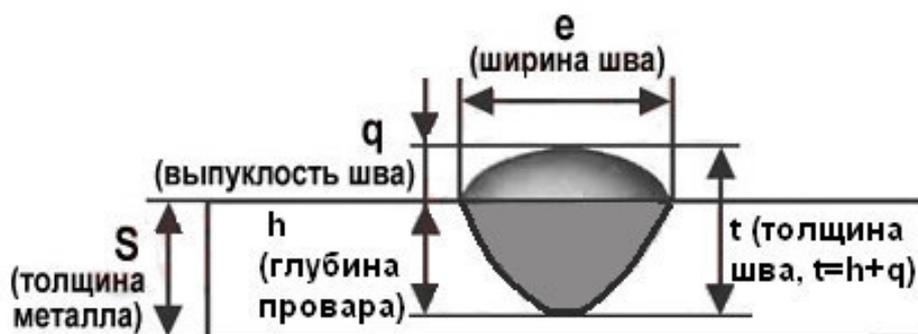


Рис. 2. – Макрошлиф сварного шва, без наложения (а), и с наложением напряжения 80В частотой 40кГц ( $I_{св}=140А$ ) (б), и микрошлиф с увеличением структуры x500 (в), (г)



**Рис. 3.** – Основные геометрические параметры сварного шва:

- $S$  – толщина металлической пластины;
- $e$  – ширина сварного шва;
- $q$  – выпуклость стыкового шва (высота усиления) – наибольшая высота (глубина) между поверхностью сварного шва и уровнем расположения поверхности сваренных деталей;
- $h$  – глубина провара (глубина проплавления) – наибольшая глубина расплавления основного металла;
- $t$  – толщина шва,  $t = q + h$ .

Следует отметить, что при наложении напряжения 80В частотой 40кГц на дуговой разряд размеры сварочной ванны несколько увеличиваются с получением более мелкозернистой его структуры (рис. 2 в, г). Повышается глубина проплавления на 35%. Понижается выпуклость шва на 7,7%.

**Таблица 1.** – Результаты измерения геометрических параметров сварного шва

№	Параметры режима сварки		Основные геометрические параметры сварного шва				
	$f$ , к Гц	$I_{св}$ , А	$S$ , мм	$h$ , мм.	$q$ , мм.	$e$ , мм.	$t$ , мм.
образец 1	–	140	8	3,15	3,5	15,5	6,65
образец 2	40	140	8	4,25	3,25	16,65	7,5

Механизм повышения ударной вязкости в данном случае может быть связан с изменением структуры металла шва, что может быть объяснено следующим образом [9]:

1) Ввод колебаний в жидкий металл приводит к гомогенному образованию новых центров кристаллизации. Это связано с появлением скачков давления в жидкой фазе, что согласно принципу Ле–Шателье приводит к повышению равновесной температуры кристаллизации и к созданию участков переохлажденного металла. Такое переохлаждение называется динамическим.

2) Измельчение растущих кристаллов при колебаниях жидкой фазы происходит за счет сил трения, возникающих между подвижной жидкой фазой и растущим кристаллом.

В работе [9] приводится, что при частотах колебаний свыше 9 кГц силы трения достигают значений, превышающих прочность кристаллита при температуре плавления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громов, Н.П. Теория обработки металлов давлением [Текст] / Н.П. Громов. – М.: Металлургия, 1978. – 361 с.
2. Волченко, В.Н. и др. Контроль качества сварки [Текст] / В.Н. Волченко, А.К. Гурвич, А.Н. Майоров, Л.А. Кашуба, Э.Л. Макаров, М.Х. Хусанов. – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
3. Чернов, А.В. и др. Повышение устойчивости горения дуги при сварке покрытыми электродами [Текст] / А.В. Чернов, Ю.В. Полетаев, З.О. Кавришвили, С.М. Бурдаков // Сварочное производство. – 2000. – №2. – С. 7–9.
4. Бурдаков, С.М. и др. Физическая модель электрического дугового разряда с наложением высокочастотного напряжения [Текст] / С.М. Бурдаков, А.В. Чернов, Ю.В. Полетаев, С.В. Полежаев // Сварочное производство. – 2001. – № 11. – С. 13-16.
5. ГОСТ 9466–75. Electrodes covered metal for manual arc welding of steels and deposition. Classification and general technical conditions [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2007. – 25 с.
6. ГОСТ 6996-66 (ISO 4136-89, ISO 5173-81, ISO 5177-81). Svarnye soedineniya. Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoystv [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2006.– 44 с.
7. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2005.– 33 с.
8. Бурдаков, С.М. и др. Повышение устойчивости дугового разряда и качества соединений при сварке покрытыми электродами [Текст] / С.М. Бурдаков, А.В. Чернов, Ю.В. Полетаев, С.В. Полежаев, В.В. Прокопенко // Новые методы теоретических и экспериментальных исследований материалов, приборов и технологий : сб. науч.тр. Волгодон. ин-т. Новочерк. гос. техн. ун-та. – Новочеркасск: Набла, 2001. – С. 111–115.
9. Болдырев, А.М. О механизме формирования структуры металла шва при введении низкочастотных колебаний в сварочную ванну [Текст] / А.М. Болдырев // Сварочное производство. – 1976. – №2. – С. 52–55.

## REFERENCES

- [1] Gromov Y.G. Teoriya obrabotki metallov davleniem [Theory of processing of metals pressure]. M. Pub. "Metallurgy" [Metallurgy publishing house], 1978, 361 p. (in Russian)
- [2] Volchenko V.N. Kontrol kachestva svarki [Welding quality control]. M. Pub. "Mashinostroenie" [Mashinostroenie publishing house], 1975, 328 p. (in Russian)
- [3] Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Kavrishvili Z.O., Burdakov S.M. Povyshenie ustoychivosti gorenija dugi pri svarke pokrytymi elektrodami [Increasing the stability of arcing in welding with coated electrodes]. Welding fabrication, 2000, №2(783), ISSN 0491-6441, pp. 7–9. (in Russian)
- [4] Burdakov S.M., Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Polezhaev S.V. Fizicheskaya model elektricheskogo dugovogo razryada s nalozheniem vysokochastotnogo napryazheniya [Physical model of electric arc discharge with the application of high-frequency voltage]. Welding fabrication, 2001, №11(804), ISSN 0491-6441, pp. 13–16. (in Russian)
- [5] GOST 9466–75. Elektrody pokrytye metallicheskie dlya ruchnoy dugovoy svarki staley i naplavki. Klassifikatsiya i obshchie tekhnicheskie usloviya [Covered metal electrodes for manual arc welding of steels and deposition. Classification and general specifications]. M. Pub. "Standartinform" [Standartinform publishing house], 2007, 25 p. (in Russian)
- [6] GOST 6996-66 (ISO 4136-89, ISO 5173-81, ISO 5177-81). Svarnye soedineniya. Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoystv [Welded joints. Methods of mechanical properties determination]. M. Pub. "Standartinform" [Standartinform publishing house], 2006, 44 p. (in Russian)
- [7] GOST 5264-80. Ruchnaya dugovaya svarka. Soedineniya svarnye. Osnovnye tipy, konstruktivnye elementy i razmery [Manual arc welding. Welding joints. Main types, design elements and dimensions]. M. Pub. "Standartinform" [Standartinform publishing house], 2005, 33 p. (in Russian)
- [8] Burdakov S.M., Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Polezhaev S.V., Prokopenko V.V. Povyshenie ustoychivosti dugovogo razryada i kachestva soedineniy pri svarke pokrytymi elektrodami [Increase of stability of the arc category and quality of connections when welding by the covered electrodes] [Works of the conference Volgodonsk institute of Novocherkassk state technical university "New methods of theoretical and pilot studies of materials, devices and technologies"]. Novocherkassk. Pub. "Nabla" [Volgodonsk institute of Novocherkassk state technical university], 2001, pp. 111–115. (in Russian)
- [9] Boldyrev A.M. O mekhanizme formirovaniya struktury metalla shva pri vvedenii nizkochastotnykh kolebaniy v svarochnuyu vannu [About the mechanism of formation of structure of metal of a seam at introduction of low-frequency fluctuations to a welding bathtub]. Welding fabrication, 1976, №2(496), ISSN 0491-6441, pp. 52–55. (in Russian)

## The Mechanism of Connection Impact Strength Increase during Pulse Impact on the Welding Circuit in the Nuclear Power Complex

S.M. Burdakov

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360  
e-mail: SMBurdakov@mephi.ru*

**Abstract** – BACKGROUND The processes of plastic deformation proceeding with different speed can take place at production and operation of responsible metal designs on the basis of heat resisting alloyed by steels in the nuclear power complex. A number of the used designs of their details and knots can be exposed to different deformation changes.

Three samples for test for impact strength when welding with imposing of tension 80B with a frequency of 40 kHz and three samples without imposing of a pulse component were made.

**METHODS** Multipass butt connection of steel plates 15 mm thick with imposing and without imposing on an arch of a direct current of tension 80B with a frequency of 40 kHz from the special generator at parallel connection to the main welding source was carried out by means of manual arc welding the electrode of TML-3U with a diameter of 4 mm.

**RESULTS** The following results were received after carrying out mechanical tests. Average value of impact strength for samples without imposing of a pulse component is 24 kgf·m/cm<sup>2</sup>, and for samples when welding with imposing of tension 80B with a frequency of 40 kHz is 26,6 kgf·m/cm<sup>2</sup>.

**CONCLUSIONS** It is possible to tell that the electromagnetic field with a frequency of 40 kHz provides metal structure formation of welded seam with higher rates of impact strength.

*Keywords:* responsible metal designs, processes of plastic deformation, stability of the arc category burning, mechanical properties, dynamic loadings, impact strength, crushing of dendrites, defects of welded connection, electromagnetic field, metal structure of welded seam, high-frequency fluctuations.

---

---

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

---

---

681.2.08:519.6

**АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДРЕЙФА ТЕМПЕРАТУР  
МАСЛОСИСТЕМЫ ГЦН БЛОКА АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000**

© 2016 Ю.С. Сысоев, В.Г. Бекетов, Н.А. Симакова

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

При моделировании тяжелейших последствий глобального масштаба при авариях на атомных электростанциях особое внимание исследователей обращено к проблеме прогнозирования тех параметров оборудования АЭС, которые могут позволить заранее информировать приближение нештатной ситуации. Важное значение приобретает контроль параметров, влияющих на безопасность эксплуатации реакторной установки.

Одним из таких параметров является температура масла на входе в главный циркуляционный насос (ГЦН).

В настоящей работе представлена новая методика прогнозирования изменений непрерывного параметра, позволяющая предсказывать нештатные ситуации на АЭС, которые могут возникнуть из-за перегрева масла в маслосистеме ГЦН, и предупредить персонал станции о возможном времени наступления нештатной ситуации.

*Ключевые слова:* восстановление параметра, интерполяция, экстраполяция, метод наименьших квадратов, прогнозирование.

Поступила в редакцию 01.09.2016 г.

При анализе поведения различных объектов важную роль играет прогнозирование изменений их технологических параметров. Прогнозирование дрейфа параметров позволяет решать целый ряд разнообразных задач: находить межповерочные интервалы средств измерений [1-4]; предсказывать нештатные ситуации на атомных электростанциях (АЭС) [5]; использовать его для сейсмического прогноза [6] и т.д. С учетом возможности тяжелейших последствий глобального масштаба при авариях на атомных электростанциях естественным является внимание исследователей к проблеме прогнозирования тех параметров оборудования АЭС, которые могут позволить заранее информировать приближение нештатной ситуации. Особенно важное значение приобретает контроль параметров, влияющих на безопасность эксплуатации реакторной установки. Нормативной документацией определено, что при выявлении отклонений параметров от допустимых пределов или появлении предупредительных, аварийных сигналов персонал должен своевременно принимать меры по восстановлению номинальных параметров. Одним из таких параметров является температура масла на входе в главный циркуляционный насос (ГЦН).

В научной литературе наряду со стохастическими [1–5] развиваются и детерминированные [6] методы прогнозирования, основанные на экстраполяции результатов измерений. Традиционно в детерминированных методах при экстраполяции значений контролируемого параметра используется метод наименьших квадратов (МНК), основанный на выборе класса экстраполирующих функций и мониторинге значений параметров на некотором временном промежутке. Например, в

работе [6] в качестве класса экстраполирующих функций предлагается использовать многочлены произвольной степени. В том случае, когда известен класс функций, описывающий процесс изменения технологических параметров, а погрешности измерений подчиняются нормальному закону распределения, выбор весовых коэффициентов в методе наименьших квадратов при равномерном и неравномерном распределении точек контроля целесообразно осуществлять по правилам, предложенным в работе [7], независимо от решаемой задачи (интерполяции или экстраполяции контролируемых параметров). Однако на практике чаще всего указанный класс функций, как правило, неизвестен, а поэтому наша задача подменяется задачей аппроксимации значений параметров с помощью функций из некоторого априори выбранного семейства функций. При этом считается (хотя это не всегда так), что указанные функции могут с достаточной точностью аппроксимировать контролируемый процесс изменений параметров. И в этом случае при решении задачи интерполяции параметров (как функций) часто имеет смысл руководствоваться рекомендациями из [7]. Если же МНК применяется для экстраполяции параметров с целью прогнозирования их дрейфа, рекомендации, предложенные в [7], не дадут желаемый эффект. Совершенно очевидно, что при прогнозировании дрейфа параметра на большие временные промежутки, например в [6], уравнивание влияния всех значений параметра, полученных измерениями, на результат прогноза посредством выбора равных весов вполне логичен. Однако прогнозирование на небольшие промежутки времени имеет свои особенности. Ясно, что последние точки временного ряда в этом случае должны оказывать большее влияние на конечный результат, чем первые, а экстраполирующая кривая (график экстраполирующей функции) должна проходить через последнюю его точку. Действительно, было бы странным ожидать адекватного результата прогнозирования, если экстраполирующая кривая не будет проходить через последнюю точку с координатами  $(t_n, 40)$ , определяющуюся последними значениями временного ряда, характеризующего температуру масла в маслосистеме ГЦН атомной станции (здесь  $t_n$  – момент последнего измерения, при котором температура масла достигла  $40^\circ\text{C}$ ), при том, что при температуре, превышающей  $41^\circ\text{C}$ , должна происходить блокировка реактора.

Отметим, что добиться устранения указанных проблем, находясь в рамках наперед выбранного экстраполирующего класса функций, чаще всего, не представляется возможным. Поэтому в предложенной методике этот класс расширяется добавлением к нему еще одной функции, которая при значениях  $t$ , удаленных от  $t_n$  ( $t > t_n$ ), мало отличается от экстраполирующей функции из указанного класса, найденной с помощью метода наименьших квадратов, а при  $t$ , равных или близких к  $t_n$  удовлетворяет всем перечисленным выше требованиям и, следовательно, она может быть использована для прогнозирования, как на большие, так и на малые временные промежутки. Для получения указанной функции предлагается в методе наименьших квадратов использовать специальным образом построенные переменные весовые коэффициенты.

Обозначим через  $x = x_0(t)$  неизвестную функцию, определяющую значение контролируемого параметра, зависящего от переменной  $t$  (чаще всего в роли  $t$  выступает время), а через  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – упорядоченную по номерам выборку значений, полученных измерениями этого параметра в точках  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ , соответственно (то есть  $x_j = x_0(t_j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ). Экстраполяция (а значит, и прогноз) на большие временные промежутки, как правило, осуществляется [6] выбором некоторого экстраполирующего семейства  $\chi = \{x(t)\}$  функций и последующего применения МНК. Например, в работе

[6] для прогноза сейсмической активности в качестве класса экстраполирующих функций использовались многочлены третьей степени. Прогнозирование на небольшие промежутки времени имеет свои особенности, о которых говорилось выше.

Прежде, чем обсуждать выбор весовых коэффициентов, отметим, что в наших обозначениях традиционная задача отыскания экстраполирующей функции методом наименьших квадратов сводится к решению относительно неизвестной функции  $x = x^*(t)$ , аппроксимирующей функцию  $x = x_0(t)$ , следующего уравнения (оптимизационной задачи):

$$\sum_{k=1}^n p_k (x_k - x^*(t_k))^2 = \min_{x \in \chi} \sum_{k=1}^n p_k (x_k - x(t_k))^2, \quad (1)$$

где  $p_k, k=1,2,\dots,n$  – весовые коэффициенты (или веса), удовлетворяющие условиям:

$$p_k \geq 0 \text{ и } \sum_{k=1}^n p_k = 1.$$

При прогнозировании на малые промежутки времени обычно используется линейная экстраполяция. Например, если известна производная экстраполируемой функции в точке  $t_n$ , то для указанных целей чаще всего используется касательная к кривой графика функции  $x = x_0(t)$ . Однако в нашем случае, когда известно только конечное число значений экстраполируемой функции, нет возможности построить уравнение касательной. Поэтому и возникает необходимость использовать метод наименьших квадратов. Поскольку в дальнейшем рассматривается простейший вариант прогнозирования, то в качестве множества  $\chi$  будем использовать многочлены первой степени, то есть будем считать, что  $\chi = \{at + b\}$ . В этом случае задача (1) будет иметь вид:

$$\sum_{k=1}^n p_k (x_k - (a_0 t_k + b_0))^2 = \min_{a,b} \sum_{k=1}^n p_k (x_k - (at_k + b))^2, \quad (2)$$

Совершенно очевидно, что величина значения веса  $p_j$  будет определять значимость  $j$ -го слагаемого в целевой функции оптимизационной задачи (2). Чем ближе это значение к единице, тем меньше будут остальные веса  $p_i, i \neq j$ , поскольку  $\sum_{k=1}^n p_k = 1$ , и тем большее влияние будет оказывать  $j$ -е слагаемое на конечный результат. Если  $p_j = 1$ , то остальные весовые коэффициенты будут равны нулю, а следовательно,  $a$  и  $b$  будут выбираться с учетом равенства  $at_j + b = x_j$ . Другими словами, если мы хотим, чтобы экстраполирующая кривая  $x = x^*(t)$  проходила через точку  $(t_n, x_n)$  при переменных весах  $p_k(t)$  в уравнении:

$$\sum_{k=1}^n p_k(t) (x_k - (a_0 t_k + b_0))^2 = \min_{a,b} \sum_{k=1}^n p_k(t) (x_k - (at_k + b))^2, \quad (3)$$

то необходимо, чтобы выполнялось равенство:  $\lim_{t \rightarrow t_n + 0} p_n(t) = 1$ , то есть предел справа функции  $p = p_n(t)$  в точке  $t_n$  равен единице.

Приведенные рассуждения с необходимостью приводят к следующему алгоритму построения весовых коэффициентов.

Определим сначала функции  $q = q_k(t)$ , положив  $q_k(t) = \frac{1}{|t - t_k|^\tau}$ , где  $\tau > 0$  – некоторое число. Очевидно, что  $q_k(t) \rightarrow \infty$  при  $t \rightarrow t_k$ . Теперь положим при  $k \neq n$ :

$$p_k(t) = \frac{q_k(t)}{\sum_{i=1}^n q_i(t)} \quad \text{при } t \geq t_n \quad (4)$$

и

$$p_n(t) = \begin{cases} \frac{q_n(t)}{\sum_{i=1}^n q_i(t)} & \text{при } t > t_n \\ 1 & \text{при } t = t_n \end{cases} \quad (5)$$

Легко убедиться в том, что если в оптимизационной задаче (3) использовать весовые коэффициенты, определенные равенствами (4) и (5), экстраполирующая функция, являющаяся решением уравнения (3), удовлетворяет всем предъявляемым к ней требованиям.

Необходимо также заметить, что решение  $x = x^*(t)$  уравнения (3), в общем случае, не будет представляться в виде  $x = at + b$ , а, значит, не будет принадлежать множеству  $\chi$ , поскольку график этого решения чаще всего не является прямой линией. Более того, функцию  $x = x^*(t)$ , за исключением редких случаев, нельзя представить аналитически. Однако значения этой функции легко вычисляются в произвольной точке  $t \geq t_n$ .

Действительно, по наперед выбранному числу  $t$  вычисляются веса  $p_k(t)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , и строится оптимизационная задача (3). Находя частные производные целевой функции этой задачи по  $a$  и  $b$  и, приравнивая эти производные к нулю, получим систему двух линейных уравнений с постоянными коэффициентами с двумя неизвестными  $a$  и  $b$ :

$$\begin{cases} (\sum_{k=1}^n p_k(t) t_k^2) a + (\sum_{k=1}^n p_k(t) t_k) b = \sum_{k=1}^n p_k(t) x_k t_k \\ (\sum_{k=1}^n p_k(t) t_k) a + (\sum_{k=1}^n p_k(t)) b = \sum_{k=1}^n p_k(t) x_k \end{cases},$$

решая которую найдем те параметры  $(a, b)$ , с помощью которых вычисляется значение функции  $x = x^*(t)$  в выбранной точке  $t$ , а именно, положим  $x^*(t) = at + b$ .

Построенную функцию  $x = x^*(t)$  предлагается использовать для прогнозирования дрейфа контролируемого параметра. Например, если у параметра  $X$  существуют ограничения сверху, а значение  $x_{np}$  является предельно допустимым для  $x$ , то для прогноза времени достижения этим параметром своего предельно допустимого значения достаточно найти наименьшее решение уравнения:

$$x^*(t) = x_{np} \quad (6)$$

относительно  $t$ . Это решение и определит искомое прогнозируемое время.

Отметим, что решать уравнение (6) можно различными способами, например, методом бисекций [8], или последовательным вычислением значений функции  $x = x^*(t)$  с некоторым шагом, начиная с точки  $t_n$ .

Выбор числа  $\tau$  осуществляется в зависимости от типа решаемой практической задачи путем его подбора на основе имеющихся экспериментальных или натуральных данных. В нашем случае допустимые результаты были получены при  $\tau = 0.5$ .

В качестве объекта анализа с использованием предложенной методики выступала маслосистема ГЦН Ростовской АЭС. На основе архивных данных АЭС осуществлялся контроль и прогнозирование изменений температуры масла на входе в ГЦН. На рисунке 1 приведен график температуры масла на входе в ГЦН, а на рисунке 2 приведены графики времени достижения температурой масла предельно допустимого значения, в качестве которого была выбрана температура  $39.1^\circ\text{C}$  (для одного из рассмотренных эпизодов работы ГЦН). Как уже отмечалось, фактическая блокировка ГЦН происходит при температуре  $41^\circ\text{C}$ , однако в архиве АЭС отсутствуют файлы, в которых существовал бы эпизод достижения предельно допустимой температуры, поэтому авторы искусственно ввели указанное ограничение для температуры. Это позволило проверить действенность построенного алгоритма, поскольку введенное ограничение не влияет на оценку эффективности методики.

Превышение предельной температуры происходит на 680-й минуте со времени начала ее измерения (рисунок 1). При использовании предложенного метода прогнозирования на 630-й минуте произошло (рисунок 2) практически полное совпадение прогноза и времени наступления критической ситуации (за 50 минут до реального события).

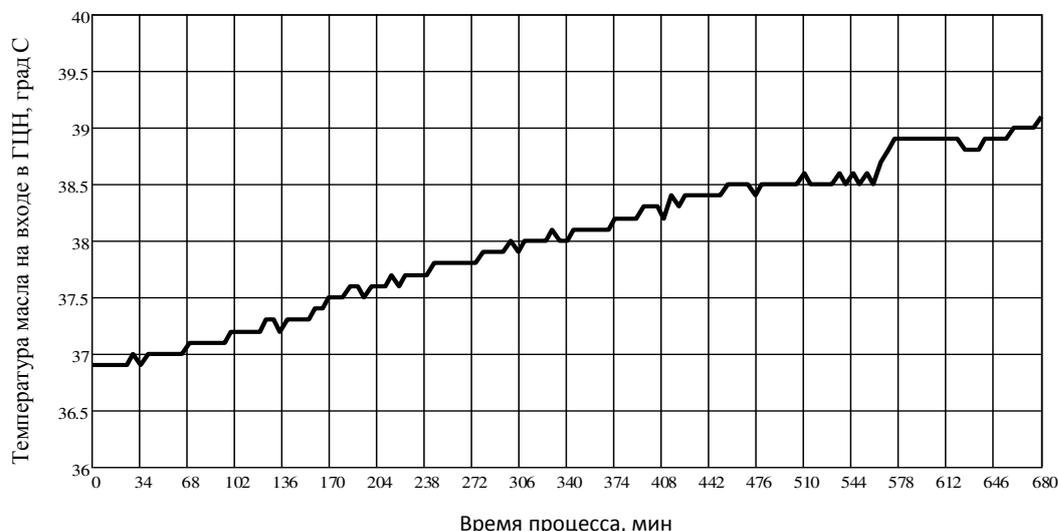


Рис. 1. – График температуры масла на входе в ГЦН

Таким образом, представлена методика прогнозирования изменений непрерывного параметра, позволяющая предсказывать нештатные ситуации на АЭС, которые могут возникнуть из-за перегрева масла в маслосистеме ГЦН, и предупредить персонал станции о возможном времени наступлении нештатной ситуации.

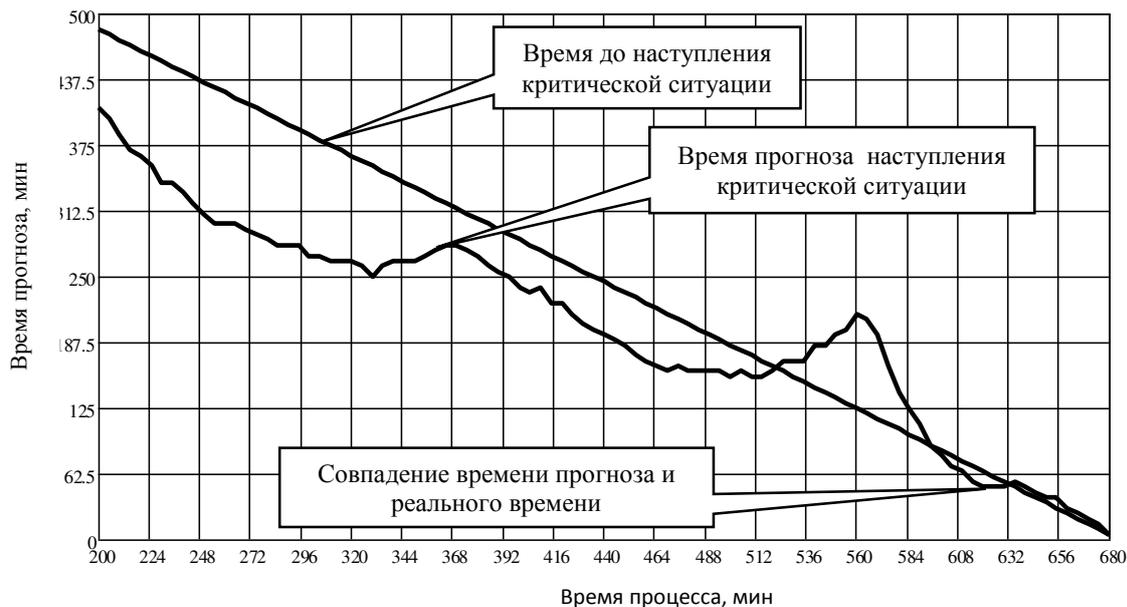


Рис. 2. – График прогноза времени наступления критической ситуации

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысоев, Ю.С. Анализ дрейфа метрологических характеристик измерительных устройств с помощью цепей Маркова [Текст] / Ю.С. Сысоев // Измерительная техника. – 2012. – №1. – С. 14–19.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Новоселов, О.Н. и др. Прогнозирование состояния динамической системы по результатам измерений [Текст] / О.Н. Новоселов, И.Л. Гуфельд // Измерительная техника. – 2015. – №10. – С. 11–15.
7. Сысоев, Ю.С. Алгоритмы выбора весовых характеристик при аппроксимации функций по методу наименьших квадратов [Текст] / Ю.С. Сысоев // Измерительная техника. – 1996. – №8. – С. 5–10.
8. Плис, А.И. и др. Лабораторный практикум по высшей математике [Текст] / А.И. Плис, И.А. Сливина. – М.: Высш. шк., 1983. – 208 с.

#### REFERENCES

- [1] Sysoev Yu.S. Analysis of the drift of the metrological characteristics of measuring devices by means of Markov chains. Measurement Techniques, 2012, Vol. 55, №1, ISSN 0543-1972, DOI: 10.1007/s11018-012-9910-5, pp. 14–19. (in English)
- [2] Sysoev Yu.S., Tikhomirova A.I. Analysis of the operational stability of measurement instruments by stochastic prediction of drift in their metrological characteristics. Measurement Techniques, 2012, Vol. 55, №6, ISSN 0543-1972, DOI: 10.1007/s11018-012-0010-3, pp. 613–621. (in English)
- [3] Sysoev Yu.S., Simakova N.A. Otsenka dlitelnosti mezhpoverochnykh intervalov izmeritelnykh ustroystv metodami teorii massovogo obsluzhivaniya [Assessment of duration of measuring devices intertesting intervals by methods of the theory of mass service]. Izmeritelnaya tekhnika

- [Measurement Techniques], 2014, №6, ISSN 0368-1025, pp. 10–15. (in Russian)
- [4] Sysoev Yu.S. Ispolzovanie geometricheskogo i pokazatel'nogo raspredeleniy dlya prognozirovaniya dreyfa parametrov tekhnicheskikh obektov [Use of geometrical and indicative distributions for forecasting of drift of technical object parameters]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques], 2015, №12, ISSN 0368-1025, pp. 17–19. (in Russian)
- [5] Sysoev Yu.S., Salnikov A.A., Beketov V.G., Chernov A.V. Prognozirovaniye sostoyaniya tekhnologicheskikh obektov na osnove tekushchego monitoringa znacheniy ikh parametrov [Forecasting of technological object condition on the basis of the current monitoring of their parameter values]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques], 2016, №4, ISSN 0368-1025, pp. 3–7. (in Russian)
- [6] Novoselov O.N., Gufeld I.L. Prognozirovaniye sostoyaniya dinamicheskoy sistemy po rezul'tatam izmereniy [Forecasting of dynamic system condition by results of measurements]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques], 2015, №10, ISSN 0368-1025, pp. 11–15. (in Russian)
- [7] Sysoev Yu.S. Algoritmy vybora vesovykh kharakteristik pri approksimatsii funktsiy po metodu naimenshikh kvadratov [Algorithms of the choice of weight characteristics at approximation of functions by the smallest squares method]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques], 1996, №8, ISSN 0368-1025, pp. 5–10. (in Russian)
- [8] Plis A.I., Slivina I.A. Laboratornyy praktikum po vysshey matematike [Laboratory works on higher mathematics]. M. Pub. «Vysshaya shkola» [Higher School], 1983, 208 p. (in Russian)

### **Forecasting Algorithm of Temperature Drift of Main Circular Pump Oil System of the NPP Unit with the VVER-1000 Reactor**

**Yu.S. Sysoev\*, V.G. Bekhetov\*\*, N.A. Simakova\*\*\***

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

*\* e-mail: sysoev2004@mail.ru ; \*\* e-mail: VGBeketov@mephi.ru; \*\*\* e-mail: simnataalex@gmail.com*

**Abstract** – When modeling the hardest consequences of global scale at nuclear power plant accidents special attention of researchers is paid to a problem of forecasting of those NPP equipment parameters which are able to afford to inform about the approach of emergency in advance. The control of the parameters influencing safety of reactor installation becomes particularly important.

One of such parameters is oil temperature at the entrance to the Main Circulation Pump (MCP). The new technique of forecasting of continuous parameter changes allowing to predict emergency situations at the NPPs which can happen because of oil overheat in Main Circular Pump oil system and warn station personnel about possible time approach of emergency situation is presented.

*Keywords:* parameter restoration, interpolation, extrapolation, method of the smallest squares, forecasting.

---

---

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

---

---

УДК 621.039

**НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ВАРИАНТЫ  
АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ  
ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВЭР 1000**

© 2016 Х.Ф. Альмасри

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

Задача качества регулирования мощности реактора является одной из достаточно актуальных, в связи с чем постоянно проводятся исследования систем управления для улучшения качества процессов регулирования мощности реактора [1]. В настоящее время на кафедре автоматики НИЯУ МИФИ происходит исследование моделей интеллектуальных регуляторов мощности в АСУТП ядерных реакторов на многофункциональном компьютерном анализаторе ВВЭР. В данной работе представлена структурная схема адаптивного регулятора мощности реактора построенная на базе интеллектуальных алгоритмов управления. При реализации интеллектуальных вариантов нейронных сетей для регулирования процессов появляется возможность улучшить качество управления в соответствии с принципами адаптивности. Как известно, адаптивное управление позволяет настроить параметры регулятора в зависимости от изменения характеристик объекта управления или внешних возмущений. В работе показывается, что перспективными вариантами для автоматического регулятора мощности являются интеллектуальные нейронные сети алгоритмы управления. Для проведения исследований по улучшению качества регулирования мощности реактора использовался многофункциональный компьютерный анализатор ВВЭР 1000 расположенный в лаборатории управления и контроля кафедры «Автоматика» НИЯУ МИФИ [2].

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, нейронные сети, адаптивное управление, ядерный реактор, автоматический регулятор мощности.

Поступила в редакцию 25.08.2016 г.

Адаптивное управление как одна из главных задач интеллектуального управления служит для обеспечения качества управления в условиях не стационарности параметров объекта управления. Современные исследователи выделяют адаптивность в качестве одной из основных задач интеллектуального управления. Адаптивные системы управления характеризуются, прежде всего, способностью к коррекции своих параметров в зависимости от уровня внешних возмущений и текущего состояния объекта управления [3].

Процесс адаптации в технических системах можно разделить на два этапа: сбора информации о состоянии объекта управления и непосредственно определения параметров системы управления. На первом этапе осуществляется сбор и оперативный анализ информации о состоянии входов и выходов объекта управления, а также уровень возмущений внешней среды. На втором этапе происходит определение параметров регулятора на основе минимизации выбранного критерия качества. Для каждого объекта управления формулируются цели управления, согласно которым формулируется стратегия адаптации в целом. Но цель адаптации системы управления сложными и опасными объектами, находящимся под воздействием нестационарных возмущений внешней среды, сформулировать в количественных показателях крайне сложно. При этом человек, управляя каким-либо динамическим объектом, достаточно быстро находит верное решение, иными словами алгоритмы управления, оперируя при

этом в основном качественными оценками. Это свидетельствует об эффективности таких алгоритмов и необходимости построения систем управления и механизмов их адаптации на основе интеллектуальных систем.

Главным свойством интеллектуальных систем является их обучаемость, возможность их самоорганизации или способность целенаправленно изменять свое поведение в соответствии с изменяющимися обстоятельствами, используя при этом механизмы, сходные с механизмами человеческого мышления [4].

В данной работе автором представлена структурная схема адаптивного регулятора мощности реактора построенная на базе интеллектуальных алгоритмов управления. При реализации интеллектуальных вариантов регулирования на базе нейронных сетей появляется возможность улучшить качество управления в соответствии с принципами адаптивности. Как известно, адаптивное управление позволяет настроить параметры регулятора в зависимости от изменения характеристик объекта управления или внешних возмущений. Ниже будет показано, что перспективными вариантами для автоматического регулятора мощности являются интеллектуальные алгоритмы управления на основе нейронных сетей.

Для проведения исследований по улучшению качества и процессов регулирования мощности реактора использовался многофункциональный компьютерный анализатор ВВЭР 1000 расположенный в лаборатории управления и контроля кафедры «Автоматика» НИЯУ МИФИ.

**Таблица 1.** – Результаты оценки качества работы АРМ

$\Phi_{эс}$	$K$	$З$	$A$	$epsilon$	$\Phi_p$
90	0.1	1	3	2.45	92.45
90	0.1	1	2	1.58	91.58
90	0.1	1	-3	-2.08	87.92
90	0.1	1	-2	-1.27	88.73
90	0.1	2	3	1.86	91.86
90	0.1	2	2	1.56	91.56
90	0.1	2	-3	-2.59	87.41
90	0.1	2	-2	-1.75	88.25
90	0.1	3	3	2.44	92.44
90	0.1	3	2	1.66	91.66
90	0.1	3	-3	-2.53	87.47
90	0.1	3	-2	-1.82	88.18
90	1	0.1	-3	-2.07	87.93
90	1	0.1	-2	-1.25	88.75
90	1	0.5	3	0.2	90.2
90	1	0.5	2	0.38	90.38
90	1	0.5	-3	-2.11	87.89
90	1	0.5	-2	-1.29	88.71
90	1	1	3	0.23	90.23
90	1	1	2	0.4	90.4
90	1	1	-3	-2.06	87.94
90	1	1	-2	-1.27	88.73
90	1	2	3	1.12	91.12
90	1	2	2	1.07	91.07
90	1	2	-3	-2.09	87.91
90	1	2	-2	-1.5	88.5

Исследование происходило в два этапа. Во-первых, необходимо получить исходные характеристики работы системы регулирования, провести их анализ, а во-

вторых, по результатам анализа предложить мероприятия для улучшения качества регулирования. Анализ работы системы управления осуществлялся при заданных настройках параметров автоматического регулятора мощности: коэффициента усиления  $K$ , зоны не чувствительности  $Z$  и внешнего возмущения (значение прироста реактивности)  $A$ . При различных уровнях мощности реактора  $\Phi$  были получены значения статической ошибки  $\epsilon$ . В качестве примера, в табл.1 приведены экспериментальные результаты работы автоматического регулятора мощности для выбранной величины уставки мощности, но при различных параметрах [5].

В таблице представлен желаемый уровень мощности –  $\Phi_{ж}$  и реальный уровень мощности –  $\Phi_p$ , а  $A$  это тип и характер возмущающего воздействия на реактор (прирост реактивности).  $K$  и  $Z$  в данном случае исследуемы параметры настройки регулятора,  $\epsilon$  это статическая ошибка, т.е. разность между желаемым и реальными значениями мощности.

Анализ полученных результатов экспериментов показывает, что имеется достаточно большое количество случаев управления с конечными ошибками, примерно 2 – 3 %. На рисунке 1 представлены гистограммы для различных возмущений  $A$  по отдельности и вместе для того чтобы показывать статическую ошибку, где  $A^+$  – это положительное возмущение,  $A^-$  – это отрицательное возмущение.

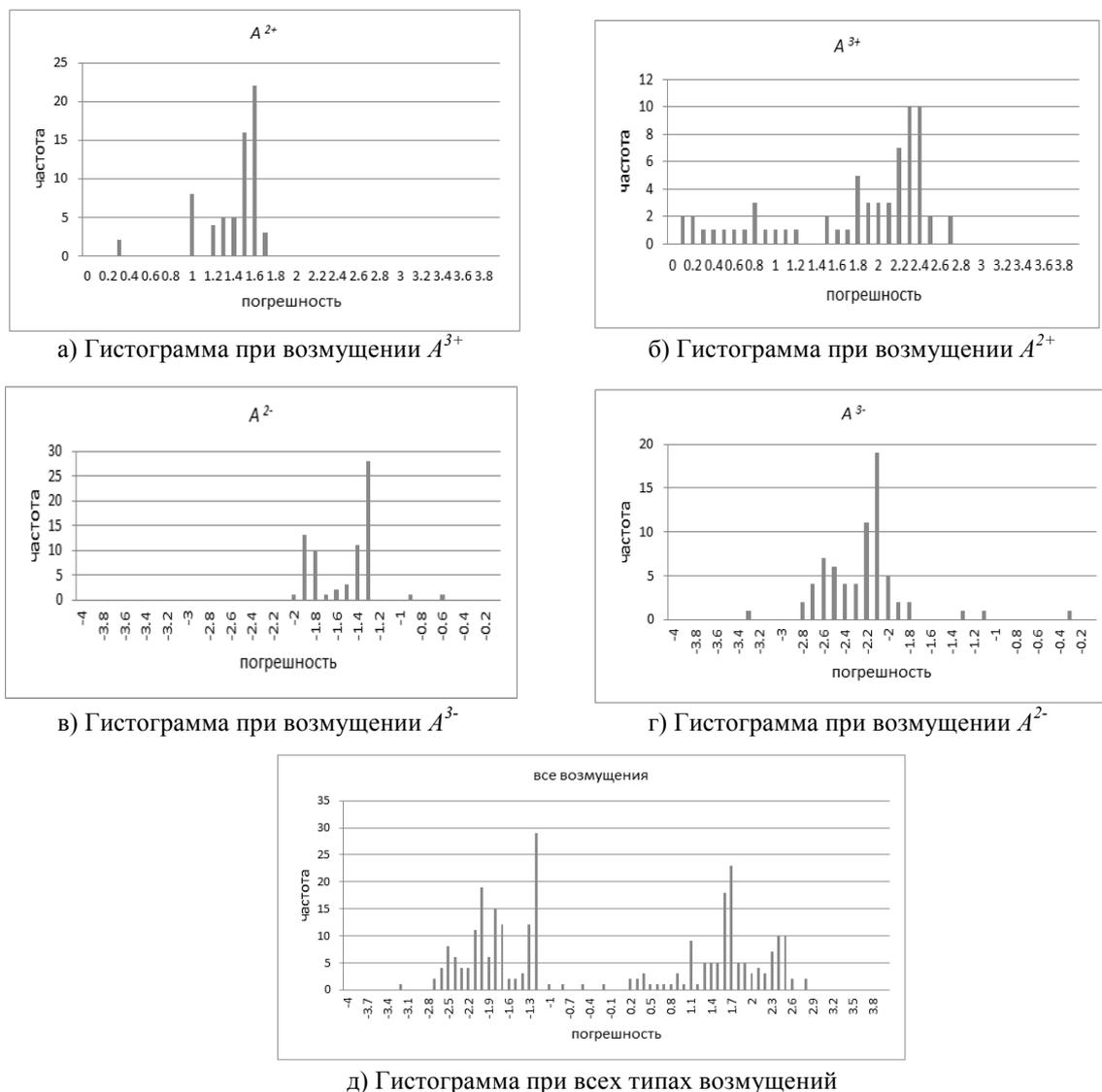


Рис. 1. – Гистограмма экспериментальных результатов при различных видах возмущений

На представленных гистограммах видно, что статическая ошибка при использовании традиционных алгоритмов управления автоматическим регулятором мощности имеет значительную величину и для повышения качества регулирования необходимо уменьшить эту статическую ошибку. В качестве решения, можно предложить реализацию алгоритма на базе нейронной сети, которая обеспечит заданное быстродействие, непрерывность адаптивного управления и уменьшение статической ошибки. Для того чтобы воспользоваться реализацией на основе интеллектуального подхода, необходимо выбрать структуру нейронной сети, так называемую топологию, сформировать обучающую выборку и выбрать алгоритм обучения.

С помощью пакета прикладных программ Neural Network Toolbox в MATLAB была написана программа формирования, обучения и тестирования работы нейронных сетей. Neural Network Toolbox предоставляет функции и приложения для моделирования сложных и нелинейных систем, которые сложно описываются уравнениями, или другими словами передаточными функциями. С данным инструментом можно создавать, обучать, визуализировать и моделировать нейронные сети.

В качестве структуры нейронной сети выбрана двухслойная сеть с прямой связью, скрытым слоем нейронов сигмоидальной линейной функцией активации в выходном слое (fitnet) с четырьмя входами. Этот тип сети подходит для многомерных задач отображения, при задании согласованных данных и достаточном количестве нейронов в скрытом слое. Предполагается, что сеть будет обучаться по алгоритму обратного распространения (Левенберга-Марквардта) [6]. Для формирования обучающей сети используются массивы данных, полученные при проведении эксперимента на многофункциональном компьютерном анализаторе реактора ВВЭР 1000.

Набор исходных данных был разделен на три части – обучающую выборку, утвержденные данные и тестовые данные. Обучающие данные используются для обучения нейронной сети, а проверочные используются для расчета ошибки сети. При анализе полученных данных возникает идея реализовать систему прогноза работы автоматического регулятора мощности для того чтобы построить адаптивную систему управления, поэтому исходная задача делится на две части: прогноз работы объекта управления и непосредственно адаптивного управления.

### 1. Задача прогноза автоматического регулятора мощности

Задача прогноза заключается в том, что предлагается на основе измеренного возмущения  $A$ , путем моделирования нейросхемы, определить будущий результат по величине реальной мощности  $\Phi_p$ . Для построения модели нейронной сети необходимо выбрать в качестве входов:  $K$ ,  $Z$ ,  $A$  и  $\Phi_{жс}$ , а в качестве выхода:  $\Phi_p$  (см. табл. 1). Тогда общая схема моделирования для части прогноза представлена на рисунке 2.

Процесс обучения и графики постобработки результатов для анализа качества построенной нейронной сети отражен на рисунке 3. На рисунке 3(а) отображена среднеквадратичная ошибка уровня мощности на валидационном наборе данных для последовательных эпох обучения. На рисунке 3(б) представлено распределение ошибок моделирования процесса обучения в реализованной сети в виде гистограмм, а процесс распределения ошибок для нейронной сети отображен на рисунке 3(в).

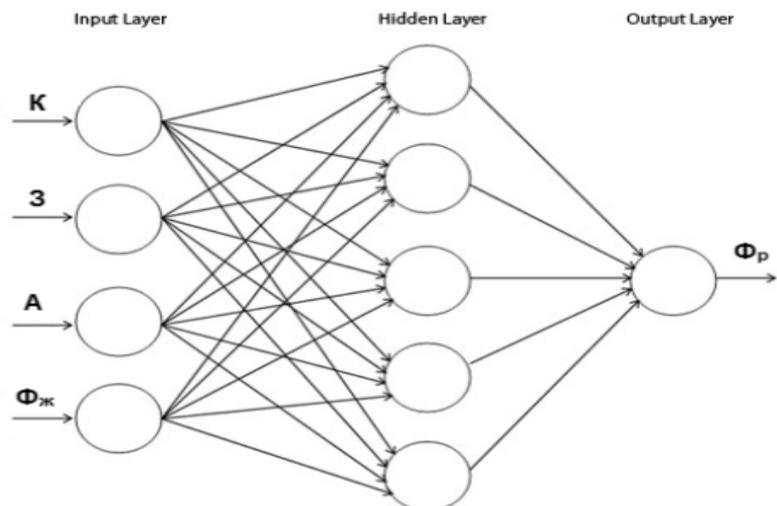
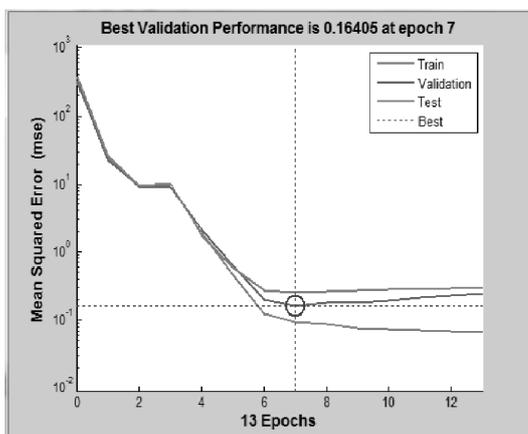
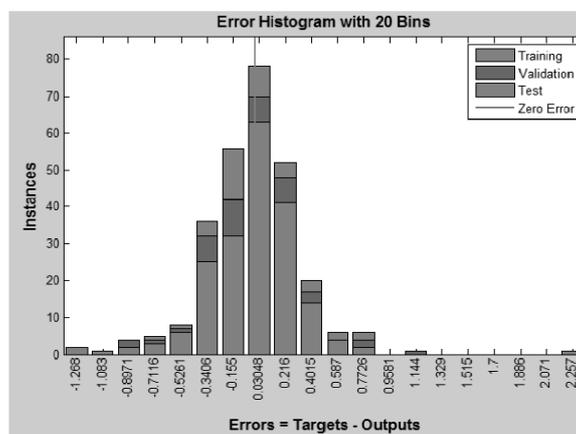


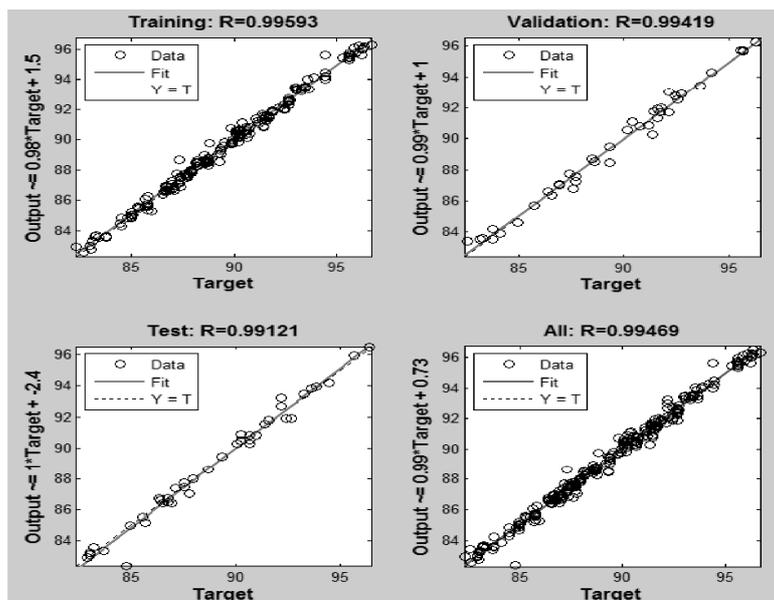
Рис. 2. – Общая схема моделирования для части прогноза



а) Лучшее исполнение проверки



б) Гистограмма ошибки



в) Регрессия

Рис. 3. – Оценка качества нейронной сети

Из представленных графиков видно, что ошибка моделирования уменьшается с увеличением числа обучений нейронной сети. Разработанную модель на базе нейронных сетей будем использовать для прогноза ошибки и сравнения их с экспериментально полученными результатами. Из анализа представленных данных видно, что нейромоделирование дает аналогичный результат с экспериментально полученными данными.

## 2. Алгоритм адаптивного управления автоматическим регулятором мощности

На рисунке 4 изображена структурная схема предназначенная для реализации алгоритма адаптивного управления с применением принципа (концепции) нейронных сетей. Структурная схема содержит блок адаптивного управления реализованный в интеллектуальном контроллере связанный с автоматическим регулятором мощности и непосредственно объект управления в данном случае ядерный реактор.

На входе блока адаптивного управления присутствуют входы желаемого уровня мощности  $\Phi_{ж}$ , тип и амплитуда возмущения (реактивность)  $A$ , пропорциональная составляющая регулятора  $K$ , а также зона нечувствительности регулятора  $Z$ . В качестве выхода используется расчетная (предлагаемая) уставка мощности реактора –  $\Phi_n$ , для автоматического регулятора мощности, обеспечения минимальную статическую ошибку для регулируемого уровня мощности реактора –  $\Phi_p$ .

Суть предложенного алгоритма заключается в том, что на основе измеренного текущего уровня мощности реактора –  $\Phi_p$ , текущего прироста реактивности –  $A$  и применяемых настроек регулятора ( $K$  и  $Z$ ) используя алгоритм нейромодели можно получить нейропрогноз уставки мощности реактора –  $\Phi_n$  и тем самым заранее скорректировать величину используемой уставки автоматического регулятора мощности –  $\Phi_{ж}$  для того чтобы уменьшить статическую ошибку регулируемой величины.

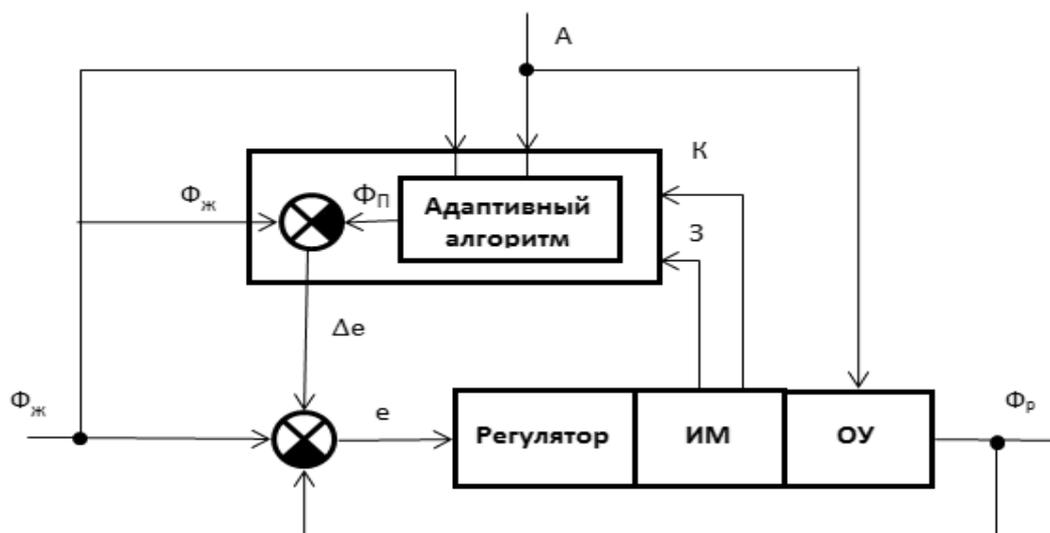


Рис. 4. – Структурная схема адаптивного управления

Структурная схема адаптивного управления на базе нейронных сетей представлена на рисунке 5. На данной схеме отображены входные и выходные параметры многослойной нейронной сети [6].

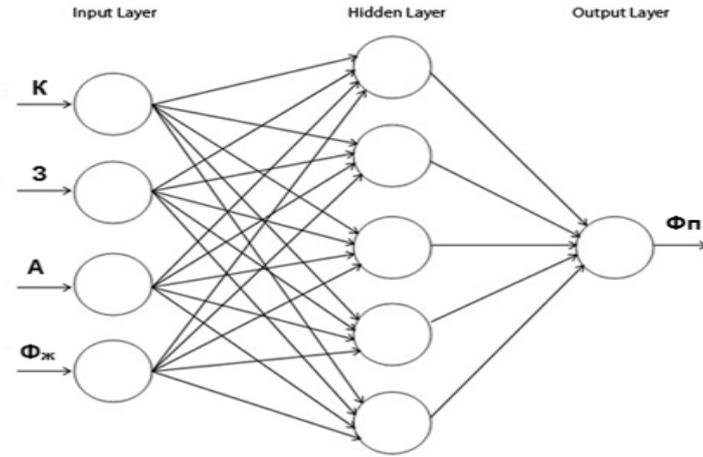
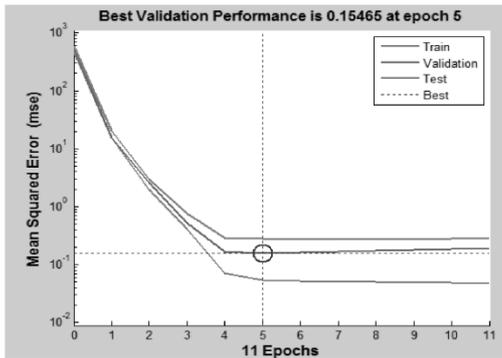
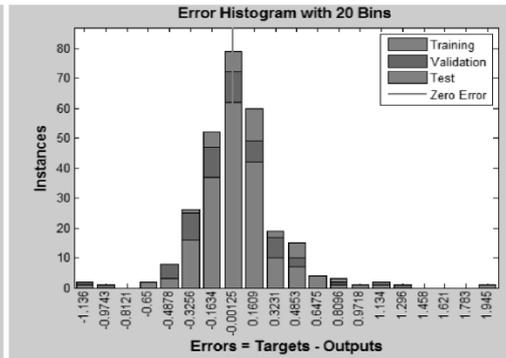


Рис. 5. – Структурная схема нейронной сети адаптивного управления

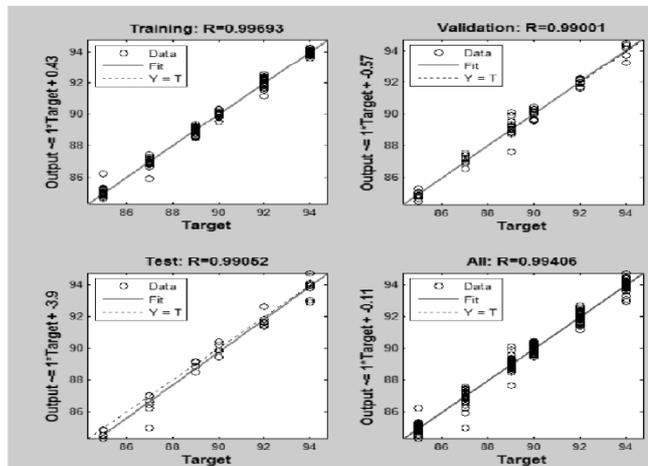
Результаты работы алгоритма адаптивного управления на базе нейронной сети представлены на рис.6. и в том числе отражен процесс обучения адаптивной нейронной сети. На рисунке 6 (а) отображена среднеквадратичная ошибка уровня мощности на валидационном наборе данных для последовательных эпох обучения. На рисунке 6 (б) представлено распределение ошибок моделирования процесса обучения в реализованной сети в виде гистограмм, а процесс распределения ошибок для нейронной сети отображен на рисунке 6 (в).



а) Лучшее исполнение проверки



б) Гистограмма ошибки



в) Регрессия

Рис. 6. – Оценка качества нейронной сети

Из представленных графиков видно, что ошибка моделирования уменьшается с увеличением числа обучений нейронной сети. Разработанную модель на основе нейронных сетей будем использовать для определения расчетной (предлагаемой) уставки мощности реактора –  $\Phi_n$ .

В таблице 2 представлены результаты работы алгоритма адаптивного управления на базе нейронных сетей, где  $\Phi_{ж}$  – желаемый уровень мощности,  $\Phi_1$  – реальная мощность без адаптивного управления,  $\Phi_2$  – рекомендуемый уровень мощности адаптивным алгоритмом для автоматического регулятора мощности,  $\Phi_3$  – реальный уровень мощности на объекте управления при использовании рекомендуемой уставки уровня мощности, *Epsilon 1* и *Epsilon 2* – статическая ошибка до и после применения адаптивного алгоритма.

Из таблицы 2 видно, что при применении адаптивного алгоритма, который вычисляет рекомендуемую (корректирующую) уставку статическая ошибка *Epsilon1* имеет значительно меньшее значение по сравнению со значением *Epsilon2*, т.е. с тем случаем, когда управление ведется без применения адаптивного алгоритма. Более наглядно это сравнение показано на рисунке 7.

**Таблица 2.** – Результаты оценки качества работы АРМ

Case study	$\Phi_{ж}$	K	Z	A	Epsilon 1	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	Epsilon 2
1	85	0.1	0.1	3	<b>2.06</b>	87.06	82.67	84.71	<b>-0.29</b>
2	85	1	1	3	<b>0.8</b>	85.8	84.08	85.57	<b>0.57</b>
3	85	1	2	3	<b>2.08</b>	87.08	83.69	85.76	<b>0.76</b>
4	87	0.1	1	3	<b>0.3</b>	87.3	85.48	87.32	<b>0.32</b>
5	87	1	0.5	-3	<b>-2.03</b>	84.97	89.13	87.19	<b>0.19</b>
6	87	1	2	-3	<b>-2.04</b>	84.96	89.28	87.19	<b>0.19</b>
7	87	1	10	2	<b>1.58</b>	88.58	85.31	86.98	<b>-0.02</b>
8	89	0.1	1	-2	<b>-1.27</b>	87.73	90.32	88.82	<b>-0.18</b>
9	89	1	1	3	<b>0.83</b>	89.83	88.19	89.03	<b>0.03</b>
10	89	1	2	-2	<b>-1.25</b>	87.75	90.33	89.07	<b>0.07</b>
11	89	1	10	-3	<b>-2.2</b>	86.8	91.58	89.05	<b>0.05</b>
12	90	0.1	10	3	<b>2.45</b>	92.45	87.68	89.99	<b>-0.01</b>
13	90	0.1	10	-3	<b>-2.6</b>	87.4	92.57	90.23	<b>0.23</b>
14	90	1	1	3	<b>0.23</b>	90.23	89.36	90.02	<b>0.02</b>
15	90	1	1	-3	<b>-2.06</b>	87.94	92.37	90.1	<b>0.1</b>
16	90	1	3	3	<b>1.87</b>	91.87	87.73	89.71	<b>-0.29</b>
17	90	1	3	-3	<b>-2.35</b>	87.65	92.41	90.24	<b>0.24</b>
18	90	1	10	3	<b>2.73</b>	92.73	87.21	89.62	<b>-0.38</b>
19	90	1	10	-3	<b>-2.63</b>	87.37	92.64	90.11	<b>0.11</b>
20	92	0.1	0.5	-2	<b>-1.3</b>	90.7	93.43	92.11	<b>0.11</b>
21	92	0.1	3	2	<b>1.67</b>	93.67	90.42	91.88	<b>-0.12</b>
22	92	1	0.5	-3	<b>-3.2</b>	88.8	94.38	92.2	<b>0.2</b>
23	92	1	3	3	<b>1.86</b>	93.86	89.99	91.82	<b>-0.18</b>
24	94	0.1	0.5	-2	<b>-1.33</b>	92.67	94.43	93.02	<b>-0.98</b>
25	94	1	0.5	2	<b>1.66</b>	95.66	92.76	94.18	<b>0.18</b>
26	94	1	1	3	<b>2.25</b>	96.25	92.96	94.45	<b>0.45</b>
27	94	1	3	-3	<b>-2.11</b>	91.89	96.17	93.95	<b>-0.05</b>

В результате проведения экспериментов для работы автоматического регулятора мощности реактора традиционным способом и с применением адаптивного алгоритма расчета рекомендуемой уставки уровня мощности видно, что статическая ошибка регулирования значительно уменьшается, что позволяет повысить качество управления.

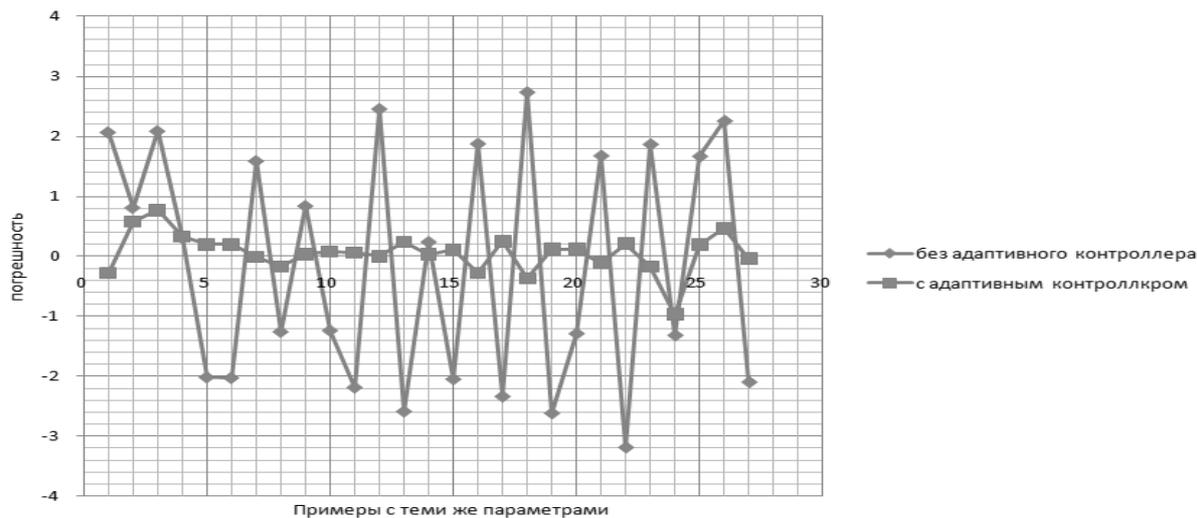


Рис. 7. – Сравнительный график статической ошибки уровня мощности

## ВЫВОДЫ

Анализ результатов проекта показывает, что с помощью алгоритмов адаптивного управления на базе нейронных сетей для автоматического регулятора мощности, может дать значительное улучшение качества управления по сравнению с традиционными классическими алгоритмами управления, путем уменьшения статической ошибки регулирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова, Т.А. и др. Базы знаний интеллектуальных систем [Текст] / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
2. Выговский, С.Б. и др. Учебная лаборатория на базе многофункционального анализатора реакторной установки АЭС с ВВЭР [Текст] / С.Б. Выговский, С.А. Королев, Е.В. Чернов – Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2012. – Т. 1. – №1 – С. 104–110.
3. Мирошник, И.В. и др. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими объектами [Текст] / И.В. Мирошник, В.О. Никифоров, А.Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
4. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
5. Боженов, О.Л. и др. Системная инженерия АСУТП АЭС / О.Л. Боженов, А.Б. Кабачников // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2009. – №2. – С. 27–32.
6. Каширина, И.Л. Нейросетевые технологии: учебно-методическое пособие для ВУЗов [Электронный ресурс] / И.Л. Каширина. – Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. – 72 с. – Режим доступа: URL: <http://www.ict.edu.ru/ft/005966/m08-110.pdf> – 20.06.2016.

## REFERENCES

- [1] Gavrilova T.A., Khoroshevskiy V.F. Bazy znaniy intellektualnykh sistem [Knowledge bases of intellectual systems]. Sankt-Peterburg. Pub. Piter, 2000, 384 p. (in Russian)
- [2] Vygovskiy S.B., Korolev S.A., Chernov E.V. Uchebnaya laboratoriya na baze mnogofunktsionalnogo analizatora reaktornoy ustanovki AES s VVER [Educational laboratory on the basis of the multipurpose analyzer of reactor installation of the NPP with WWER]. Vestnik Natsionalnogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI» [Bulletin of National Research Nuclear University "MEPhI".], 2012, Vol. 1, №1, ISSN 2304-487X, pp. 104–110. (in Russian)

- [3] Miroshnik I.V., Nikiforov V.O., Fradkov A.L. Nelineynoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinamicheskimi obektami [Nonlinear and adaptive management of difficult dynamic objects]. Sankt-Peterburg. Pub. Nauka, 2000, 549 p. (in Russian)
- [4] Rotshteyn A.P. Intellektualnye tekhnologii identifikatsii: nechetkaya logika, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti [Intellectual technologies of identification: fuzzy logic, genetic algorithms, neural networks]. Vinnitsa. Pub. UNIVERSUM, 1999, 320 p. (in Russian)
- [5] Bozhenkov O.L., Kabachnikov A.B. Sistemnaya inzheneriya ASUTP AES [System engineering of the NPP PCS]. Yadernye izmeritelno-informatsionnye tekhnologii [Nuclear measuring and information technologies], 2009, №2, ISSN 1729-2689, pp. 27–32. (in Russian)
- [6] Kashirina I.L. Neyrosetevye tekhnologii: uchebno-metodicheskoe posobie dlya VUZov [Neural network technologies: an educational and methodical grant for Higher Education Institutions]. Pub. Izdatelsko-poligraficheskiy tsentr Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta [Publishing and printing center of Voronezh State University], 2008, 72 p. Available at: <http://www.ict.edu.ru/ft/005966/m08-110.pdf> (in Russian)

## **Adaptive Neural Network Controller for Power Control in Nuclear Power Plants WWER 1000**

**H.F. Almasri**

*National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Kashirskoye Shosse, 31, Moscow, Russia 115409  
e-mail: husam\_almasri@hotmail.com*

**Abstract** – The task of power control in nuclear reactors is one of the most important tasks in this field. Therefore, researches are constantly carried out to improve the power reactor control process. Nowadays, in the department of Automation in National Nuclear Research University MEPhI a study of intelligent power regulator models in the control systems of nuclear power reactors is carried out on the grounds of on multifunction computer analyzer (simulator) of reactor WWER 1000. In this paper, a block diagram of an adaptive reactor power controller was built on the basis of an intelligent control algorithm. When implementing the intelligent neural network principles, it is possible to improve the quality and the dynamic of any control system in accordance with the principles of adaptive control. As it is known, adaptive control system allows to adjust the controller's parameters according to the changes in the characteristics of the control object or external disturbances. In this paper it is shown that the promising options for an automatic power controller in nuclear power plants is an intelligent neural network control algorithms.

*Keywords:* artificial intelligence, neural networks, adaptive control, nuclear reactor, automatic power controller.

---

---

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

---

---

УДК 621.039

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ И СТОХАСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

**© 2016 Е.А. Абидова, Л.С. Хегай, А.В. Чернов, В.А. Булава,  
В.И. Соловьёв, О.Ю. Пугачёва**

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

С целью оценки технического состояния дизель-генераторных установок АЭС РФ было проведено измерение уровня вибрации и тепловизионный контроль. В работе описаны основные положения методики диагностирования технического состояния, предполагающей использование как традиционных, так и новых методов обработки диагностических сигналов, включая и оценку энтропии. Приводятся заключения по результатам обследования оборудования.

*Ключевые слова:* резервная дизельная электростанция, тепловизионный контроль, виброакустический анализ, огибающая, спектральный анализ, энтропия Шеннона, перестановочная энтропия, АЭС.

Поступила в редакцию 10.09.2016 г.

Резервная дизельная электростанция (РДЭС) является одной из обеспечивающих систем безопасности АЭС и должна постоянно находиться в работоспособном состоянии. РДЭС предназначены для аварийного электроснабжения потребителей систем безопасности в режимах обесточивания. Обеспечение бесперебойной работы дизель-генераторного оборудования АЭС является вопросом безопасности атомной энергетики.

НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ в 2014-2016 гг. провел диагностирование дизель-генераторного оборудования. Диагностике подвергались два типа дизеля 15Д100 (на Смоленской и Нововоронежской АЭС) и 12ZV40/48 (на Ростовской АЭС). Дизель 15Д100 является двухтактным, т.е. двум ходам поршня соответствует один оборот коленвала. Определенным углам поворота вала, – и временным интервалам, – соответствуют следующие события: достижение поршнем внутренней мертвой точки, начало открытия выпускных окон, начало открытия впускных окон, закрытие выпускных окон, закрытие впускных окон, достижение наружной мертвой точки и начало впрыска топлива. Дизель 12ZV40/48 – четырехтактный. В данном случае рабочему циклу соответствует четыре хода поршня, и за время двух оборотов коленвала происходят следующие события: верхняя мертвая точка, выхлоп, забор воздуха, сжатие, нижняя мертвая точка, впрыск, верхняя мертвая точка, ход, нижняя мертвая точка.

При диагностике механизмов циклического действия наиболее распространение получили тепловизионные и виброакустические методы, благодаря их чувствительности и оперативности получения результатов [1]. На данных методах основано большинство известных систем диагностики, которые внедрены

преимущественно в сфере водного транспорта. Данные системы направлены на выявление механических поломок, возникающих вследствие износа дизеля при его интенсивной эксплуатации [1,2].

В условиях АЭС дизель предназначен для питания аварийных насосов. Происходит его периодическое опробование (раз в месяц), но большую часть времени он не эксплуатируется. При опробовании на некоторых АЭС измеряют вибрацию и сравнивают её уровни с нормативом по стандарту ISO 10816-6:1995. Соответствие уровней вибрации нормативным значениям, когда износ и механические поломки маловероятны, не исключает неравномерности работы из-за несогласованности работы цилиндро-поршневых групп (ЦПГ). Однако неравномерность работы, иначе говоря, отклонение угла опережения подачи топлива, выходит на первый план при эксплуатации дизелей АЭС. Данная проблема чревата снижением качества вырабатываемой энергии, повышенным расходом топлива, снижением ресурса дизеля. Существующий подход не позволяет выявить неравномерности работы. Следовательно, внедрение методик, которые выявляют несогласованность, является востребованной задачей [3].

Для выявления несогласованности были использованы специальные методы обработки данных. При обработке результатов теплотрии сравнивалась температура по цилиндрам дизелей: повышение температуры одного из объектов интерпретировалась как признак отклонения в его работе. Аналогичный подход применялся к первичной обработке сигналов вибрации. Сравнению подвергались параметры, - размах, среднеквадратичное значение, пик фактор, - в пределах типовых групп. В группы объединяются как параметры, относящиеся к одному дизелю, так и параметры соответствующие агрегатам конструктивно одинаковых дизелей. Экстремальные значения одного из параметров в группе свидетельствуют о возможных отклонениях в работе оборудования.

Для более глубокого анализа производится сравнение форм спектров в пределах типовых групп. Несовпадение форм спектров свидетельствуют о возможных отклонениях в работе оборудования.

В качестве перспективного метода реализуется сравнение форм огибающих, в которых в виде всплесков амплитуд отражаются события, повторяющиеся с цикличностью соответственно типу дизеля. Несовпадение форм в пределах типовых групп, отклонение формы от цикличности являются характерными признаками неравномерности работы дизельного оборудования.

Помимо приведенных выше традиционных методов, которые основаны на оценке детерминированных параметров, были впервые применены стохастические методы. Под стохастическими методами подразумевается оценка показателей энтропии. Использование показателей энтропии целесообразно, поскольку процессы, протекающие в объекте диагностирования, имеют во многом стохастический характер и вносят нелинейную и стохастическую составляющую в диагностические сигналы, тем большую, чем больше отклонение состояния объекта от исправного [4].

Понятие энтропии, изначально введенное для оценки меры беспорядка в термодинамических системах, широко используется в теории информации. Информационную энтропию, как оценку меры неопределенности сигналов, процессов и систем определяют различными способами. Для параметризации диагностических сигналов были выбраны энтропия Шеннона (1) и перестановочная энтропия (2):

$$H_s(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i), \tag{1}$$

$$H_p(x) = - \sum_{i=1}^{n!} p(i) \log_2 p(i), \tag{2}$$

где  $n$  – число исходов событий,  
 $p(i)$  – вероятность каждого события.

Обе энтропии характеризуют вариабельность процесса. При чем, с ухудшением состояния объекта в сигнале появляются дополнительные гармоники, и вариабельность возрастает. Когда вариабельность возрастает, энтропия Шеннона увеличивается, а перестановочная энтропия уменьшается [5].

При проведении процедуры диагностирования внимание уделялось в первую очередь измерению вибрации цилиндропоршневых групп: топливных насосов, форсунок, цилиндрических втулок. Также производились измерения вибрации на генераторах, их подшипниках, основном и вспомогательном оборудовании. Процедура диагностирования дизеля 12ZV40/48 предполагает также регистрацию вибрации на поперечной анкерной связи. Анкерная связь представляет собой болт, который скрепляет опорный подшипник нижнего коленвала. На анкерную связь передаётся вибрация коленвала, резко возрастающая при перекладке поршня в нижней мертвой точке. Сигнал, зарегистрированный на анкерной связи, чувствителен к работе ЦПГ, ему соответствующей, и двух ближайших к нему групп.

Регистрация сигналов осуществлялась с использованием штатных поверенных приборов отделов технической диагностики. В качестве средств вибродиагностики использовались приборы Атлант-8 и Ультрапроб-9000. С помощью Атлант-8 были продиагностированы дизели Смоленской АЭС. Данный прибор регистрирует колебания в диапазоне  $5 \div 5\,000$  Гц (низкочастотная область). Ультрапроб применялся на Нововоронежской и Ростовской АЭС. Частотный диапазон данного прибора 20 до 100 кГц, что делает его чувствительным к регистрации колебаний, возникающих при соударениях в результате циклической работы дизеля.

Для теплотметрии также использовались два прибора FLIR AX8 (Нововоронежская АЭС) и Fluke TiS40 (Смоленская и Ростовская АЭС). Узкий диапазон температур FLIR AX8 не позволил провести процедуру теплотметрии в полном объёме.

Диагностика двух дизель-генераторов 3ДГ-4 и 3ДГ-5 типа 15Д100 проводилась на третьем блоке Смоленской АЭС 16.02.2015 года. Было выявлено несоответствие перепада температуры между цилиндрами: на 3ДГ-4 перепад  $111\text{ }^{\circ}\text{C}$  (норма  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), на 3ДГ-4 перепад  $112\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

По результатам вибродиагностики 3ДГ-4 и 3ДГ-5 проводилось сопоставление измеренных параметров с нормативными значениями (ISO 10816-6:1995). Обе установки по показателям вибрации были признаны исправными и работоспособными. Однако было выявлено относительное повышение вибрации на тех ЦПГ, где регистрировалась и повышенная температура. Было рекомендовано проверить работу данных ЦПГ.

В июне 2015 года было проведено диагностирование пяти дизель-генераторов ДГ1, ДГ2, ДГ6, ДГ7, ДГ8 типа 15Д100 на Нововоронежской АЭС. Теплотметрии подверглись агрегаты дизелей ДГ6, ДГ7, ДГ8: турбокомпрессор, водяной и масляный насосы. Температура всех агрегатов соответствует норме. Однако температура масляного насоса оказалась выше на дизеле ДГ-6, что было отражено в заключении.

Вибрация была измерена на десяти ЦПГ пяти обследуемых дизелей. Применение Ультрапроб-9000 позволило получить информативную огибающую, форма которой отражает последовательность событий, происходящих в ЦПГ. Форма огибающей виброакустического сигнала 15Д100 оказалась сходной для всех измерений на ЦПГ.

В пределах типовых групп сравнению подверглись расчетные параметры, формы огибающих и спектров, значения энтропии Шеннона и перестановочной энтропии.

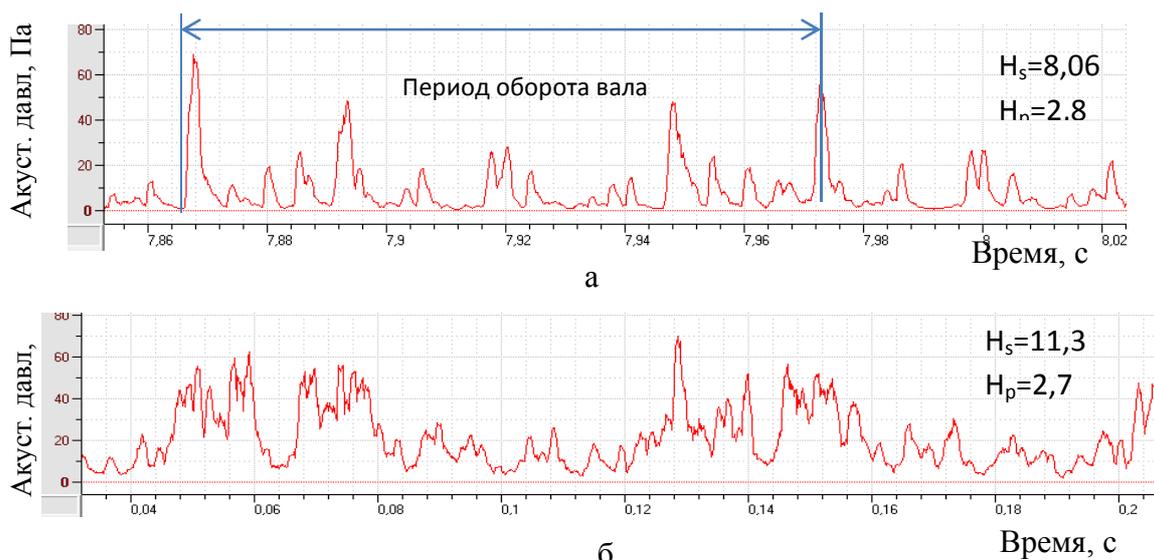


Рис. 1. – Огибающие виброакустических сигналов 7-х цилиндров дизелей Нововоронежской АЭС: а- ДГ7; б - ДГ6

Поскольку у ЦПГ №7 установки ДГ6 выявлено относительное превышение параметров, в том числе энтропии Шеннона на 27%, отклонение форм огибающих и спектров сигналов, то рекомендовано проверить работу данной ЦПГ.

В сентябре 2015 было проведено повторное диагностирование ДГ6, ДГ7, ДГ8. Результаты первичного и повторного диагностирования оказались почти тождественны. Вновь было рекомендовано обратить внимание на ЦПГ №7 установки ДГ6.

Диагностические данные дизелей 2РДЭС-2, 2РДЭС-3 Ростовской АЭС были получены 20.05.2015 и 20.05.2015. Тип объекта диагностирования, – 12ZV40/48 четырехтактный с V-образным расположением, – отличается от ранее обследованных дизелей типа 15Д100.

Теплометрия не выявила отклонения в работе обследуемых объектов, распределение температур двух дизелей оказалось почти тождественным.

Значения параметров виброакустического сигнала для 2РДЭС-2, 2РДЭС-3 совпадают вплоть до значений десятичных дробей. Значения энтропии Шеннона и перестановочной энтропии по сигналам двух дизелей отличаются не более чем на 5 %.

Огибающие сигналов, измеренных на анкерных связях, отображают (виде максимального пика) момент перекадки поршня в ЦПГ, соответствующей данной анкерной связи и двух ближайших к нему групп. Данная закономерность обусловила практическое совпадение огибающих сигналов, измеренных в идентичных точках, и отличие огибающих сигналов, измеренных в разных точках.

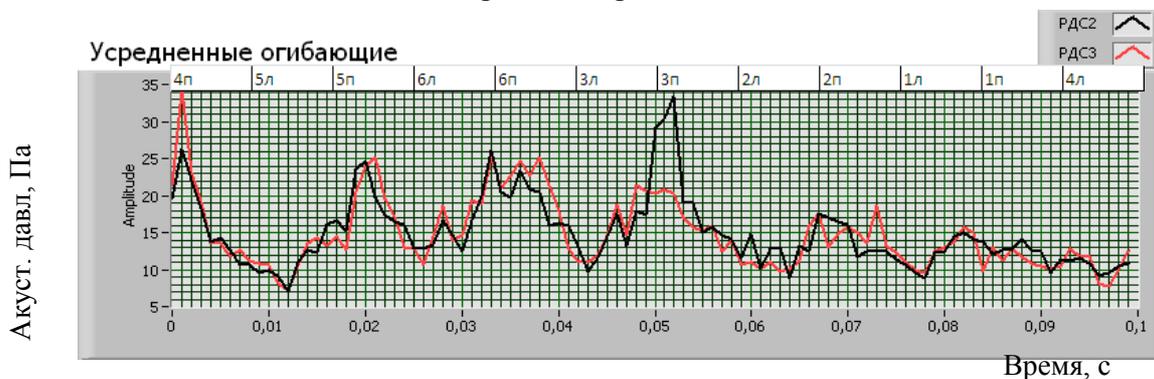


Рис. 2. – Усредненные виброакустические сигналы, измеренные на анкерных связях дизелей 2РДЭС-2, 2РДЭС-3 вблизи ЦПГ №4

Формы спектров сигналов, измеренных в идентичных точках, тоже почти совпадают, но резко отличаются от спектров сигналов, измеренных в других точках.

В заключении по результатам виброакустического и тепловизионного контроля сказано, что установки 2РДС-2 и 2РДС-3 могут быть признаны работоспособными и функционально пригодными к дальнейшей эксплуатации в составе систем безопасности энергоблока № 2. Виброакустические сигналы, измеренные вблизи анкерных связей, могут быть использованы в качестве эталонов при последующем диагностировании дизелей типа 12ZV40/48.

На основании опыта диагностирования дизель-генераторного оборудования в 2015 году можно сделать следующие общие выводы:

1) при диагностировании дизель-генераторного оборудования АЭС необходимо выявлять согласованность работы цилиндро-поршневых групп, влияющую на качество вырабатываемой электроэнергии, экономичность и ресурс дизелей;

2) по виброакустическим характеристикам, регистрируемым в определенных точках, и по распределению температур в определенных областях дизеля можно судить о равномерности работы дизеля;

3) показатели энтропии виброакустического сигнала могут быть использованы в качестве диагностических признаков технического состояния дизель-генераторного оборудования;

4) систематическое обследование дизель-генераторов АЭС детерминированными и стохастическими методами должно лежать в основе прогноза их состояния и оценки их остаточного ресурса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров, М.В. и др. Разработка диагностического комплекса для электронной системы управления отечественных автомобильных дизелей [Текст] / М.В. Тихомиров, С.В. Овчинников, Ю.Е. Хрящев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия “Машиностроение”. – 2015. – №1. – С. 142–148.
2. Крашенинников, С.В. Современные подходы к диагностированию дизельных двигателей внутреннего сгорания [Текст] / С.В. Крашенинников // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2013. – №2(12). – С. 59–68.
3. Пугачева, О.Ю. и др. Диагностика дизель-генератора 15Д-100 по показателям вибрации [Текст] / О.Ю. Пугачева, А.К. Пугачев, В.И. Соловьев, Е.А. Абидова // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №2(11). – С. 91–97.
4. Дулесов, А.С. и др. Применение подходов Хартли и Шеннона к задачам определения количества информации технических систем [Текст] / А.С. Дулесов, Е.А. Ускова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – №2(16). – С. 46–50.
5. Чумак, О.В. Энтропия и фракталы в анализе данных [Текст] / О.В. Чумак. – М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. – 164 с.

#### REFERENCES

- [1] Tikhomirov M.V., Ovchinnikov S.V., Khryashchev Yu.E. Razrabotka diagnosticheskogo kompleksa dlya elektronnoy sistemy upravleniya otechestvennykh avtomobilnykh dizeley [Development of a diagnostic complex for an electronic control system of domestic automobile diesels]. Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya “Mashinostroenie” [Bulletin of N. E. Bauman MSTU. Mechanical engineering series], 2015, №1, ISSN 0236-3941, DOI: 10.18698/0236-3941-2015-1-142-148, pp. 142-148. (in Russian)
- [2] Krashennnikov S.V. Sovremennye podkhody k diagnostirovaniyu dizelnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya [Modern approaches to diagnosing of diesel internal combustion engines]. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Bulletin of the Novosibirsk state pedagogical university.], 2013, №2(12), ISSN 2226-3365, DOI: 10.15293/2226-3365, pp. 59-68. (in Russian)
- [3] Pugacheva O.Yu., Pugachev A.K., Solovev V.I., Abidova E.A. Diagnostika dizel-generatora 15D-

- 100 po pokazatelyam vibratsii [15D-100 Diesel Generator Diagnostics on Vibration Indicators]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2014, №2(11), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 91–97 (in Russian)
- [4] Dulesov A.S., Uskova E.A. Primenenie podkhodov Khartli i Shennona k zadacham opredeleniya kolichestva informatsii tekhnicheskikh sistem [Application of Hartley and Shannon approaches to problems of determination of amount of information of technical systems]. Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo [Questions of modern science and practice. V. I. Vernadsky University.], 2009, №2(16), ISSN 1990-9047, pp. 46–50. (in Russian)
- [5] Chumak O.V. Entropiya i fraktaly v analize dannykh [Entropy and fractals in the data analysis]. M., Izhevsk Pub. NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», Institut kompyuternykh issledovaniy [SRC "Regular and chaotic dynamics", Institute of Computer Science], 2011, ISBN 978-5-93972-852-2, 164 p. (in Russian)

### **Diesel Generator Equipment Diagnostics of Nuclear Power Plant Using Deterministic and Stochastic Methods**

**E.A. Abidova, L.S. Hegay, A.V. Chernov, V.A. Bulava, O.Yu. Pugachyova, V.I. Soloviev**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI"  
e-mail: nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract** –The measurement of vibration and thermal control was carried out to assess the technical condition of the diesel generators of nuclear power plants in Russia. The paper describes the main provisions of methods of technical condition diagnosing which makes use of both traditional and new diagnostic methods of signal processing, including the assessment of entropy. The results of the equipment survey are presented.

*Keywords:* reserve diesel power station, thermal control, vibro-acoustic analysis, envelope spectrum analysis, Shannon entropy, permutation entropy, NPP.

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

УДК 378 : 621

**ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ  
СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ  
ВНЕДРЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ**

© 2016 г. В.А. Руденко, С.А. Томилин, Н.П. Василенко

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

Сегодня актуальным остается вопрос обеспечения атомной энергетики высококвалифицированными специалистами, способными оперативно и качественно решать возникающие производственные задачи. Чрезвычайно высокая степень ответственности работников, занятых в этой отрасли, определяет особые требования к подготовке и квалификационному отбору кадров. Однако долгое время отсутствовали современные нормативные документы, содержащие четко сформулированные требования к уровню квалификации каждого работника по отдельно взятому направлению деятельности, необходимым знаниям и умениям для реализации конкретных трудовых функций. Внедрение профессиональных стандартов должно разрешить указанное противоречие. В работе представлены основные проблемы организации профессиональной подготовки работников для атомной отрасли на этапе внедрения профессиональных стандартов. Они обусловлены, прежде всего, отсутствием новых образовательных стандартов, учитывающих требования профессиональных стандартов. Кроме того, в профессиональных стандартах требования в отношении образования приведены в соответствии с ОКСО, что вызывает целый ряд затруднений. В работе предложены некоторые пути сглаживания представленных проблем.

*Ключевые слова:* атомная отрасль, профессиональные стандарты, подготовка специалистов.

Поступила в редакцию 22.09.2016 г.

Современные особенности функционирования мировой экономики формулируют задачи разработки условий и механизмов, которые смогут обеспечить долгосрочную конкурентоспособность атомной энергетики в мировом сообществе. В этих условиях ключевыми являются вопросы обеспечения отрасли высококвалифицированными специалистами, нехватка которых особенно остро сегодня наблюдается на рынке труда. Потребность в работниках, способных оперативно и качественно решать возникающие производственные задачи, часто не может быть в полной мере удовлетворена вследствие недостаточности имеющихся у соискателей компетенций. Это чаще всего обусловлено или отсутствием у соискателей необходимых знаний и умений, или неполной сформированностью способности применять их при решении конкретных задач, т.е. нехваткой навыков. Причинами этого могут являться как личностные качества работников, так и недостаточная требовательность образовательных организаций к уровню их подготовки. Однако, возможны и ситуации неадекватного квалификационного отбора работодателями претендентов на должности. Это обусловлено тем, что долгое время отсутствовали современные нормативные документы, содержащие четко сформулированные требования к уровню квалификации каждого работника по отдельно взятому направлению деятельности, необходимым

знаниям и умениям для реализации конкретных трудовых функций. Все это приводит к тому, что продолжает сохраняться значительный разрыв между спросом и предложением рабочей силы. [1]

Особая острота задачи подготовки и квалификационного отбора кадров для атомной энергетики вызвана чрезвычайно высокой степенью ответственности работников, занятых в этой отрасли, что требует не только соответствующего уровня их первоначальной подготовки, но и способности к самообразованию, саморазвитию, совершенствованию имеющихся и приобретению новых профессиональных умений и навыков [2].

Для разрешения указанных выше противоречий в ГК «Росатом» и ее организациях с 2013 года совместно с образовательными организациями осуществляется разработка профессиональных стандартов для специалистов предприятий атомной энергетики, промышленности и науки. Необходимость разработки и введения профессиональных стандартов определена Указом Президента РФ № 597 от 7 мая 2012 г. «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики». При этом профессиональный стандарт рассматривается как характеристика квалификации, необходимой работнику для осуществления определенного вида профессиональной деятельности [3]. Важно отметить, что от существующих квалификационных справочников профессиональные стандарты отличает, прежде всего, использование более современной конструкции структуры описания требований, в том числе к уровню знаний работника, его умениям, профессиональным навыкам и опыту работы.

Профессиональные стандарты позволяют работодателям внятно сформулировать требования к работникам, а работникам – самостоятельно оценить соответствие имеющихся у них компетенций требованиям рынка труда и конкретного работодателя. Причем последнее относится не только к принятию на работу, но и дальнейшему карьерному росту. Кроме того, эти документы позволяют использовать стандартизированные формулировки при составлении кадровых документов, унифицировать должностные обязанности и упростить работу по составлению должностных инструкций [4].

До настоящего времени при определении наименования должности, тарификации работ, установлении системы оплаты труда работодатели могли в равной степени пользоваться как квалификационными справочниками, так и профессиональными стандартами. Однако уже с 1 июля 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 2 мая 2015 г. № 122-ФЗ «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» для ряда работодателей, в частности, государственных корпораций, в уставном капитале которых находится в государственной или муниципальной собственности более 50 % акций (долей), к которым, как раз и относится ГК «Росатом», применение профессиональных стандартов является обязательным в части требований к квалификации, необходимой работнику для выполнения его трудовых функций. [5] В соответствии с данными изменениями, профессиональные стандарты должны использоваться работодателями при:

- формировании кадровой политики и в управлении персоналом;
- организации обучения и аттестации работников;
- тарификации работ и присвоении тарифных разрядов работникам;
- установлении систем оплаты труда.

Кроме того, на основе соответствующих профессиональных стандартов (при их наличии) должно осуществляться формирование требований федеральных государственных образовательных стандартов профессионального образования к результатам освоения основных образовательных программ в части профессиональной

компетенции. Федеральные государственные образовательные стандарты профессионального образования, утвержденные до 1 июля 2016 г., подлежат приведению в соответствие указанному требованию [5].

Сказанное выше обобщает слова В.В. Карезина: «профессиональный стандарт очень важен во взаимодействии трех сторон: студент, университет и будущий работодатель», так как именно «профессиональные стандарты позволят систематизировать требования работодателей к работникам, проводить оценку соответствия компетенций сотрудников требованиям конкретного работодателя, а системе профессионального образования – разрабатывать образовательные программы, соответствующие условиям рынка труда» [6].

Однако, несмотря на введение в действие профессиональных стандартов, требования в отношении образовательных организаций, изложенные в Федеральном законе [5], не выполнены, и образовательные стандарты до настоящего времени не приведены в соответствие с профессиональными.

Все рассмотренные выше изменения и отсутствие разработанных образовательных стандартов нового поколения, учитывающих требования профессиональных стандартов, ставит образовательные организации в сложные условия.

Во-первых, как известно, именно образовательный стандарт определяет образовательную траекторию по конкретному направлению подготовки (специальности). Он является основанием для разработки учебно-методической документации (компетентностной модели выпускника, рабочих учебных планов, учебно-методических комплексов дисциплин и др.) и собственно ведения образовательной деятельности. Любые задержки с выходом этого документа неизбежно приведут к снижению качества формирования компетенций, обозначенных (через знания и умения) в профессиональных стандартах. Разумеется, анализ трудовых действий, умений и знаний работников, представленных в профессиональных стандартах, уже сейчас, до выхода в свет образовательных стандартов нового поколения, может ориентировать профессорско-преподавательские коллективы образовательных организаций на корректировку содержания образовательных программ, учебно-методических материалов и фондов оценочных средств. Но все это носит лишь весьма приблизительный и несистемный характер.

Во-вторых, косвенно возникает необходимость в расширении номенклатуры направлений подготовки (специальностей) в образовательной организации при снижении контингента обучающихся по каждому направлению. Это обусловлено тем, что в профессиональных стандартах часто достаточно конкретно прописаны направления подготовки (специальности) (вместо укрупненной группы направлений подготовки и специальностей – УГНС) применительно к каждой должности, что делает невозможным занять ее выпускником, получившим образование по родственным (в рамках одной УГНС) направлениям. Однако, в современных экономических условиях и с учетом надзорных требований «раздуть» номенклатуру направлений подготовки (специальностей) образовательные организации не в состоянии. В результате дефицит выпускников отдельных направлений подготовки весьма вероятен.

Кроме того, согласно утвержденным Минтрудом России макета [7] и методических рекомендаций [8] требование в отношении образования в стандартах прописано в соответствии с Общероссийским классификатором специальностей по образованию (ОКСО) [9]. Этот классификатор в настоящее время хоть и является действующим документом, но потерял практическую актуальность, в результате чего для установления соответствия направлений подготовки (специальностей) современным перечням приходится пользоваться «переходником» в соответствии с

письмом Минобрнауки России от 24.06.2014 № АК-1666/05 [10]. Но имеют место случаи, когда уровень образования по ОКСО, а значит и в профессиональном стандарте, не соответствует актуальным данным, отраженным в «переходнике» [10]. Например, в профессиональном стандарте «Специалист в области теплоэнергетики (реакторное отделение)» для выполнения обобщенной трудовой функции В в требованиях к образованию записано «Высшее образование – специалитет, магистратура» и содержится среди прочих код по ОКСО 140300 Ядерные физика и технологии, которому по «переходнику» соответствует одноименное направление подготовки с кодом 14.03.02, уровень образования – только бакалавриат (см. таблицу 1). Аналогичная ситуация встречается и в других профессиональных стандартах. Безусловно, это обстоятельство не является виной разработчиков стандартов, поскольку указанное требование заложено в нормативных документах [7, 8]. Однако применимость профессиональных стандартов в этой части становится затруднительной.

**Таблица 1.** – Соответствие специальностей направления 140300 ОКСО направлению подготовки 14.03.02

ОКСО [9]			Направление подготовки в соответствии с «переходником» [10]
Код	Наименование	Квалификация	
140301	Физика конденсированного состояния вещества	Инженер-физик (специалитет)	14.03.02 Ядерные физика и технологии (бакалавриат)
140302	Физика атомного ядра и частиц	Инженер-физик (специалитет)	
140303	Физика кинетических явлений	Инженер-физик (специалитет)	
140304	Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника	Инженер-физик (специалитет)	
140305	Ядерные реакторы и энергетические установки	Инженер-физик (специалитет)	
140306	Электроника и автоматика физических установок	Инженер-физик (специалитет)	
140307	Радиационная безопасность человека и окружающей среды	Инженер-физик (специалитет)	
140309	Безопасность и нераспространение ядерных материалов	Инженер-физик (специалитет)	

В этой же связи возможны проблемы с трудоустройством выпускников, которые начинали учиться до введения в действие профессиональных стандартов, и рассчитывали занять определенную нишу у конкретного работодателя. Разумеется, что оперативно переориентироваться выпускник, как правило, не имеет возможности.

В-третьих, анализ разработанных профессиональных стандартов для атомной отрасли позволил выявить, что во всех профессиональных стандартах, требующих для реализации обобщенных трудовых функций специалистов с высшим образованием, предусмотрен уровень «бакалавриат» (в основном это работники 5 и 6 уровней квалификации с возможными наименованиями должностей: инженер, старший оператор, мастер участка и т.д.). Для выполнения обобщенных и трудовых функций, требующих 7 и выше уровней квалификации (с возможными наименованиями

должностей: руководитель/начальник отдела, заместители начальника отдела, ведущий инженер, ведущий специалист, главный инженер, заместитель главного инженера, директор, начальник участка/службы, начальник управления и другие руководящие должности), необходимы работники с уровнями образования «специалитет» или «магистратура» (таблица 2).

Исходя из этого образовательным организациям целесообразно обеспечивать своим студентам, осваивающим программы бакалавриата, возможность продолжения дальнейшего обучения по программам магистратуры. Именно это и определено одной из задач Федеральной целевой программы развития образования на 2016 – 2020 годы, где отмечается, что на втором этапе реализации программы «получат широкое распространение новые образовательные программы магистратуры и аспирантуры и технологии их реализации» [11].

**Таблица 2.** – Примеры возможных наименований должностей по уровням образования в соответствии с профессиональными стандартами

№ п/п	Профессиональный стандарт	Возможные наименования должностей по уровню образования «бакалавриат»	Возможные наименования должностей по уровням образования «специалитет» и «магистратура»
1	2	3	4
1.	Инженер-проектировщик по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии	Инженер Инженер-проектировщик	Руководитель отдела по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии
2.	Специалист по обеспечению качества в организациях, осуществляющих деятельность в области использования атомной энергии	Инженер (менеджер) по качеству Специалист по качеству	Аудитор Руководитель группы аудита Инженер (менеджер) по качеству Специалист Ведущий инженер по качеству Главный специалист Главный эксперт Главный аудитор Заместитель директора по качеству Представитель руководства по качеству
3.	Инженер по паспортизации радиоактивных отходов	Инженер	Ведущий инженер Ведущий специалист
4.	Специалист в области производственно-технологической комплектации на атомных станциях	Инженер по комплектации оборудования АС	Ведущий инженер Начальник отдела Заместитель начальника управления Начальник управления
5.	Специалист по обслуживанию и ремонту механического оборудования атомных станций	Мастер Инженер Инженер-технолог Инженер-электрик Старший мастер Начальник участка	Ведущий инженер

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
6.	Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики атомной станции	Мастер участка / лаборатории / мастерской цеха ТАИ Старший мастер участка / лаборатории / мастерской цеха ТАИ Инженер лаборатории / службы / участка КИПиА Инженер лаборатории / службы / участка СУЗ Инженер по наладке и испытаниям лаборатории / службы КИПиА и аппаратуры СУЗ	Ведущий инженер лаборатории КИПиА или лаборатории СУЗ Начальник службы / участка / лаборатории КИПиА или лаборатории СУЗ Заместитель начальника цеха ТАИ Начальник цеха ТАИ
7.	Специалист в области учета и контроля ядерных материалов в области атомной энергетики	Инженер	Ведущий инженер Руководитель службы учета и контроля ядерных материалов

Таким образом, на основании изложенного выше, можно сделать вывод о том, что на этапе внедрения профессиональных стандартов в атомной отрасли в условиях отсутствия новых образовательных стандартов, учитывающих требования данных стандартов, образовательным организациям очень важно, повторяя слова В.В. Карезина, обеспечить «взаимодействие трех сторон: студент, университет и будущий работодатель». Это возможно при системном решении следующих задач:

- корректировке, при непосредственном участии профильных работодателей, образовательных программ для их соответствия актуальным условиям рынка труда;
- анализе потребностей отраслевых предприятий в выпускниках родственных в рамках одной УГНС направлений подготовки (специальностей);
- обоснованном заказе контрольных цифр приема по уровням обучения (бакалавр, специалист, магистр) в соответствии с потребностями отраслевых предприятий;
- проектировании образовательных программ повышения квалификации и переподготовки кадров, обеспечивающих возможность относительно оперативного переобучения специалистов родственных направлений подготовки (специальностей), в том числе для предоставления возможности карьерного роста.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко, В.А. и др. К вопросу о современных требованиях к разработке новых профессиональных стандартов в атомной отрасли [Текст] / В.А. Руденко, С.А. Томилини, А.Г. Федотов и др. // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2014. – №2(24). – С. 3–6.
2. Руденко, В.А. и др. Разработка профессионального стандарта для специалистов по обслуживанию и ремонту механического оборудования АЭС [Текст] / В.А. Руденко, С.А. Томилини, А.Г. Федотов, В.Г. Бекетов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №1(10). – С. 68–72.
3. Разработка Профессиональных стандартов предприятий атомной энергетики, промышленности и науки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://srrosatom.ru/node/1281> – 21.09.2016.
4. Введение профессиональных стандартов: что требуется от кадровика? [Электронный ресурс].

- Режим доступа: URL: <http://totpp.ru/ru/publications/zhurnal-delovoj-tambov/?page=detail&code=141208> – 21.09.2016.
5. Федеральный закон «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://pravo.gov.ru> – 21.09.2016.
  6. Профстандарты Росатома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://srrosatom.ru/sites/default/files> – 21.09.2016.
  7. Приказ Минтруда России №147н от 12 апреля 2013 г. «Об утверждении Макета профессионального стандарта» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/47> – 21.09.2016.
  8. Приказ Минтруда России №170н от 29 апреля 2013 г. «Об утверждении методических рекомендаций по разработке профессионального стандарта». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profst/METHOD.pdf> – 21.09.2016.
  9. Общероссийский классификатор специальностей по образованию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://classifikators.ru/okso> – 21.09.2016.
  10. Об установлении соответствий при утверждении новых перечней профессий, специальностей и направлений подготовки указанным в предыдущих перечнях профессий, специальностей и направлений подготовки. Письмо Министерства образования и науки Российской Федерации от 24 июня 2014 г. № АК-1666/05. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://минобрнауки.рф/документы/4266> – 21.09.2016.
  11. О Федеральной целевой программе развития образования на 2016–2020 годы. Постановление правительства от 23 мая 2015 г. №497 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://government.ru/docs/18268/> – 21.09.2016.

## REFERENCES

- [1] Rudenko V.A., Tomilin S.A., Fedotov A.G. K voprosu o sovremennykh trebovaniyakh k razrabotke novykh professionalnykh standartov v atomnoy otrasli [Question of modern requirements to development of new professional standards in nuclear industry]. Novyy universitet. Seriya: Tekhnicheskie nauki [New university. Series: Technical science.], 2014, №2(24), ISSN 2221-9552, pp. 3–6. (in Russian)
- [2] Rudenko V.A. Tomilin S.A., Fedotov A.G. , Beketov V.G. Razrabotka professionalnogo standarta dlya spetsialistov po obsluzhivaniyu i remontu mekhanicheskogo oborudovaniya AES [Professional Standard Design for Specialists of Service and Repair of NPP Mechanical Equipment]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2014, №1(10), ISSN 2305-414X, pp. 68–72. (in Russian)
- [3] Razrabotka Professionalnykh standartov predpriyatiy atomnoy energetiki, promyshlennosti i nauki [Development of Professional standards of the enterprises of nuclear power, industry and science]. Available at: <http://srrosatom.ru/node/1281> (in Russian)
- [4] Vvedenie professionalnykh standartov: chto trebuetsya ot kadrovika? [Introduction of professional standards: what is required from the personnel officer?]. Available at: <http://totpp.ru/ru/publications/zhurnal-delovoj-tambov/?page=detail&code=141208> (in Russian)
- [5] Federalnyy zakon «O vnesenii izmeneniy v Trudovoy kodeks Rossiyskoy Federatsii i stati 11 i 73 Federalnogo zakona "Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii" [The federal law "About introduction of amendments to the Labor Code of the Russian Federation and articles 11 and 73 of the Federal law "About Education in the Russian Federation"]. Available at: <http://pravo.gov.ru> (in Russian)
- [6] Profstandarty Rosatoma [Professional standards of Rosatom]. Available at: <http://srrosatom.ru/sites/default/files> (in Russian)
- [7] Prikaz Mintruda Rossii №147n ot 12 aprelya 2013 g. «Ob utverzhenii Maketa professionalnogo standarta» [The order of Ministry of Labor of Russia № 147n of April 12, 2013. "About the statement of the Model of the professional standard"]. Available at: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/47> (in Russian)
- [8] Prikaz Mintruda Rossii №170n ot 29 aprelya 2013 g. «Ob utverzhenii metodicheskikh rekomendatsiy po razrabotke professionalnogo standarta» [The order of Ministry of Labor of Russia № 170n of April 29, 2013. "About the approval of methodical recommendations about development of the professional standard"]. Available at: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profst/METHOD.pdf> (in Russian)
- [9] Obshcherossiyskiy klassifikator spetsial'nostey po obrazovaniyu [All-Russian qualifier of specialties by training]. Available at: <http://classifikators.ru/okso> (in Russian)

- [10] Ob ustanovlenii sootvetstviy pri utverzhdenii novykh perechnykh professiy, spetsialnostey i napravleniy podgotovki ukazannym v predydushchikh perechnykh professiy, spetsialnostey i napravleniy podgotovki. Pismo Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 24 iyunya 2014 g. № AK-1666/05 [About establishment of compliances at the approval of new lists of professions, specialties and the directions of preparation specified in the previous lists of professions, specialties and the directions of preparation. Letter of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of June 24, 2014 № AK-1666/05.]. Available at: <http://minobrnauki.rf/dokumenty/4266> (in Russian)
- [11] O Federalnoy tselevoy programme razvitiya obrazovaniya na 2016-2020 gody. Postanovlenie pravitelstva ot 23 maya 2015 g. №497 [About the Federal target program of development of education for 2016-2020. The government resolution of May 23, 2015 № 497]. Available at: <http://government.ru/docs/18268/> (in Russian)

## Main Problems of Specialist Training for the Nuclear Industry in the Professional Standard Implementation

V.A. Rudenko, S.A. Tomilin, N.P. Vasilenko

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Lenin St. 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360  
e-mail: viti@mephi.ru*

**Abstract** – Today urgent is a question of providing nuclear power by highly qualified specialists capable quickly and accurately to solve the arising production problems. Extremely high degree of responsibility of workers employed in this industry defines the special requirements for training and qualification for personnel. However, there were no modern normative documents that contain clearly defined qualification requirements for each employee skill level by separately taken activity, necessary knowledge and skills for specific job functions for a long time. The introduction of professional standards should resolve this contradiction.

The work presents the main problems of vocational training organization of workers in the nuclear industry during the implementation of professional standards. They are caused, first of all, by lack of the new educational standards considering requirements of professional standards. Furthermore, the requirements of professional education standards given in accordance with “All-Russian qualifier of specialties by training”, which causes a number of difficulties. The work suggests some ways to smooth the presented problems.

*Keywords:* nuclear industry, professional standards, specialist training.

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

УДК 343

**ФОРМИРОВАНИЕ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
УГОЛОВНОГО КОДЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 1996 г.  
В СФЕРЕ ПРАВОВОЙ ОХРАНЫ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
И РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ**

© 2016 Е.А. Брагина

*Волгодонский институт экономики, управления и права (филиал) «Южного федерального университета», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

Статья посвящена вопросам формирования уголовно-правовой охране ядерной и радиационной безопасности России по действующему законодательству. В работе проводится анализ событий и фактов, оказавших влияние на формирование положений УК РФ 1996 г., устанавливающих уголовную ответственность за преступления в сфере ядерной и радиационной безопасности. Основное внимание в исследовании акцентируется на пробелах понятийного аппарата данных составов преступлений.

*Ключевые слова:* источники ионизирующего излучения, оружие массового поражения, понятийный аппарат, радиоактивные вещества, радиоактивные материалы, УК РФ 1996 г., уголовная ответственность, ядерная и радиационная безопасность, ядерное право.

Поступила в редакцию 15.09.2016 г.

Первую и вторую половины прошлого столетия можно назвать весьма непростым, переломным, в чем-то противоречивым, но вместе с тем и весьма результативным периодом в истории нашей страны.

Постоянно меняющиеся в начале XX века политические настроения, гражданские войны, борьба за власть и мировое лидерство, оставленные второй мировой войной и захватническими действиями фашистской Германии, голод, разруха и полное истощение страны не помешали СССР уже к середине XX века добиться колоссальных успехов и результатов, практически, во всех отраслях науки, техники и промышленности.

Новые орудия, средства производства и невиданные ранее по своей мощи источники энергии ознаменовали собой полномасштабное вступление СССР в научно-техническую революцию, которая вместе с трудовым энтузиазмом масс уверенно вели страну к новым горизонтам.

К концу XX века СССР начал терять ранее завоеванные позиции. Достижения научно-технического прогресса внедрялись крайне слабо. Несмотря на все усилия, действующая административно-командная модель экономики отвергала новейшие технические разработки и не могла эффективно работать в условиях научно-технической революции.

Сложившаяся ситуация, проводимая СССР внутригосударственная и мировая политика требовали существенных социальных и экономических обновлений, выработки новых приоритетов и векторов развития страны. В результате чего, с середины 80-х годов ещё в СССР и, особенно в начале 90-х годов уже в обновленной

России, начали происходить масштабнейшие изменения.

Данные нововведения затронули практически все сферы социальной, экономической, политической жизни страны и общества в целом. Они готовились и протекали чрезвычайно спешно, ввиду чего носили неоднозначный, а в ряде случаев, весьма противоречивый характер, что порой приводило к крайне негативным последствиям, одним из которых, стал распад СССР.

Стихийное перерождение сложившейся государственной системы СССР, попытки перехода к рыночной модели экономики кардинально поменяли уклад жизни граждан Союза. С каждым днём становилось всё очевидней, что основная масса действующих на тот период времени законов, включая Конституцию СССР 1978 года, отражавшие идеологию и политику прошлого, дореформенного советского периода устарели. Обновленная страна и её далеко идущие планы требовали создания новой правовой базы, которая могла бы должным образом регулировать все существующие и вновь возникающие в РФ частные и публичные правоотношения.

Формирование нового законодательства было давно назревшей и необходимой мерой. К тому моменту правовая система СССР накопила немало проблем. В силу многочисленных некорректно внесенных изменений и дополнений, вызванных стихийно меняющимися тенденциями «перестройки» большинство правовых документов потеряли свою целостность и систематизированность. Однако главной проблемой стало отсутствие соответствия действующих нормативных актов целям и задачам, стоящим перед Россией, на новом этапе её развития.

Первым шагом в этом направлении стало принятие 12.12.1993 года на всенародном референдуме основного закона страны – Конституции РФ [1]. Принятие Конституции 1993 года повлекло за собой практически полное обновление правовой системы РФ, которое затянулось почти на два десятилетия.

Советом Федерации Федерального Собрания был одобрен ряд важнейших Федеральных конституционных законов (далее – ФКЗ): ФКЗ от 21.07.1994 № 1-ФКЗ «О Конституционном Суде Российской Федерации» [2], ФКЗ от 28.04.1995 № 1-ФКЗ «Об арбитражных судах в Российской Федерации» [3], ФКЗ от 31.12.1996 № 1-ФКЗ «О судебной системе Российской Федерации» [4] и иные.

21.10.1994 года Государственной Думой Федерального Собрания РФ (далее – ГД ФС РФ) был принят Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) [5]. 08.12.1995 года принимается Семейный кодекс РФ [6], 22.12.1995 года – Гражданский кодекс РФ (часть вторая) [7], 18.12.1996 года – Уголовно-исполнительный кодекс РФ [9], 19.02.1997 года – Воздушный кодекс [10], 16.07.1998 года – Налоговый кодекс РФ (часть первая) [11] и многие другие.

В кардинальном обновлении нуждался и Уголовный кодекс РСФСР 1960 года (далее – УК РСФСР 1960 г.) [22]. Осознавая подобную назревшую необходимость, ГД ФС РФ 24.05.1996 года был принят четвертый в истории нашей страны Уголовный кодекс РФ 1996 года (далее – УК РФ, УК 1996 г., Уголовный кодекс, Кодекс) [8].

Несомненно, по сравнению с предыдущим, новый УК РФ является более удачным. Он состоит из XII разделов, включающих в себя 34 главы, объединяющих более двухсот пятидесяти составов деяний, запрещенных под угрозой наказания.

Введенный в действие с 01.01.1997 года, он в значительной мере восполнил пробелы и недостатки предыдущего УК РСФСР 1960 года, в большей степени отвечая задачам построения нового государственного и общественного строя РФ.

УК РФ 1996 года был отмечен рядом новелл. Предметно это выразилось в изменении приоритетов уголовно-правовой охраны. На первое место в соответствии с положениями новой Конституции РФ и существующей в демократических государствах иерархии социальных ценностей была поставлена защита личности,

законных прав, свобод и интересов граждан, а не государства.

Впервые в УК РФ были закреплены принципы уголовного законодательства. Должное внимание уделено вопросам ответственности несовершеннолетних. По-иному зазвучало определение преступления, были выведены их категории и т.д.

Не обошли своим вниманием положения УК РФ 1996 года и столь актуальную для современного постиндустриального общества сферу правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты страны.

Во многом продолжая начинания УК РСФСР 1960 года в сфере правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты, новый УК РФ значительно расширил перечень деяний запрещенных под угрозой наказания в исследуемой сфере правоотношений, охватив их качественно новые области.

Первая редакция УК РФ включала в себя десять квалифицированных составов Особенной части (ст. 188; ст. 215; ст. 220; ст. 221; ч. 2 ст. 225; ч. 2 ст. 226; ст. 247; ст. 349; ст. 355; ст. 356), затрагивающих правовое регулирование указанной сферы правоотношений, и одну статью (ст. 63), получившую своё закрепление среди норм Общей части УК 1996 года.

Так, в п. «к» ч. 1 ст. 63 УК РФ «Обстоятельства, отягчающие наказание» в качестве одного из таких обстоятельств указывалось совершение преступления с использованием радиоактивных веществ.

Части 2, 3 и 4 статьи 188 УК РФ «Контрабанда» закрепили ответственность за перемещение через таможенную границу РФ, в числе прочего, радиоактивных веществ, ядерного оружия, материалов и оборудования, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения, и в отношении которых установлены специальные правила перемещения через таможенную границу РФ, связанное с сокрытием от таможенного контроля либо с обманным использованием документов или средств таможенной идентификации либо сопряженное с недекларированием или недостоверным декларированием.

Положения ст. 215 УК РФ «Нарушение правил безопасности на объектах атомной энергетики» установили запрет на нарушение правил безопасности при размещении, проектировании, строительстве и эксплуатации объектов атомной энергетики, повлекшее или способное повлечь смерть человека или радиоактивное заражение окружающей среды.

Статья 220 УК РФ «Незаконное обращение с радиоактивными материалами» ввела ответственность за незаконное приобретение, хранение, использование, передачу или разрушение радиоактивных материалов.

Положения ст. 221 УК РФ запретили под угрозой наказания хищение либо вымогательство радиоактивных материалов.

Часть 2 ст. 225 УК РФ «Ненадлежащее исполнение обязанностей по охране оружия, боеприпасов, взрывчатых веществ и взрывных устройств» установила ответственность за ненадлежащее исполнение обязанностей по охране ядерного оружия и материалов, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения.

Диспозиция части 2 ст. 226 УК РФ «Хищение либо вымогательство оружия, боеприпасов, взрывчатых веществ и взрывных устройств» запретила хищение либо вымогательство ядерного оружия, а равно материалов и оборудования, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения.

Положениями ст. 247 УК РФ «Нарушение правил обращения экологически опасных веществ» была введена ответственность за производство запрещенных видов опасных отходов, транспортировку, хранение, захоронение, использование или иное обращение в числе прочего радиоактивных веществ и отходов с нарушением

установленных правил.

Статья 349 УК РФ «Нарушение правил обращения с оружием и предметами, представляющими повышенную опасность для окружающих» закрепила запрет на нарушение правил обращения с радиоактивными материалами и иными веществами и предметами, представляющими повышенную опасность для окружающих.

Диспозиция ст. 355 УК РФ «Производство или распространение оружия массового поражения» установила ответственность за производство, приобретение или сбыт химического, биологического, а также других видов оружия массового поражения, запрещенных международным договором РФ.

Последним составом, в данной группе явилась часть 2 ст. 356 УК РФ «Применение запрещенных средств и методов ведения войны», запретившая применение оружия массового поражения, запрещенного международным договором РФ.

Вполне очевидно, что по сравнению с ранее действовавшим УК РСФСР 1960 г. правовое регулирование уголовной охраны ядерной безопасности и радиационной защиты УК РФ 1996 г. явилось более детальным и качественным.

Положениями вышеуказанных статей УК РФ 1996 г. был сформирован новый понятийный аппарат исследуемой сферы правоотношений, который включил в себя восемь ключевых терминов: шесть из них были закреплены в качестве факультативных признаков составов противоправных деяний в сфере ядерной безопасности и радиационной защиты и два как квалифицирующие их признаки.

**Таблица 1.** – Терминологическая система сферы уголовно-правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты УК РФ 1996 г. (ред. № 1 от 13.06.1996 г.).

№	Принадлежность термина	Наименование термина	№ статьи УК РФ 1996 г.
1.	<i>факультативные признаки</i> (предмет преступления)	материалы, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения	ч. 2 ст. 225; ч. 2 ст. 226
2.		оружие массового поражения, запрещенное международным договором РФ	ст. 355; ч. 2 ст. 356
3.		радиоактивные вещества	п. «к» ч. 1 ст. 63; ч. 2, 3, 4 ст. 188; ч. 1, 2, 3 ст. 247
4.		радиоактивные материалы	ст. 220; ст. 221; ч. 1, 2, 3 ст. 349
5.		радиоактивные отходы	ч. 1, 2, 3 ст. 247
6.		ядерное оружие	ч. 2, 3, 4 ст. 188; ч. 2 ст. 255; ч. 2 ст. 226.
7.	<i>квалифицирующие признаки</i>	объекты атомной энергетики	ч. 1, ч. 2 ст. 215
8.		радиоактивное заражение	ч. 1, ч. 2 ст. 215

Однако, несмотря на все вышеизложенное, признать правовое регулирование УК 1996 г. сферы правовой охраны ядерной защиты и радиационной безопасности РФ должным и достаточным не представляется возможным.

Так же как и в УК РСФСР 1960 г. юридическая техника при формировании диспозиций большинства составов, запрещающих под угрозой наказания совершение противоправных деяний в исследуемой сфере, продолжала оставаться низкой.

Существенным недостатком указанных норм являлось отсутствие должной

терминологической идентичности используемых дефиниций в понятийном аппарате их формулировок, и как следствие этого – возможность ошибочного понимания и трактовки исследуемых положений Уголовного кодекса правоприменителем.

Принятый незадолго до введения в действие УК 1996 г. Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (далее – ФЗ «Об использовании атомной энергии») [12] для должного регулирования правовых отношений в сфере ядерной энергетики закрепил перечень объектов, относящихся к области исследуемых правовых отношений, в качестве которых в первой редакции вышеуказанного Федерального закона выступили такие дефиниции как: ядерная установка; радиационные источники; пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов; ядерные материалы; радиоактивные отходы и радиоактивные вещества.

Анализ вышеизложенных положений позволяет сделать вывод о том, что понятийный аппарат первой редакции УК 1996 г. выходил далеко за рамки легализованной ФЗ «Об использовании атомной энергии» терминологической системы.

**Таблица 2.** – Содержание терминологической системы законодательства РФ о ядерной защите и радиационной безопасности по состоянию на 10.02.1997 г. – 09.02.1999 г.

№	<i>Терминологическая система законодательства РФ о ядерной защите и радиационной безопасности</i>	
	ФЗ «Об использовании атомной энергии» (ред. № 1 от 10.02.1997)	УК РФ 1996 г. (ред. № 1 от 13.06.1996)
1.	–	материалы, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения
2.		объекты атомной энергетики
3.		оружие массового поражения, запрещенное международным договором
4.	пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов	–
5.	радиационные источники	
6.	--	радиоактивное заражение
7.	<i>радиоактивные вещества</i>	
8.	–	радиоактивные материалы
9.		ядерное оружие
10.	<i>радиоактивные отходы</i>	
11.	ядерные материалы	–
12.	ядерные установки	

Включивший в правовой и научный оборот широкий спектр понятий, затрагивающих сферу использования ядерной энергии, Уголовный кодекс (ред. № 1 от 13.06.1996 г.) не содержал ни одного примечания или разъяснения (как, например, это было сделано в положениях ст. ч. 1 ст. 223.2 УК РСФСР 1960 г.), должным образом закрепляющих или раскрывающих значение используемых терминов в описании исследуемой группы составов преступлений.

Становилось очевидным, что положения нового УК РФ нуждались в значительной доработке. Существовала острая необходимость внесения достаточного количества изменений и дополнений в УК 1996 года, для обеспечения должной уголовно-правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты России.

Одним из первых нормативно-правовых актов, нацеленных на устранение вышеуказанных проблем в исследуемой сфере правовых отношений, стал Федеральный закон от 09.02.1999 № 26-ФЗ «О внесении изменений и дополнений в Уголовный кодекс Российской Федерации» (далее – ФЗ от 09.02.1999 г.) [13].

В соответствии с положениями ст. 1 данного Федерального закона абз. 1 ч. 3 ст. 205 УК РФ после слов «иные тяжкие последствия,» был дополнен словами «а равно сопряжены с посягательством на объекты использования атомной энергии либо с использованием ядерных материалов, радиоактивных веществ или источников радиоактивного излучения,», в названиях и частях первых ст. 220 и 221 УК РФ слова «радиоактивные материалы» в соответствующих падежах были заменены словами «ядерные материалы или радиоактивные вещества» в соответствующих падежах.

Таким образом, положения ФЗ от 09.02.1999 г. дополнили терминологическую систему сферы уголовно-правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты УК РФ 1996 г. тремя новыми дефинициями: «объекты использования атомной энергии», «ядерные материалы» и «источники радиоактивного излучения».

Спустя два года в соответствии с положениями ст. 1 Федерального закона от 19.06.2001 № 84-ФЗ «О внесении изменений в статью 355 Уголовного кодекса Российской Федерации» [14] в новой редакции была изложена ст. 355 УК РФ. Объективная сторона указанного противоправного деяния была дополнена понятиями «разработка» и «накопление»; а название – терминами «разработка», «накопление» и «сбыт».

14.05.2002 года в законную силу вступили сразу два нормативно-правовых акта, основной целью которых было внесение соответствующих поправок в отдельные положения УК 1996 г., а именно: Федеральный закон от 07.05.2002 № 48-ФЗ «О внесении изменений в статьи 225 и 226 Уголовного кодекса Российской Федерации» (далее – ФЗ «О внесении изменений в ст. 225 и 226») [15] и Федеральный закон от 07.05.2002 № 50-ФЗ «О внесении изменений в статьи 188 и 189 Уголовного кодекса Российской Федерации» (далее – ФЗ «О внесении изменений в ст. 188 и 189») [16].

Внесенные ст. 1 ФЗ «О внесении изменений в ст. 225 и 226» в части 2 одноименных положений УК РФ поправки были сведены к усечению одного из видов оружия массового поражения (биологического), изначально закрепленного в качестве специального предмета рассматриваемых противоправных деяний, запрещенных УК РФ под угрозой наказания.

Положения ФЗ «О внесении изменений в ст. 188 и 189» значительно расширили сферу применения норм Кодекса в рамках уголовной охраны ядерной безопасности и радиационной защиты и сделали ее правовое регулирование более детальным и качественным.

Закрепленная изначально в ч. 2 ст. 188 УК РФ группа факультативных признаков была дополнена такими понятиями как: радиационные источники, ядерные материалы и средства доставки оружия массового поражения; указанные в статье виды оружия массового поражения (ядерное, химическое, биологическое и другие) заменены единым термином – «оружие массового поражения».

С учетом внесенных изменений и дополнений по-иному стало звучать название ст. 189 УК РФ: «Незаконные экспорт или передача сырья, материалов, оборудования, технологий, научно - технической информации, незаконное выполнение работ (оказание услуг), которые могут быть использованы при создании оружия массового

поражения, вооружения и военной техники». Объективная сторона рассматриваемого противоправного деяния была дополнена тремя новыми самостоятельными формами, выразившимися в:

а) передаче лицом, наделенным правом осуществлять внешнеэкономическую деятельность, иностранной организации или её представителю сырья, материалов, оборудования, технологий и научно - технической информации;

б) незаконном выполнении этим лицом работ для иностранной организации или ее представителя;

в) незаконном оказании услуг иностранной организации или ее представителю, которые заведомо для указанного лица могут быть использованы при создании вооружения и военной техники и в отношении которых установлен экспортный контроль (при отсутствии признаков преступлений, предусмотренных ст. 188 и 275 УК РФ).

Немалое количество изменений и дополнений были внесены в положения УК РФ, затрагивающие сферу уголовно-правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты, Федеральным законом от 08.12.2003 № 162-ФЗ «О внесении изменений и дополнений в Уголовный кодекс Российской Федерации» (далее – ФЗ от 08.12.2003 г.) [17].

Указанные поправки коснулись восьми составов противоправных деяний (ст. 188, 189, 215, 220, 221, 225, 226 и 247), запрещенных УК РФ под угрозой наказания, однако для устранения имеющихся в терминологической системе Кодекса проблем в сфере охраны ядерной безопасности и радиационной защиты ФЗ от 08.12.2003 г. ценности не представил. Основной акцент в них был сделан на изменение и дополнение санкций указанных составов Кодекса. Кроме того, в ч. 2 ст. 189 слова «неоднократно или» и слова «от двух» были исключены. В п. «б» ч. 3 ст. 221 и п. «б» ч. 4 ст. 226 УК РФ был уточнен синтаксис – вместо формулировки «насилия; - » появилась формулировка: «насилия, - ». Положения п. «б» ч. 2 и «в» ч. 3, примечание ст. 221, п. «б» ч. 3 и п. «в» ч. 4 ст. 226 УК РФ утратили свою юридическую силу.

Спустя полгода в соответствии с положениями Федеральных законов от 21.07.2004 № 73-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации» [18] и № 74-ФЗ «О внесении изменений в статьи 57 и 205 Уголовного кодекса Российской Федерации» [19] была подготовлена очередная, уже 25 по счету редакция УК РФ, которая также как и предыдущая не смогла должным образом устранить имеющиеся в терминологической системе исследуемой сферы проблемы и недостатки.

Сдвинуть с мертвой точки решение вопроса, касающегося обеспечения должным терминологическим набором дефиниций понятийного аппарата сферы уголовно-правовой охраны ядерной защиты и радиационной безопасности РФ в определенной степени удалось только со вступлением в силу Федерального закона от 30.12.2008 №321-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам противодействия терроризму» (далее – ФЗ от 30.12.2008 г.) [20].

Выше указанным Федеральным законом были затронуты положения ст. 205 УК РФ, в результате чего в новом виде была представлена объективная сторона вышеуказанного противоправного деяния, которая стала включать в себя одну видоизмененную и две новые самостоятельные формы, выразившиеся в совершении взрыва, поджога или иных действий, создающих опасность гибели людей, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных общественно опасных последствий, если эти действия совершены в целях нарушения общественной безопасности, устрашения населения либо оказания воздействия на принятие решений

органами власти, а также угроза совершения указанных действий в тех же целях. При этом в диспозиции особо квалифицированного состава терроризма (ч. 3 ст. 205 УК РФ) определяя данные действия как противоправные, законодатель указал на их совершение, связанное с посягательством на объекты использования атомной энергии либо с использованием ядерных материалов, радиоактивных веществ или источников радиоактивного излучения либо ядовитых, отравляющих, токсичных, опасных химических или биологических веществ.

Одним из последних нормативно-правовых актов, оказавших довольно значимое влияние на объем и содержание правового регулирования сферы уголовно-правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты стал Федеральный закон от 07.12.2011 № 420-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее – ФЗ о внесении изменений № 420) [21].

Пунктом 107 выше указанного федерального закона ст. 188 УК РФ, устанавливающая под угрозой наказания в ч. 2 запрет за перемещение через таможенную границу РФ в числе прочего радиоактивных веществ, радиационных источников, ядерных материалов, оружия массового поражения, материалов и оборудования, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения, в отношении которых установлены специальные правила перемещения через таможенную границу Российской Федерации, связанное с сокрытием от таможенного контроля либо с обманным использованием документов или средств таможенной идентификации либо сопряженное с недекларированием или недостоверным декларированием была признана полностью утратившей свою юридическую силу.

Вполне очевидно, что столь важная сфера общественных отношений как применение внутренней энергии атомных ядер в мирных и оборонных целях, а тем более перемещение через государственную границу РФ объектов использования атомной энергии, представляющих собой источник повышенной опасности, не утратила своей значимости и не могла оставаться без должного правового регулирования, в связи с чем ФЗ о внесении изменений № 420, наряду с положениями о признании ст. 188 утратившей силу, на основании п. 144 дополнил положения УК РФ ст. 226.1 «Контрабанда сильнодействующих, ядовитых, отравляющих, взрывчатых, радиоактивных веществ, радиационных источников, ядерных материалов, огнестрельного оружия или его основных частей, взрывных устройств, боеприпасов, оружия массового поражения, средств его доставки, иного вооружения, иной военной техники, а также материалов и оборудования, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения, средств его доставки, иного вооружения, иной военной техники, а равно стратегически важных товаров и ресурсов или культурных ценностей».

Первая редакция статьи 226.1 УК РФ включила в себя три части, а закрепленные положения, направленные на обеспечение ядерной безопасности и радиационной защиты во многом продублировали положения, закрепленные в ранее действовавшей ч. 2 ст. 188 УК РФ. Отличительной особенностью указанного квалифицированного состава противоправного деяния стало лишь то, что объективная сторона стала выражаться в запрете незаконного перемещения предметов указанного состава преступления через таможенную границу Таможенного союза в рамках ЕврАзЭС либо Государственную границу Российской Федерации с государствами – членами Таможенного союза в рамках ЕврАзЭС.

С учетом всех внесенных в Уголовный кодекс РФ за последние девятнадцать лет изменений и дополнений, терминологическую систему сферы уголовно-правовой

охраны ядерной безопасности и радиационной защиты Российской Федерации можно представить в следующем виде (см. Таблицу 3).

**Таблица 3.** – Сравнительная таблица терминологических систем законодательства РФ о ядерной защите и радиационной безопасности по состоянию на 1.10.2016 г.

№	Терминологическая система законодательства РФ о ядерной защите и радиационной безопасности	
	ФЗ «Об использовании атомной энергии» (ред. № 22 от 02.07.2013)	УК РФ 1996 г. (ред. № 145 от 13.07.2015)
1.	–	материалы, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения
2.		объекты атомной энергетики
3.		оружие массового поражения, запрещенное международным договором
4.	пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов	–
5.	<u>радиационные источники</u>	
6.	--	радиоактивное заражение
7.	<u>радиоактивные вещества</u>	
8.	–	радиоактивные материалы
9.		ядерное оружие
10.	<u>радиоактивные отходы</u>	
11.	<u>ядерные материалы</u>	
12.	ядерные установки	–
13.		источники радиоактивного излучения

Становится вполне очевидно, что юридическая техника терминологической системы сферы уголовно-правовой охраны ядерной безопасности и радиационной защиты на сегодняшний день продолжает оставаться крайне низкой. Несмотря на внесение в УК РФ столь значимых изменений и дополнений, признать регулирование исследуемой сферы правоотношений должным, не представляется возможным.

Большинство терминов, относящихся к факультативным и квалифицирующим признакам деяний, запрещенных УК 1996 г. под угрозой наказания по-прежнему не входят в перечень объектов использования атомной энергии, закрепленных в ст. 3 ФЗ «Об использовании атомной энергии» и существуют только в рамках Кодекса, что может привести не только к сложностям, но и к невозможности квалификации совершенного в сфере использования внутренней энергии атомных ядер в мирных и оборонных целях деяния как противоправного.

Таким образом, терминологическая система сферы уголовно-правовой охраны ядерной защиты и радиационной безопасности РФ требует существенных доработок и приведения к единому знаменателю путем унификации, систематизации и стандартизации не только с внутригосударственными, но и с международными нормативно-правовыми актами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) [Текст] // Собрание законодательства РФ, 26.01.2009, № 4, ст. 445.
2. Федеральный конституционный закон от 21.07.1994 № 1-ФКЗ «О Конституционном Суде Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 25.07.1994, № 13, ст. 1447.
3. Федеральный конституционный закон от 28.04.1995 № 1-ФКЗ «Об арбитражных судах в Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 01.05.1995, № 18, ст. 1589.
4. Федеральный конституционный закон от 31.12.1996 № 1-ФКЗ «О судебной системе Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 06.01.1997, № 1, ст. 1.
5. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30.11.1994 № 51-ФЗ [Текст] // Собрание законодательства РФ, 05.12.1994, № 32, ст. 3301.
6. Семейный кодекс Российской Федерации от 29.12.1995 № 223-ФЗ [Текст] // Собрание законодательства РФ, 01.01.1996, № 1, ст. 16.
7. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 № 14-ФЗ [Текст] // Собрание законодательства РФ, 29.01.1996, № 5, ст. 410.
8. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ [Текст] // Собрание законодательства РФ, 17.06.1996, № 25, ст. 2954.
9. Уголовно-исполнительный кодекс Российской Федерации от 08.01.1997 № 1-ФЗ [Текст] // Собрание законодательства РФ, 13.01.1997, № 2, ст. 198.
10. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ [Текст] // Собрание законодательства РФ, 24.03.1997, № 12, ст. 1383.
11. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть первая) от 31.07.1998 № 146-ФЗ [Текст] // Собрание законодательства РФ, № 31, 03.08.1998, ст. 3824.
12. Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 27.11.1995, № 48, ст. 4552.
13. Федеральный закон от 09.02.1999 № 26-ФЗ «О внесении изменений и дополнения в Уголовный кодекс Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 15.02.1999, № 7, ст. 873.
14. Федеральный закон от 19.06.2001 № 84-ФЗ «О внесении изменений в статью 355 Уголовного кодекса Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 25.06.2001, № 26, ст. 2588.
15. Федеральный закон от 07.05.2002 № 48-ФЗ «О внесении изменений в статьи 225 и 226 Уголовного кодекса Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 13.05.2002, № 19, ст. 1793.
16. Федеральный закон от 07.05.2002 № 50-ФЗ «О внесении изменений в статьи 188 и 189 Уголовного кодекса Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 13.05.2002, № 19, ст. 1795.
17. Федеральный закон от 08.12.2003 № 162-ФЗ «О внесении изменений и дополнений в Уголовный кодекс Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 15.12.2003, № 50, ст. 4848.
18. Федеральный закон от 21.07.2004 № 73-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 26.07.2004, № 30, ст. 3091.
19. Федеральный закон от 21.07.2004 № 74-ФЗ «О внесении изменений в статьи 57 и 205 Уголовного кодекса Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 26.07.2004, № 30, ст. 3092.
20. Федеральный закон от 30.12.2008 № 321-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам противодействия терроризму» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 05.01.2009, № 1, ст. 29.
21. Федеральный закон от 07.12.2011 № 420-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Текст] // Собрание законодательства РФ, 12.12.2011, № 50, ст. 7362.

REFERENCES

- [1] Konstituciya Rossijskoj Federacii (prinyata vsenarodnym golosovaniem 12.12.1993) [The constitution of the Russian Federation (it is accepted by national vote 12.12.1993)]. Sbornik zakonodatelstva RF, 26.01.2009, №4, st. 445. [Collection of the Russian Federation legislation 26.01.2009, №4, article 445] (in Russian)
- [2] Federalnyj konstitucionnyj zakon ot 21.07.1994 № 1-FKZ «O Konstitucionnom Sude Rossijskoj

- Federacii» [The federal constitutional law 7.21.1994 № 1-FCL "About the Constitutional Court of the Russian Federation"]. Sobranie zakonodatelstva RF, 25.07.1994, №13, st. 1447 [Collection of the Russian Federation legislation 25.07.1994, №13, article 1447]. (in Russian)
- [3] Federalnyj konstitucionnyj zakon ot 28.04.1995 № 1-FKZ «Ob arbitrazhnyx sudax v Rossijskoj Federacii» [The federal constitutional law 4.28.1995 № 1-FCL "About arbitration courts in the Russian Federation"]. Sobranie zakonodatelstva RF, 01.05.1995, №18, st. 1589. [Collection of the Russian Federation legislation 01.05.1995, №18, article 1589] (in Russian)
- [4] Federalnyj konstitucionnyj zakon ot 31.12.1996 № 1-FKZ «O sudebnoj sisteme Rossijskoj Federacii» [The federal constitutional law 12.31.1996 № 1-FCL "Judicial system of the Russian Federation"]. Sobranie zakonodatelstva RF, 06.01.1997, №1, st. 1. [Collection of the Russian Federation legislation 06.01.1997, №1, article 1.] (in Russian)
- [5] Grazhdanskij kodeks Rossijskoj Federacii (chast pervaya) ot 30.11.1994 № 51-FZ [The civil code of the Russian Federation (part one) 11.30.1994 № 51-FL]. Sobranie zakonodatelstva RF, 05.12.1994, № 32, st. 3301. [Collection of the Russian Federation legislation 05.12.1994, № 32, article 3301] (in Russian)
- [6] Semejnyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 29.12.1995 № 223-FZ [The family code of the Russian Federation 12.29.1995 № 223- FL]. Sobranie zakonodatelstva RF, 01.01.1996, №1, st. 16. [Collection of the Russian Federation legislation 01.01.1996, №1, article 16.] (in Russian)
- [7] Grazhdanskij kodeks Rossijskoj Federacii (chast vtoraya) ot 26.01.1996 № 14-FZ [The civil code of the Russian Federation (part second) 1.26.1996 № 14-FL]. Sobranie zakonodatelstva RF, 29.01.1996, №5, st. 410. [Collection of the Russian Federation legislation 29.01.1996, №5, article 410] (in Russian)
- [8] Ugolovnyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 13.06.1996 № 63-FZ [The Criminal Code of the Russian Federation 6.13.1996 № 63-FL]. Sobranie zakonodatelstva RF, 17.06.1996, №25, st. 2954. [Collection of the Russian Federation legislation 17.06.1996, №25, article 2954] (in Russian)
- [9] Ugolovno-ispolnitelnyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 08.01.1997 № 1-FZ [The Penal Code of the Russian Federation 1.8.1997 № 1-FL]. Sobranie zakonodatelstva RF, 13.01.1997, №2, st. 198. [Collection of the Russian Federation legislation 13.01.1997, №2, article 198] (in Russian)
- [10] Vozdushnyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 19.03.1997 № 60-FZ [The air code of the Russian Federation 3.19.1997 № 60-FL]. Sobranie zakonodatelstva RF, 24.03.1997, №12, st. 1383. [Collection of the Russian Federation legislation 24.03.1997, №12, article 1383] (in Russian)
- [11] Nalogovyj kodeks Rossijskoj Federacii (chast pervaya) ot 31.07.1998 № 146-FZ [The Tax Code of the Russian Federation (part one) 7.31.1998 № 146-FL]. Sobranie zakonodatelstva RF, № 31, 03.08.1998, st. 3824 [Collection of the Russian Federation legislation № 31, 03.08.1998, article 3824]. (in Russian)
- [12] Federalnyj zakon ot 21.11.1995 № 170-FZ «Ob ispolzovanii atomnoj energii» [The federal law 11.21.1995 № 170-FL "About use of atomic energy"]. Sobranie zakonodatelstva RF, 27.11.1995, №48, st. 4552. [Collection of the Russian Federation legislation 27.11.1995, №48, article 4552] (in Russian)
- [13] Federalnyj zakon ot 09.02.1999 № 26-FZ «O vnesenii izmenenij i dopolneniya v Ugolovnyj kodeks Rossijskoj Federacii» [The federal law 2.9.1999 № 26-FL "About modification and additions in the Russian Federation Criminal Code"]. Sobranie zakonodatelstva RF, 15.02.1999, №7, st. 873. [Collection of the Russian Federation legislation 15.02.1999, №7, article 873] (in Russian)
- [14] Federalnyj zakon ot 19.06.2001 № 84-FZ «O vnesenii izmenenij v statyu 355 Ugolovnogo kodeksa Rossijskoj Federacii» [The federal law 6.19.2001 № 84-FL "About introduction of amendments to article 355 of the Russian Federation Criminal Code"]. Sobranie zakonodatelstva RF, 25.06.2001, №26, st. 2588. [Collection of the Russian Federation legislation 25.06.2001, №26, article 2588] (in Russian)
- [15] Federalnyj zakon ot 07.05.2002 № 48-FZ «O vnesenii izmenenij v stati 225 i 226 Ugolovnogo kodeksa Rossijskoj Federacii» [The federal law 5.7.2002 № 48-FL "About introduction of amendments to articles 225 and 226 of the Russian Federation Criminal Code"]. Sobranie zakonodatelstva RF, 13.05.2002, №19, st. 1793. [Collection of the Russian Federation legislation 13.05.2002, №19, article 1793] (in Russian)
- [16] Federalnyj zakon ot 07.05.2002 № 50-FZ «O vnesenii izmenenij v stati 188 i 189 Ugolovnogo kodeksa Rossijskoj Federacii» [The federal law 5.7.2002 № 50-FL "About introduction of amendments to articles 188 and 189 of the Russian Federation Criminal Code"]. Sobranie zakonodatelstva RF, 13.05.2002, №19, st. 1795. [Collection of the Russian Federation legislation 13.05.2002, №19, article 1795] (in Russian)
- [17] Federalnyj zakon ot 08.12.2003 № 162-FZ «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v Ugolovnyj kodeks Rossijskoj Federacii» [The federal law 12.8.2003 № 162-FL "About modification and additions in

- the Russian Federation Criminal Code"]. *Sobranie zakonodatelstva RF*, 15.12.2003, №50, st. 4848. [Collection of the Russian Federation legislation 15.12.2003, №50, article 4848] (in Russian)
- [18] *Federalnyj zakon ot 21.07.2004 № 73-FZ «O vnesenii izmenenij v Ugolovnyj kodeks Rossijskoj Federacii»* [The federal law 7.21.2004 № 73-FL "About introduction of amendments to the Russian Federation Criminal Code"]. *Sobranie zakonodatelstva RF*, 26.07.2004, №30, st. 3091. [Collection of the Russian Federation legislation 26.07.2004, №30, article 3091] (in Russian)
- [19] *Federalnyj zakon ot 21.07.2004 № 74-FZ «O vnesenii izmenenij v stati 57 i 205 Ugolovno kodeksa Rossijskoj Federacii»* [The federal law 7.21.2004 № 74-FL "About introduction of amendments to articles 57 and 205 of the Russian Federation Criminal Code"]. *Sobranie zakonodatelstva RF*, 26.07.2004, №30, st. 3092. [Collection of the Russian Federation legislation 26.07.2004, №30, article 3092] (in Russian)
- [20] *Federalnyj zakon ot 30.12.2008 № 321-FZ «O vnesenii izmenenij v otdelnye zakonodatelnye akty Rossijskoj Federacii po voprosam protivodejstviya terrorizmu* [The federal law 12.30.2008 № 321-FL "About introduction of amendments to separate acts of the Russian Federation concerning counteraction to terrorism]. *Sobranie zakonodatelstva RF*, 05.01.2009, №1, st. 29. [Collection of the Russian Federation legislation 05.01.2009, №1, article 29] (in Russian)
- [21] *Federalnyj zakon ot 07.12.2011 № 420-FZ «O vnesenii izmenenij v Ugolovnyj kodeks Rossijskoj Federacii i otdelnye zakonodatelnye akty Rossijskoj Federacii»* [The federal law 12.7.2011 № 420-FL "About introduction of amendments to the Russian Federation Criminal Code and separate acts of the Russian Federation"]. *Sobranie zakonodatelstva RF*, 12.12.2011, №50, st. 7362. [Collection of the Russian Federation legislation 12.12.2011, №50, article 7362] (in Russian)

### **The Terminological System of the Russian Federation Criminal Code of 1996 in the Field of Nuclear and Radiation Safety Legal Protection**

**E.A. Bragina**

*Volgodonsk Institute of Economics, Management and Law Southern Federal University,  
Mira St., 47, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347383  
e-mail: advokat.bragina@mail.ru*

**Abstract** – In this paper we have the analysis of historical events and facts, effecting on formation of the Criminal Code provisions in 1996, which elaborate criminal responsibility for crimes in the field of nuclear and radiation safety. The focus of the research is devoted to the gaps in the conceptual apparatus of the offences.

*Keywords:* source of ionizing radiation, weapons of mass destruction, conceptual apparatus, radioactive substances, radioactive materials, the Russian Federation Criminal Code of 1996, criminal responsibility, nuclear and radiation safety, nuclear law.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Абидова Е.А.	74
Альмасри Х.Ф.	64
Бекетов В.Г.	57
Брагина Е.А.	88
Булава В.А.	74
Бурдаков С.М.	51
Василенко Н.П.	80
Гоок С.Э.	34
Граф Б.	34
Гуменюк А.В.	34
Елохин А.П.	7
Колоденкова А.Е.	43
Пугачёва О.Ю.	74
Ретмайер М.	34
Руденко В.А.	80
Симакова Н.А.	57
Соловьёв В.И.	74
Стародубцев И.А.	7
Сысоев Ю.С.	57
Томилин С.А.	80
Хегай Л.С.	74
Чернов А.В.	74

**AUTHOR INDEX OF VOL. 3, 2016**

Abidova E.A.	74
Almasri H.F.	64
Bekhetov V.G.	57
Bragina E.A.	88
Bulava V.A.	74
Burdakov S.M.	51
Chernov A.V.	74
Elokhin A.P.	7
Gook S.	34
Graf B.	34
Gumenyuk A.	34
Hegay L.S.	74
Kolodenkova A.E.	43
Pugachyova O.Yu.	74
Rethmeier M.	34
Rudenko V.A.	80
Simakova N.A.	57
Soloviev V.I.	74
Starodubtcev I.A.	7
Sysoev Yu.S.	57
Tomilin S.A.	80
Vasilenko N.P.	80

## 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.

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](mailto: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. ниже 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.

*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, МПК<sup>7</sup> 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, МКИ<sup>3</sup> 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://военноеправо.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](mailto:oni-viti@mephi.ru)

Тел.: 8(8639)222717.

**ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**2016, 3(20)**

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

Сдано в набор 22.09.2016 г.

Компьютерная верстка Вишнева М.М.

Подписано к печати 23.09.2016 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м<sup>2</sup>. Объем 13,2 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ