

ISSN 2305-414X

# ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



**Научно-практический журнал**

**№ 3 (8) 2013**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«МИФИ»

## ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 3(8) 2013

Основан в ноябре 2011 г.

Выходит 4 раза в год

Индекс по Каталогу российской прессы «Почта России» – 47155

ISSN 2305-414X

### Главный редактор:

М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор

### Редакционный совет:

М.Н. Стриханов, (главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф.),  
В.А. Руденко (заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф.),  
А.М. Агапов (д-р техн. наук, проф.), В.В. Кривин (д-р техн. наук, проф.),  
А.В. Паламарчук (к-т техн. наук), И.А. Бубликова (к-т техн. наук, доц.)

### Редакционная коллегия:

М.Н. Стриханов, (главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф.),  
В.А. Руденко (заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф.),  
А.М. Агапов (д-р техн. наук, проф.), А.В. Чернов (д-р техн. наук, проф.),  
Ю.И. Пимшин (д-р техн. наук, проф.), Ю.П. Муха (д-р техн. наук, проф.),  
В.В. Кривин (д-р техн. наук, проф.), В.И. Ратушный (д-р физ.-мат. наук, проф.),  
Ю.С. Сысоев (д-р физ.-мат. наук, проф.), А.В. Паламарчук (к-т техн. наук),  
В.Е. Шукшунов (д-р техн. наук, проф.), В.П. Поваров (к-т физ.-мат. наук),  
А.В. Жук (к-т ист. наук, доц.)

### Учредитель:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ»

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

Москва  
ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ

## СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2013

### ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Проведение альголизации водоема-охладителя и приплотинного участка Цимлянского водохранилища в 2012 году <i>М.С. Сальникова, О.И. Горская</i> .....	5
Расчетное моделирование работы и оценка эффективности системы пассивного теплоотвода гермообъема (СПОТ ГО) при тяжелых авариях на АЭС с ВВЭР-1000 <i>Х.М. Наффаа, Д.В. Шевелев, А.С. Балашевский</i> .....	9
Оценка экологической безопасности территории размещения Ростовской АЭС <i>Е.И. Шаврак, М.В. Гуляев, В.М. Сапельников</i> .....	19
Оценка экологического состояния вод в нижнем Дону на основе ферментативных показателей <i>О.И. Бейсуг</i> .....	26

### ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Применение метода многокритериальной оптимизации к исследованию механизма главного подъема полярного крана Балаковской АЭС <i>Н.М. Чернова, Р.А. Кобзев</i> .....	31
Особенности формирования высокоплотного материала при электроконтактном уплотнении порошковой бронзы <i>А.А. Мецлер, Ю.Ю. Медведев, С.А. Томилин, Т.А. Литвинова</i> .....	37
Предобработка данных для нейросети при классификации процесса сварки <i>М.Ю. Виниченко, В.В. Кривин, Е.А. Андреева, Л.А. Дрогозова, А.В. Шарана</i> .....	42

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС

Основные перспективные конфигурации активных зон новых поколений реакторов типа ВВЭР <i>И.А. Якубенко</i> .....	51
Выбор значений параметров технологического процесса демонтажа оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации <i>А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов</i> .....	60
Защита микропроцессорной аппаратуры и её цепей от внешних электромагнитных воздействий естественного и искусственного происхождения <i>О.В. Фоменко, А.В. Паиковский</i> .....	65

### СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС

Дистанционные и неконтактные технологии регистрации биопараметров оперативного персонала как средство управления человеческим фактором и повышения безопасности АЭС <i>М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, Л.О. Андрюшина, Л.В. Колобашкина, В.В. Пшенин</i> .....	69
Развитие внешнеэкономических отношений России на рынке ядерного топлива <i>Н.А. Ефименко, И.А. Ухалина</i> .....	78
К вопросу об актуализации действующих профессиональных стандартов <i>В.А. Руденко, Н.Н. Подрезов, Г.А. Доблер, Н.В. Абросимова</i> .....	82

### ДИСКУССИИ, СООБЩЕНИЯ

О природе волновой надежности и безопасности АЭС <i>В.Ф. Савельев, Н.В. Корнетова, А.В. Савельев</i> .....	86
Авторский указатель номера 3, 2013.....	90

Сдано в набор 08.10.2013 г.  
Усл. печ. л. 10,34  
Тираж 300 экз.

Подписано к печати 08.11.2013 г.  
Уч.-изд. л. 7,14

Формат 84 x 108/16  
Печ. л. 6,68

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ

## CONTENTS

Number 3, 2013

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

The Chlorella's Strain Introduction into a Cooling-pond and Left Bank of the Tsimlyansk Reservoir in 2012 <i>M.S. Salnikova, O.I. Gorskaya</i> .....	5
Modeling Calculation and Assessment of Effectiveness of Containment Heat Removal Passive System in Case of Severe Accident on NPP with WWER-1000 <i>Kh.M. Naffaa, D.V. Shevielov, A. S. Balashevskiy</i> .....	9
The Estimation of Ecological Security Rostov NPP's Territory <i>E.I. Shavrak, M.V. Gylaev, V.M. Sapelnikov</i> .....	19
Estimation of Ecological State of Water in the Lower Don on the Basis of Enzymatic Indicators <i>O. I. Beisug</i> .....	26

### SEARCH, PROJECTING, CONSTRUCTION AND ASSEMBLY OF NPP MANUFACTURING EQUIPMENT

Application of multicriterion optimization method in terms of research of the Balacovo Nuclear Power Plant main polar crane hoist <i>N.M. Chernova, R.A. Kobzev</i> .....	31
Highsolid Material Formation Peculiarities during Powder Bronze Electrocontact Compression <i>A.A. Metzler, Yu.Yu. Medvedev, S.A. Tomilin, T.A. Litvinova</i> .....	37
Neironetwork Data Preprocessing in Classifying the Welding Process <i>M.Y. Vinichenko, V.V. Krivin, E.A. Andreeva, L.A. Drogovozova, A.V. Sharapa</i> .....	42

### NPP EXPLOITATION

Fuel Cores Main Perspective Configuration of PWR-type New Generation <i>I.A. Jakubenko</i> .....	51
Parameters Meaning Selection of Equipment Desoldering Technological Process of Removed from Operation NPS-blocks <i>A.I. Berela, B.K. Bylkin, S.A. Tomilin, A.G. Fedotov</i> .....	60
Microprocessor Equipment and its Chains Protection against Natural and Artificial External Electromagnetic Influence <i>O.V. Fomenko, A.V. Pashkovskiy</i> .....	65

### SOCIO-LEGAL ASPECTS OF DEVELOPMENT OF NPP TERRITORIES

Distant and noncontact technologies for registration of operating personnel bio parameters as a mean of human factor control and NPP security improvement <i>M.V. Alyushin, A.V. Alyushin, L.O. Andryushina, L.V. Kolobashkina, V.V. Pshenin</i> .....	69
Development of External Economic Relations of Russia at Nuclear Fuel Market <i>N.A. Efimenko, I.A. Ukhalina</i> .....	78
To the Question of Actualization of Functioning Professional Standards <i>V.A. Roudenko, N.N. Podrezov, G.A. Dobler, N.V. Abrosimova</i> .....	82

### DISCUSSIONS, MESSAGES

About the nature of wave reliability and safety of nuclear power plant <i>V.F. Savelyev, N.V. Kornetova, A.V. Savelyev</i> .....	86
---	----

Author Index of vol. 3, 2013.....	90
-----------------------------------	----

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 543:504 (076.5)

**ПРОВЕДЕНИЕ АЛЬГОЛИЗАЦИИ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ  
И ПРИПЛОТННОГО УЧАСТКА  
ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2012 г.**

© 2013 г. М.С. Сальникова, О.И. Горская

*Ростовская атомная станция, Волгодонск-28, г. Волгодонск, Ростовская обл.*

Поступила в редакцию 10.09.2013 г.

Данная работа обобщает результаты гидробиологических исследований водоема-охладителя и прилегающей акватории Цимлянского водохранилища за период 2011–2012 гг. после проведения альголизации. В статье описан ряд альтернативных методов борьбы с цветением воды. Делается общий вывод относительно полученных результатов, изложены практические выводы.

*Ключевые слова:* Цимлянское водохранилище, водоем-охладитель, Ростовская атомная станция, хлорелла, диатомовые водоросли, зеленые водоросли, фитопланктон, аэрация, биохимические методы.

Проблема качества водной среды водоемов-охладителей представляет значительный интерес для энергетиков. Ухудшение качества вод может создать серьезные помехи в системе технического водоснабжения энергетического объекта. Следовательно, для обеспечения бесперебойной работы АЭС – ее нормального водоснабжения, необходимо обеспечить оптимальное для этой цели состояние экосистемы водоема-охладителя.

В свою очередь качество воды Цимлянского водохранилища, как основного источника подпитки водоема-охладителя, является неотъемлемым элементом в развитии экосистемы водоема-охладителя АЭС. Интенсивное размножение цианобактерий, приводящее к появлению феномена «цветения воды» является одной из актуальных проблем многих водоемов [1].

Приплотинный плес Цимлянского водохранилища, в зоне которого находится Ростовская АЭС, является наиболее интенсивно эвтрофицируемой зоной.

При массовом отмирании синезеленые водоросли выделяют ядовитые вещества – токсины, способствующие возникновению в водоеме условий гипоксии и гибели аэробных организмов, засоряют агрегаты береговой насосной станции (БНС), что удорожает и усложняет работу насосной станции и приводит к снижению качества воды, поступающей в водоем-охладитель и на водозабор для технологических процессов.

Существует ряд методов по борьбе с «цветением воды»:

✓ Химические методы

Эффективным методом борьбы с цветением воды служит использование калий-, олово-, медь- или хлорсодержащих химических веществ (альгицидов). Химические методы борьбы в ряде случаев дают хорошие результаты, но данные методы материальнозатратны и практически всегда их использование затрудняется требованиями природоохранных норм.

✓ Биохимические методы

К биохимическим методам относят мероприятия по вселению или расселению в водоеме организмов или биологических субстанций, которые выделяют в воду экзометаболиты, ингибирующие рост микроцистиса (экзометаболиты тысячелистника *Muticophyllum spicatum* и роголистника *Ceratophyllum demersum*).

✓ Биологические методы

Биологические методы включают в себя использование биопрепаратов и разведение животных-мелиораторов. Основной принцип работы данного метода – разрушение излишней органики в водоеме, присутствие которой способствует активному зарастанию. Известным биологическим способом подавления массового развития цианобактерий является вселение в водоем растительноядной рыбы белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* Val [1].

✓ Физические методы

Искусственная аэрация, которая повышает степень кислородного насыщения воды и усиливает деструкцию органических веществ. Способы аэрации подразделяются на три класса: гидромеханические, химико-физические и биологические.

✓ Механические методы

Выкос растительности.

На Ростовской АЭС в 2007–2008 гг. при софинансировании с Федеральным агентством водных ресурсов была проведена апробация биологического метода – альголизации по снижению степени «цветения» воды синезелеными водорослями в Цимлянском водохранилище и использование его для профилактики улучшения качества воды и обогащения кормовой базы в водоеме-охладителе Ростовской АЭС. Максимальная биомасса в 2007 г. наблюдалась в верховьях Цимлянского водохранилища, в 2008 г. таких участков уже не было зафиксировано [2].

В целом работы проводились по трем направлениям:

1) изучение динамики гидрохимического и гидробиологического режимов водохранилища, выделение зон очагового и распределенного поступления биогенных веществ (азота и фосфора) с водосборной территории;

2) вселение планктонного штамма *Chlorella vulgaris* в заливы Цимлянского водохранилища;

3) мониторинговое сопровождение вселения хлореллы по гидрохимическим и гидробиологическим показателям по обозначенным станциям наблюдения

В 2012 г. для снижения интенсивности развития возбудителей «цветения» воды – синезелёных водорослей, была использована ранее апробированная на Цимлянском водохранилище биотехнология – вселение штамма зелёной микроводоросли *Chlorella vulgaris* (альголизация). Культивирование штамма (альголизанта) проведено по патентным данным и технологическим инструкциям в лабораторных условиях. Используемый штамм наиболее активно проявляет себя как антагонист возбудителей «цветения» воды на начальных стадиях их планктонной фазы развития. В условиях Цимлянского водохранилища этот период обычно наблюдается с конца апреля по июнь [2].

Вселение штамма *Chlorella vulgaris* с концентрацией не менее 10 млн.кл/мл осуществлялось в наиболее продуктивных зонах Приплотинного плёса и в ковше насосной станции Ростовской АЭС.

В целях профилактики «цветения» воды в водоёме-охладителе в зоне поступления вод из Цимлянского водохранилища и в районе водозабора на агрегаты АЭС также была внесена суспензия штамма в тех же объёмах и в те же сроки.

Результаты исследований высшей водной растительности водных объектов РоАЭС в 2012г. показали, что качественный и количественный состав макрофитов по

сравнению с 2011г. почти не изменился. Степень зарастания водоема-охладителя (ВО) и отводящего канала определяли гелофиты: тростник южный, рогоз узколистый, рогоз Лаксмана. Гидрофиты как и в 2011 г. встречались редко. К ним относятся: роголистник погруженный, рдест гребенчатый рдест курчавый и т.д. Визуально площадь зарослей тростника в ВО и отводящем канале осталась примерно на прежнем уровне что и в 2011 г. – 0,24 км<sup>2</sup> [2].

На рисунке 1 видно, что за период наблюдений в 2012 г. основу фитопланктона составляли зелёные водоросли, удельный вес которых в структуре сообщества находился на уровне 48,3%. Несколько меньшим было значение диатомовых и синезеленых – по 22,2% соответственно. Остальные отделы представлены незначительным количеством видов, встречавшихся единично и не вносящих заметного вклада в численность и биомассу фитопланктона.

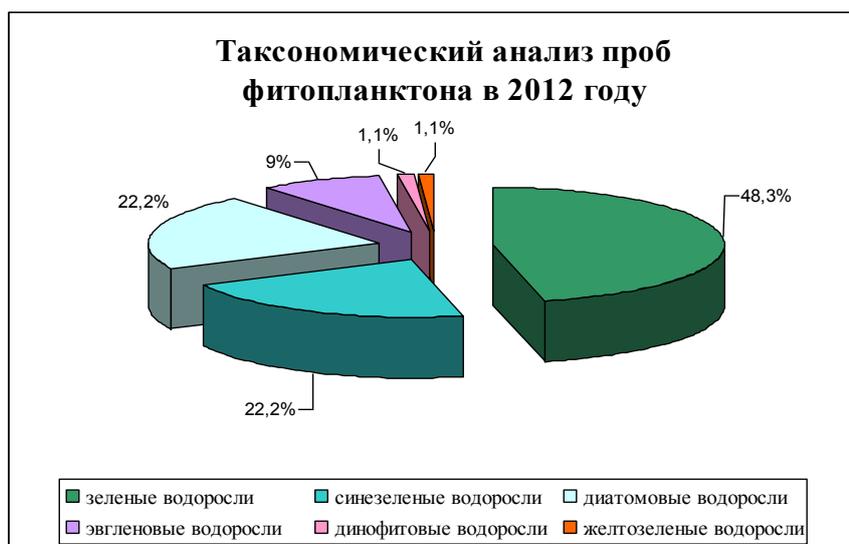


Рис. 1. Таксономический анализ проб фитопланктона в 2012 г.

Результаты альгомониторинга свидетельствуют о весьма умеренном развитии в Приплотинном плёсе Цимлянского водохранилища синезелёных водорослей. Минимальные масштабы «цветения» воды синезелёными водорослями в Приплотинном плёсе водохранилища в 2012 г. могут отражать результативность выполненных в этом году мероприятий по альголизации его акватории штаммом хлореллы, являющейся антагонистом традиционных возбудителей «цветения» воды [3].

Рекомендации по Приплотинному плёсу:

- 1) Учитывая результативность применяемой биотехнологии снижения интенсивности развития синезеленых водорослей и связанного с этим улучшения качества воды методом альголизации в 2007, 2008 и 2012 гг., следует рекомендовать его использование и в дальнейшем [2].
- 2) Выполнение альголизации необходимо сопровождать обязательным мониторингом индикаторных показателей состояния экосистемы водоема.
- 3) Для более эффективной борьбы с интенсивным развитием синезеленых водорослей целесообразно применение комплекса биомелиоративных методов, предполагающего комбинированное использование альголизации с зарыблением Цимлянского водохранилища растительноядными рыбами.
- 4) Наряду с биологическими методами при необходимости следует использовать и механические приемы: локальное изъятие иловых отложений, применение заградительных бонов, средств аэрации воды, сбор с поверхности воды

водорослевых масс специальными установками и пр.

Для поддержания и сохранения экологического благополучия в водоёме-охладителе Ростовской АЭС и ковше водозабора рекомендуется:

- 1) Для предотвращения возможного интенсивного развития синезелёных водорослей – возбудителей «цветения» воды, в целях обогащения кормовой базы гидробионтов и поддержания воды в пределах «чистые - слабозагрязненные», II и III класса качества необходимо ежегодное вселение штамма *Chlorella vulgaris* в районе поступления цимлянских вод и в зоне водозабора на агрегаты АЭС [2].
- 2) В целях снижения затрат на очистку цимлянской воды, поступающей в водоём-охладитель из ковша, в качестве мер по снижению уровня развития синезелёных в нем предполагается частичное изъятие донных отложений и их последующий вывоз, установку заградительных бонов в период ожидаемых нагонов синезелёных (август-сентябрь) и внесение подавляющего агента штамма хлореллы в течение вегетационного периода с обязательным контролем за степенью развития фитопланктона.
- 3) Ежегодно контролировать состояние водных сообществ в охладителе. Регулировать степень зарастания водоёма и удерживать её на уровне 10-15% от всей акватории с использованием рыб-биомелиораторов [1].

Проведение комплекса рекомендуемых оздоровительных мероприятий позволит улучшить качество среды обитания водных сообществ, снизить возможные биопомехи при эксплуатации водных объектов и повысить эффективность их хозяйственного использования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию [Текст] / А.Ф. Алимов. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 152 с.
2. Отчет о выполнении работ по договору № 108/12 от 16 января 2012 г. по теме «Проведение альголизации водоема-охладителя и приплотинного участка Цимлянского водохранилища с целью подавления биологических помех – предотвращения «цветения» водных объектов в 2012 году» [Текст]. – [Б.и.], 2012.
3. Богданов, Н.И. Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями [Текст] / Н.И. Богданов – 2-е изд., доп. и испр. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 75 с.

### **The Chlorella's Strain Introduction into a Cooling-pond and Left Bank of the Tsimlyansk Reservoir in 2012**

**M.S. Salnikova, O.I. Gorskaya**

*Rostov nuclear power plant, Volgodonsk-28, Rostov region Russia 347388,  
e-mail: admin@rosnpp.org.ru*

**Abstract** – This work summarizes the results of hydrobiological research of cooling pond and left bank of the Tsimlyansk Reservoir for the period 2011-2012 after the Chlorella's strain introduction. The article describes several numbers of alternative controlling methods algal blooms. The general conclusion is made concerning acquired results. Some practical conclusions were discussed.

**Keywords:** Tsimlyansk Reservoir, cooling pond, Rostov nuclear power plant, chlorella, diatom algae, green algae, phytoplankton, aeration, biochemical methods.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.311.25:532.529

**РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ И ОЦЕНКА  
ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ТЕПЛОТВОДА  
ГЕРМООБЪЕМА (СПОТ ГО) ПРИ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЯХ  
НА АЭС С ВВЭР-1000**

© 2013 г. **Х.М. Наффаа\***, **Д.В. Шевелев\*\***, **А.С. Балашевский \*\***

\* *Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности,  
Украина, Севастополь*

\*\* *Служба научно-технической поддержки ОП «Научно-технический центр»  
ГП НАЭК «Энергоатом», Украина, Севастополь*

Поступила в редакцию 15.08.2013 г.

В статье представлены результаты расчетного моделирования системы пассивного теплоотвода в зависимости от степени заполнения испарительного участка и температуры среды в гермообъеме. Проведена оценка эффективности системы пассивного теплоотвода гермообъема при развитии тяжелой аварии на АЭС с ВВЭР. Расчеты проводились с использованием кодов RELAP5/MOD3.4 и MELCOR 1.8.5.

*Ключевые слова:* система пассивного отвода тепла; защитная оболочка; двухфазный термосифон; атомная электрическая станция; реакторная установка; водо-водяной энергетический реактор.

Одним из наиболее опасных классов запроектных аварий (ЗПА) на АЭС являются аварии, вызванные полным длительным обесточиванием станции с потерей аварийных источников электроснабжения. Потеря всех аварийных источников электроэнергии на АЭС «Фукусима-1» из-за воздействия цунами, вызванного землетрясением 11 марта 2011 г., стала причиной развития тяжелых аварий с повреждением топлива и корпусов реакторов, а затем и защитных оболочек реакторов на трех энергоблоках. Потеря всех барьеров безопасности стала причиной выброса значительного количества радионуклидов в окружающую среду – аварии был присвоен 7-й, высший, индекс по международной шкале INES.

Основная функция защитных оболочек (ЗО), или гермообъема (ГО) – предотвратить выход продуктов деления в окружающую среду в случае отказа остальных барьеров безопасности: топливная матрица, оболочки твэл, границы контура охлаждения активной зоны. Поэтому сохранение целостности ГО является одной из приоритетных задач при возникновении аварийных ситуаций на АЭС.

ГО реакторов всех типов имеют проектные ограничения по параметрам (давлению и температуре) внутри них. При превышении проектных пределов возможен отказ ГО с потерей локализирующей функции. Поддержание параметров в заданных пределах на современных АЭС реализуется активными системами, для работы которых требуется внешнее энергоснабжение.

На эксплуатируемых сегодня АЭС с ВВЭР-1000 технические средства для предотвращения повреждения ГО в условиях аварий с полным длительным обесточиванием не предусмотрены. В эволюционных проектах РУ с ВВЭР, а также в новых проектах зарубежных АЭС, предусмотрены пассивные системы снижения параметров под ГО при таких авариях, но все эти системы обладают рядом

недостатков. Основные из них – это ограниченное время работы указанных систем, а также возможность байпасирования ГО при отказах [1–3]. Поэтому актуальной является задача создания систем пассивного отвода остаточных тепловыделений (СПОТ) ГО и внедрение ее на действующих энергоблоках АЭС, а также в проектах перспективных РУ, которые были бы свободны от указанных недостатков [4–5].

### **Краткая характеристика ГО энергоблока с ВВЭР-1000**

ГО энергоблока с ВВЭР-1000 представляет собой цилиндрическую конструкцию с крышей-куполом, выполненную из толстостенного напряженного железобетона. Внутри ГО предусмотрена облицовка из тонкостенной нержавеющей стали, обеспечивающая его плотность и проектно-допустимую величину протечек в окружающую среду (не более 0,3% в сутки при максимальном расчетном давлении внутри ГО, равном 4 кгс/см<sup>2</sup> (изб)). В зависимости от модификации РУ, объем внутри ГО составляет 60 тыс. куб.м. (РУ В-320), либо немногим более 70 тыс. куб.м. (РУ В-302 и В-338).

Одним из процессов, характерных для тяжелых аварий (ТА) с полным длительным обесточиванием и изначально плотным первым контуром, является наработка значительных количеств водорода: ~ 800 кг на внутрикорпусной стадии и в несколько раз больше после отказа корпуса реактора и взаимодействия кориума с бетоном. Для предотвращения возможного горения или детонации водорода, внутри ГО предусмотрена и в настоящее время реализуется установка пассивных автокаталитических рекомбинаторов водорода (ПАР), не требующих внешних источников питания. Запуск ПАР происходит автоматически при превышении концентрации водорода выше некоторой пороговой (обычно около 2%) и достаточной для протекания реакции окисления концентрации кислорода. Продуктом реакции является перегретый водяной пар, поступающий из ПАР в ГО.

Следует отметить, что, наряду с положительным эффектом – снижение концентрации водорода – ПАР являются дополнительным источником энерговыделений, а значит, их работа приводит к дополнительному росту давления и температуры внутри ГО. Кроме того, при изначально высокой концентрации водяного пара в ГО, работа ПАР может быть малоэффективной или невозможной.

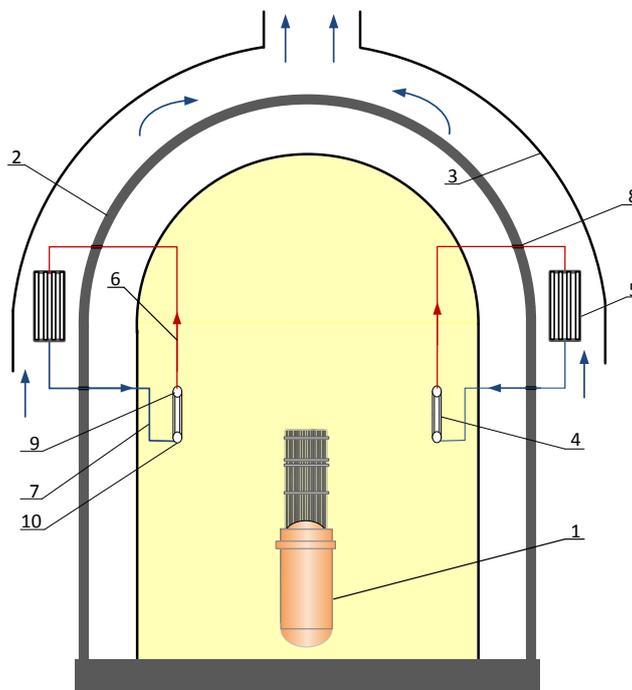
Таким образом, для сохранения целостности ГО в процессе ТА, СПОТ ГО должна отводить в окружающую среду мощность, по крайней мере, не ниже суммарной мощности остаточных энерговыделений в топливе и генерируемой в ПАР.

### **Схема, принцип работы и компоновка СПОТ ГО**

Для решения указанной задачи предлагается схема СПОТ ГО с использованием испарительно-конденсационных устройств замкнутого типа – низкотемпературных кольцевых двухфазных термосифонов (ДТС). ДТС за счет переноса скрытой теплоты парообразования своего промежуточного теплоносителя, обеспечивает эффективный теплоперенос от атмосферы ГО к конечному поглотителю. Испаритель кольцевого ДТС размещается вблизи купольной части ГО, конденсатор – выводится за пределы гермообъема. Испаритель и конденсатор связаны между собой транспортными паровым и конденсатным трубопроводами (рис. 1).

Теплоотвод от атмосферы ГО к наружной поверхности испарителей СПОТ осуществляется за счет естественной конвекции, а от нее – промежуточному теплоносителю ДТС. За счет внешнего подвода теплоты промежуточный теплоноситель ДТС испаряется, пар через сборный коллектор 9 поступает в паровой

трубопровод 6, который через гермопроходки 8 выводится за пределы гермооболочки 2 реакторной установки 1 и соединяется с конденсаторами ДТС 5. Конденсаторы 5 охлаждаются потоком атмосферного воздуха 3, при этом пар в конденсаторах конденсируется и за счет гравитационных сил по конденсатному трубопроводу 7 и раздающим коллекторам 10 возвращается в испарители 4.



1 – реакторная установка; 2 – защитная оболочка; 3 – воздушный канал;  
4 – испаритель; 5 – конденсатор; 6 – паровой трубопровод; 7 – конденсатный трубопровод;  
8 – гермопроходка; 9 – сборный коллектор; 10 – раздающий коллектор

**Рис. 1.** Схема автономной СПОТ ГО на основе кольцевого ДТС

Все элементы испарительной секции кольцевого ДТС выполнены из труб и располагаются вблизи внутренней поверхности ГО. Испарители СПОТ практически не отбирают полезного объема ГО.

Теплоотводящая способность СПОТ ГО рассчитывается таким образом, чтобы при всех возможных состояниях энергоблока, включая проектные аварии с разрывами трубопроводов первого контура и паропроводов острого пара при работе на мощности, не допустить роста параметров в ГО сверх допустимых пределов. Например, для ГО РУ ВВЭР-1000 это давление не более 5 бар (абс.) и температура парогазовой смеси не выше 150°C. При этом, температура окружающего воздуха принимается максимально возможной для площадки АЭС, например, до +40 °С.

Кроме того, являясь автономными замкнутыми устройствами теплоотвода, ДТС надежно разделяют ГО и конечный поглотитель, что обеспечивает радиационную безопасность в аварийной ситуации. СПОТ ГО для повышения надежности работы состоит из автономных секций, скомпонованных в несколько параллельных каналов, чем обеспечивается необходимая степень резервирования.

Перед заполнением промежуточным теплоносителем кольцевой термосифон вакуумируется для удаления неконденсируемых газов. В процессе работы устройства давление насыщенных паров воды во всем диапазоне температур и в любой точке контура будет ниже атмосферного. Поэтому при возможных течах контура СПОТ исключается выход радионуклидов из ГО в атмосферу. При обнаружении течи

(например, по факту ухудшения вакуума в контуре ДТС), в условиях нормальной эксплуатации персонал имеет возможность выявить и перекрыть локализирующие арматуры поврежденной теплообменной секции или одного из нескольких каналов системы (на рис.1 условно показаны 2 независимых канала СПОТ, в реальности число каналов будет больше). Поскольку теплообменная поверхность секций СПОТ ГО при проектировании выбирается избыточной по отношению к максимально возможной тепловой нагрузке на ГО, система при этом продолжает выполнять функцию теплоотвода в полном объеме.

В качестве промежуточного теплоносителя ДТС, кроме воды, могут также использоваться жидкости с пониженной температурой замерзания. Использование последних позволит предотвратить замерзание промежуточного теплоносителя СПОТ в условиях низких температур окружающего воздуха.

При расчетном моделировании, для оценки влияния наклона испарительных трубок на эффективность СПОТ, рассматривались варианты размещения испарительных секций под различными углами к горизонту, с наклоном испарительных труб от 5 до 90 градусов. Кроме того, для каждого случая анализировалось влияние степени заполнения испарителя СПОТ водой на эффективность системы.

Возможная схема расположения элементов СПОТ ГО в реакторном отделении АЭС с ВВЭР-1000 изображена на рисунке 1. Для вывода транспортных трубопроводов через гермооболочку в существующих РУ с ВВЭР-1000 возможно использовать две из имеющихся шести гермопроходок Ду 1600 мм системы вентиляции реакторного отделения. Однако этот вариант не является оптимальным, так как испарители окажутся размещенными слишком низко, и под куполом реакторного отделения возможно образование «застойных зон» паровоздушной смеси, плохо охлаждаемых за счет естественного конвективного перемешивания воздуха в ГО. В новых проектах РУ с ВВЭР для вывода транспортных трубопроводов кольцевого ДТС необходимо предусмотреть дополнительные гермопроходки., что несложно сделать на этапе проектирования и строительства ГО.

### **Предварительный расчет характеристик термосифонного контура СПОТ ГО**

Расчетное моделирование контура СПОТ ГО выполнено с использованием теплогидравлического кода RELAP5/MOD3.4.

При моделировании рассматривался двухфазный контур, состоящий из испарительного и конденсационного участков (теплообменник-испаритель в ГО и теплообменник-конденсатор за пределами ГО) и двух транспортный участков – паропровод от испарителя к конденсатору и возвратный трубопровод конденсата. Разность высотных отметок испарителя и конденсатора в расчете принята равной 15 м, что соответствует реальной компоновке СПОТ ГО в составе реакторного отделения энергоблока РУ с ВВЭР-1000.

При разработке модели, в качестве испарителя рассматривалась одна теплообменная секция габаритами 2,0×2,0×0,18 м, набранная из профилированных (штампованных) тонкостенных пластин из нержавеющей стали (толщина стенки пластины 1 мм). Каждые 2 пластины свариваются контактной сваркой, после чего внутри образуется 3 щелевых канала: 2 периферийных проходным сечением 35×4 мм и 1 центральный проходным сечением 30×4 мм. Расстояние между осевыми линиями пластин (шаг сборки) было принято равным 10 мм. В нижней и верхней части пластины соединены подводным конденсатным и отводящим паровым коллекторами, соответственно.

При моделировании термосифонного контура СПОТ были заданы граничные

условия 3-го рода на внешней поверхности испарительной и конденсационной трубок. Температура воздуха в ГО вблизи внешней поверхности варьировалась в пределах от  $+90^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ . По условию поставленной задачи, последнее значение близко к максимально допустимой установившейся температуре парогазовой смеси в верхней части ГО при постулируемых проектных авариях.

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$  для внешней поверхности пластинчатого теплообменника-испарителя принят равным  $100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , что является умеренно-консервативно заниженной оценкой при обтекании трубного пучка неконденсируемым газом (воздухом) со скоростью  $\sim 1 \text{ м/с}$ .

Значение скорости для условий конвективного обтекания пластин было, в свою очередь, получено при помощи кода MELCOR 1.8.5.

Эффективный коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности конденсатора  $\alpha_2$  был принят равным  $500 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Данная величина, при обдуве конденсатора атмосферным воздухом в специально предусмотренных тяговых каналах за пределами ГО, вполне достижима при использовании конденсаторов с развитой внешней поверхностью теплообмена (например, при наличии оребрения). Кроме того, на габариты внешних конденсационных секций, расположенных вне ГО, нет жестких ограничений, что также позволяет наращивать теплообменную поверхность.

Температура окружающего воздуха в расчете составляла  $+40^{\circ}\text{C}$ , что соответствует максимальной зарегистрированной в летнее время года для площадок АЭС Украины за весь период метеонаблюдений.

Основные расчетные параметры в установившемся режиме, в зависимости от заполнения СПОТ ГО (из расчета на одну испарительную пластинчатую секцию габаритами  $2,0 \times 2,0 \times 0,18 \text{ м}$ ) и температуры внешней стенки испарителя, приведены на рисунке 2 [6].

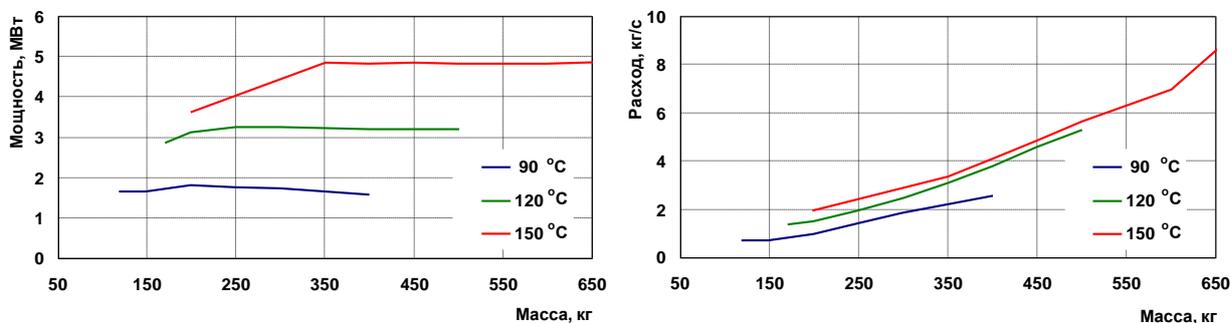


Рис. 2. Эффективность испарительной секции СПОТ ГО в установившемся режиме в зависимости от начального заполнения

Таким образом, в дальнейшем расчеты работы СПОТ ГО при ТА выполнялись в допущении, что заполнение СПОТ ГО рабочим телом (вода) составляет  $\sim 400 \text{ кг}$  на 1 испарительную секцию.

### Расчет эффективности СПОТ ГО при ТА

Расчетное моделирование работы СПОТ ГО на РУ В-320 при ТА, вызванной полным длительным обесточиванием станции, выполнено с использованием теплогидравлического кода MELCOR 1.8.5.

Предполагалось, что в работе находятся 11 испарительных секций СПОТ ГО, т.е. в работе находятся 3 канала из 4-х и дополнительно в отказе находится одна из секций какого-либо работоспособного канала (отсечные арматуры закрыты).

Для сравнения выполнен также расчет для случая, когда СПОТ ГО отсутствует. Далее всюду на графиках кривые, полученные без учета СПОТ ГО, обозначены как

«Base», а кривые, соответствующие работе СПОТ ГО, обозначены как «PHRS».

Расчетное время выбиралось из условия стабилизации основных параметров в ГО в случае, когда СПОТ ГО находится в работе.

В обоих случаях учитывалось наличие ПАР в ГО (~ 120 полноразмерных секций AREVA). Секции предполагались размещенными в центральном зале реакторного отделения (ЦЗ РО) и условно были разделены на 2 группы по 60 секций. Одну из групп составляли секции, расположенные по периферии ЦЗ в зоне действия СПОТ ГО, вторая – в неохлаждаемой части ЦЗ.

В расчетах использованы характеристики СПОТ, ранее полученные при помощи кода RELAP5/MOD3.4.

Прежде всего необходимо принять во внимание тот факт, что расчетное давление внутри ГО ВВЭР-1000 составляет  $5,0 \text{ кгс/см}^2$  (абс.). Это давление ГО способно выдерживать неограниченно долго без риска возникновения наведенных отказов. Отказ ГО не произойдет также при временном превышении расчетного давления на 15% ( $5,8 \text{ кгс/см}^2$  абс.) и маловероятен при кратковременном превышении на 25% ( $6,3 \text{ кгс/см}^2$  абс.). С другой стороны, в практике расчетов ТА постулируется, что отказ ГО происходит со 100% вероятностью при более чем двукратном превышении проектного давления, т.е.  $10 \text{ кгс/см}^2$  абс. Таким образом, можно принять, что вероятность отказа ГО возрастает от практически 0 до 100% при росте давления от  $6,3 \text{ кгс/см}^2$  (абс.) до  $10 \text{ кгс/см}^2$  (абс.).

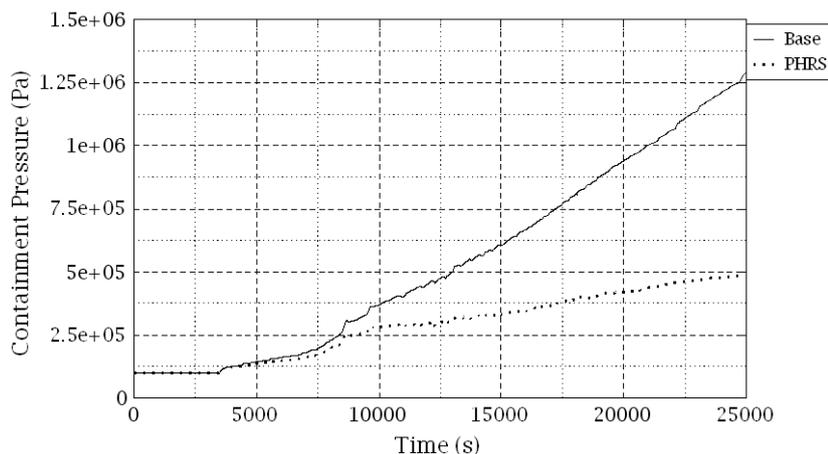


Рис. 3. Давление парогазовой смеси в купольной части ГО

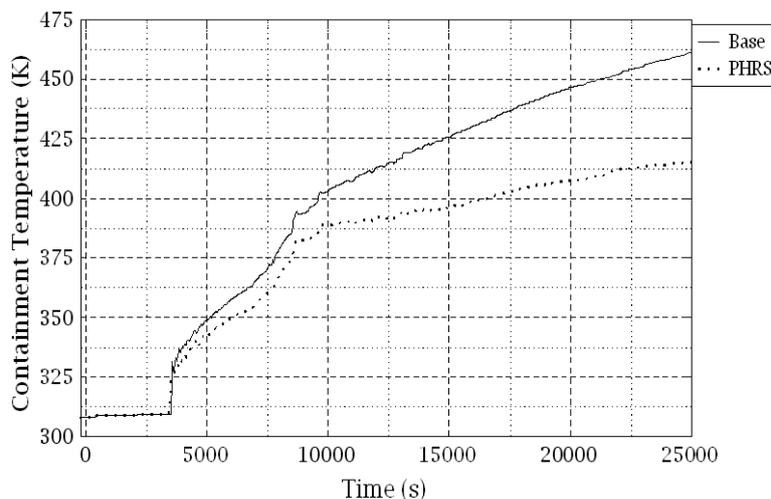


Рис. 4. Температура парогазовой смеси в купольной части ГО

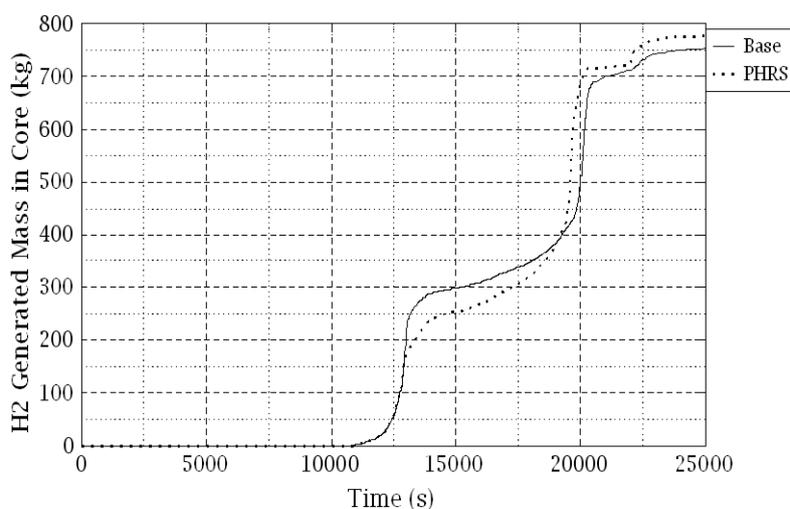


Рис. 5. Масса водорода, сгенерированного в реакторе

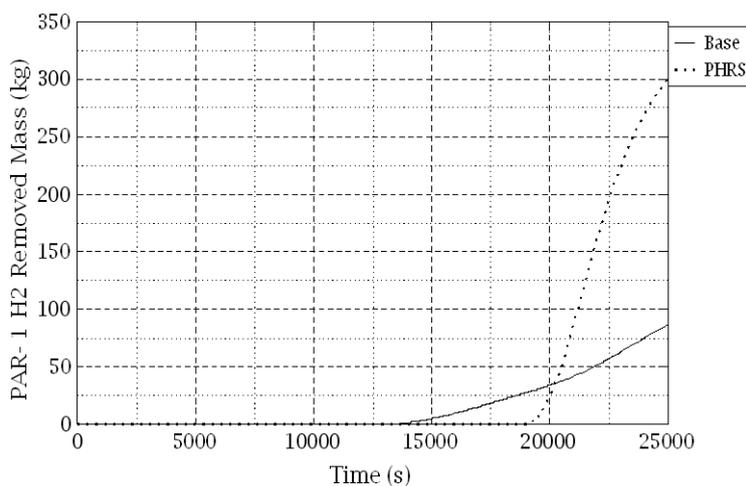


Рис. 6. Масса водорода, рекомбинированного ПАР 1-й группы

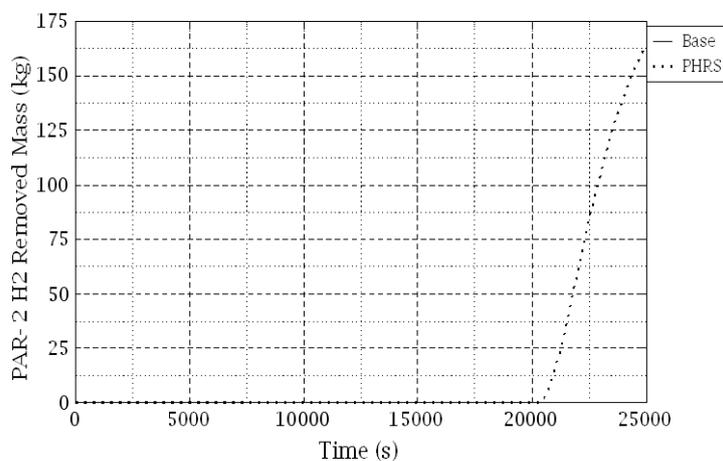
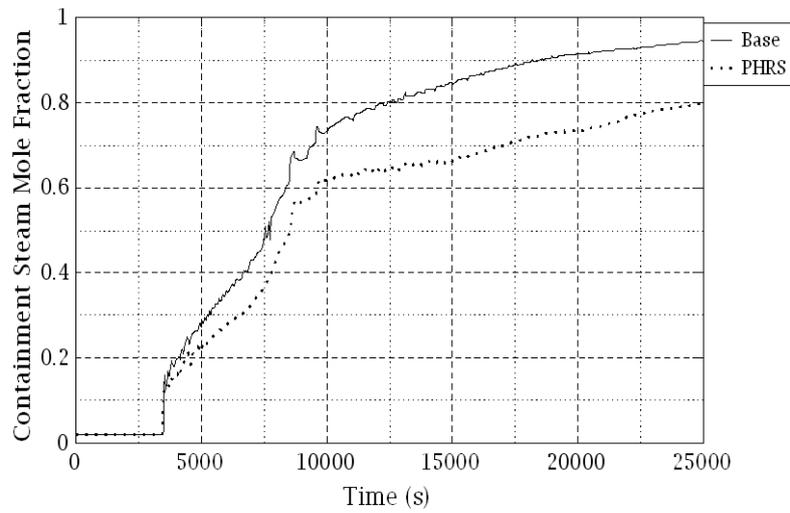
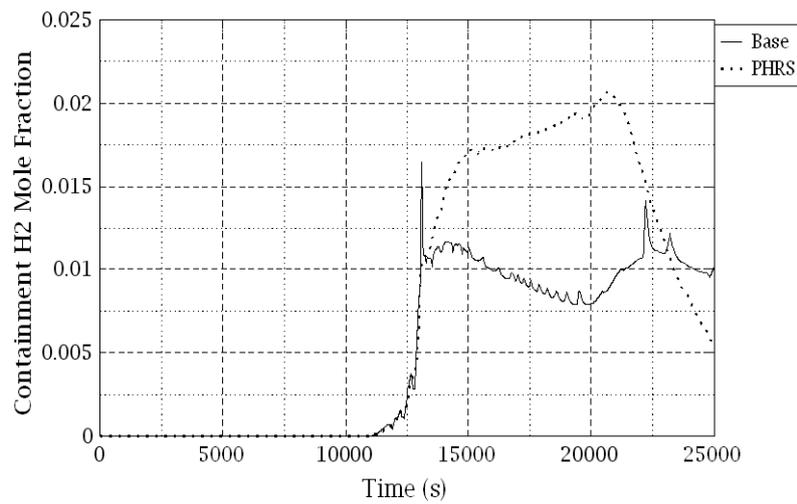


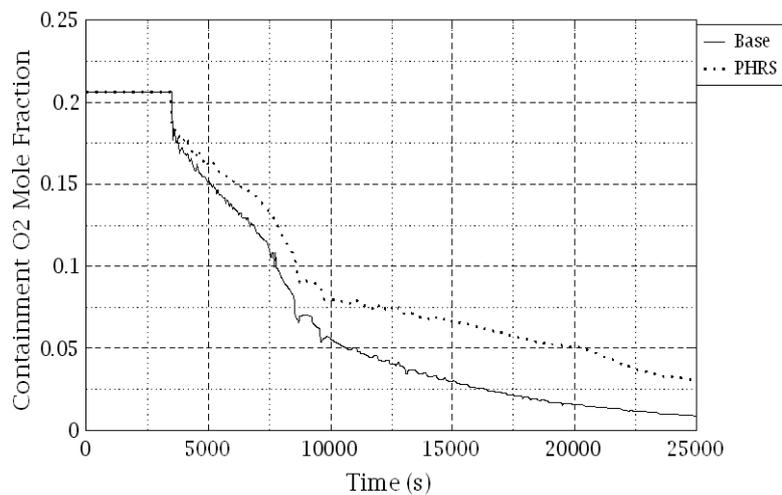
Рис. 7. Масса водорода, рекомбинированного ПАР 2-й группы (в случае без СПОТ ГО запуск 2-й группы не происходит)



**Рис. 8.** Молярная концентрация водяного пара в ЦЗ ГО



**Рис. 9.** Молярная концентрация водорода в ЦЗ ГО



**Рис. 10.** Молярная концентрация кислорода в ЦЗ ГО

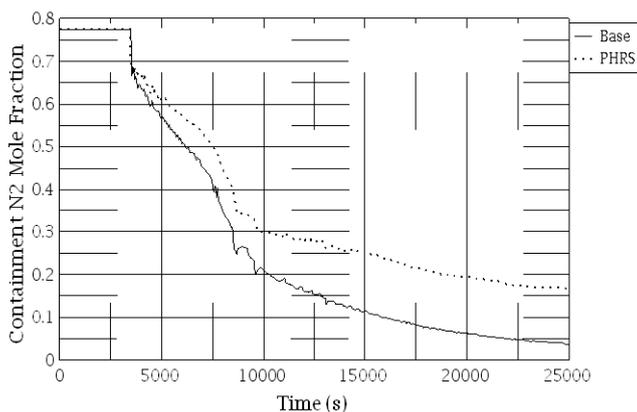


Рис. 11. Молярная концентрация азота в ЦЗ ГО

Анализируя результаты, можно отметить следующее.

Во-первых, без СПОТ ГО риск разрушения ГО с вероятностью, близкой к 100%, достигается уже к концу 6-го часа аварии (рис. 3). В то же время, СПОТ ГО приводит к стабилизации давления на безопасном уровне  $5 \text{ кгс/см}^2$  (абс.) через 7 часов с момента начала ТА. В дальнейшем давление остается практически постоянным на протяжении всей внутрикорпусной фазы ТА (для ВВЭР-1000 это время составляет  $\sim 12$  часов, если не предпринимать никаких противоаварийных действий). После отказа корпуса реактора, кроме переопрессовки, имеют место и иные механизмы потери целостности ГО (например, взаимодействие расплава с бетоном). Иными словами, наличие СПОТ ГО позволит гарантированно предотвратить отказ ГО во всех случаях, когда противоаварийные мероприятия, направленные на удержание расплава в корпусе, окажутся успешными.

Далее, работа СПОТ ГО практически не влияет на массу водорода, сгенерированного в реакторе ( $\sim 750 \dots 800 \text{ кг}$ ), но, за счет частичной конденсации водяного пара, создает более благоприятные условия для работы ПАР. Так, при наличии СПОТ ГО, ПАР к моменту завершения расчета рекомбинируют  $\sim 460 \text{ кг}$  водорода, или 58% его полного количества (рис. 6, рис. 7). В то же время, без СПОТ ГО (в предположении, что ГО сохранит целостность), за это же время ПАР рекомбинируют только  $\sim 80 \text{ кг}$  водорода, или немногим более 10% от его полного количества.

Наконец, следует отметить и более низкую температуру парогазовой смеси в ГО при работе СПОТ, которая даже в купольной части не превышает проектного значения  $+150^\circ\text{C}$  (рис. 4). Этот факт может оказаться существенным для сохранения работоспособности контрольно-измерительных приборов, расположенных в ГО, а значит, облегчит выполнение противоаварийных мероприятий.

## ВЫВОДЫ

Анализ возможных схемных решений системы пассивного отвода из-под ГО, их компоновки и полученные предварительные расчетные характеристики позволяют сделать вывод о возможности создания эффективных СПОТ ГО на основе кольцевых термосифонных контуров.

Использование термосифонного теплообменного оборудования позволяет, даже при малых температурных напорах, эффективно и безопасно отводить теплоту из ГО к конечному поглотителю.

Разработка и исследование характеристик СПОТ ГО требует создания полной расчетной модели с совместным использованием кодов RELAP5 и MELCOR.

Внедрение СПОТ ГО в состав систем безопасности РУ позволит исключить

возможность повреждения ГО условиях проектных, запроектных и на начальной фазе тяжелых аварий, вне зависимости от состояния источников внешнего и аварийного электроснабжения энергоблока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fukushima Nuclear Accident Analysis Report [Электронный ресурс] // Tokyo Electric Power Company, 2011. – Режим доступа: URL: [http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11\\_e/images/111202e13.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/111202e13.pdf) – 12.09.2012.
2. Наффаа, Х.М. и др. Пассивные системы охлаждения защитных оболочек реакторных установок [Текст] / Х.М. Наффаа, И.И. Свириденко, Д.В. Шевелев // 36. науч. пр. СТУЯЕтаП. – Севастополь: СТУЯЭиП, 2012. – Вып. 2(42). – С. 46–55.
3. Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants / IAEA safety standards series. — №NS-G-1.10. — 2004. — 127 p.
4. Lee S.-W. Assessment of Passive Containment Cooling Concepts for Advanced Pressurized Water Reactors / S.-W. Lee [et al.] // Ann. Nucl. Energy, 1997. – Vol. 24, No. 6. – P. 467–475.
5. Passive Safety system and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants. IAEA-TECDOC-1624. — Vienna: IAEA, 2009. — 159 p.
6. Наффаа, Х.М. и др. Оценка эффективности системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки РУ с ВВЭР в условиях длительного обесточивания [Текст] / Х.М. Наффаа, В.А. Герлига, Д.В. Шевелев, А.С. Балашевский // Ядерная и радиационная безопасность. – Киев, 2013. – Вып. №2(58). – С. 27–31.

### Modeling Calculation and Assessment of Effectiveness of Containment Heat Removal Passive System in Case of Severe Accident on NPP with WWER-1000

**Kh.M. Naffaa\*, D.V. Shevielov\*\*, A. S. Balashevskiy\*\***

\* *Sevastopol National University of Nuclear Energy and Industry,  
7 Kurchatova St., Sevastopol, Ukraine 99015  
e-mail: [khaledmnf@mail.ru](mailto:khaledmnf@mail.ru)*

\*\* *Sevastopol Branch of Scientific and Technical Support SE STC of SE NNEGС “Energoatom”,  
7 Kurchatova St., Sevastopol, Ukraine 99015  
e-mail: [ontps@i.ua](mailto:ontps@i.ua)*

**Abstract** – The article describes the calculation simulation results of the passive system of heat removal depending on the degree of filling of the evaporator and temperature of air in the containment. There is the efficacy assessment of passive system of heat removal from the containment of reactor facility in case of severe accident is executed. The calculations were performed using the RELAP5/MOD3.4 and MELCOR 1.8.5 codes.

**Keywords:** passive system of heat removal (PSHR); containment; two-phase thermo-siphon; nuclear power station (NPP); reactor facility (RF); water-water energetic reactor (WWER).

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.311.25 : 502/504

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ  
РАЗМЕЩЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС**

© 2013 г. Е.И. Шаврак, М.В. Гуляев, В.М. Сапельников

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

Поступила в редакцию 10.09.2013 г.

В работе рассмотрены различные подходы к оценке экологической безопасности территории размещения Ростовской АЭС, в том числе исследована экологическая устойчивость водоема-охладителя РоАЭС и урбоэкосистемы г. Волгодонска.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, устойчивость, потенциальная функция, состояние окружающей среды, техногенное воздействие.

Экологическая безопасность, представляющая собой совокупность условий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности населения и устойчивое состояние природных экосистем, является одной из важнейших составляющих национальной безопасности. Негативные социально-экологические тенденции последних лет определяют необходимость выявления региональных факторов риска и снижения неблагоприятного эффекта их воздействия, что служит основой экологической политики и устойчивого эколого-экономического развития регионов.

Интенсивное развитие атомной энергетики обуславливает актуальность рассмотрения вопросов оценки и обеспечения экологической безопасности зоны размещения атомных станций. Данная работа посвящена оценке экологической безопасности территории размещения Ростовской АЭС, а именно – устойчивости ее природно-технических систем. В качестве объектов исследования рассматривались водоем–охладитель (ВО) РоАЭС и крупный промышленный центр Ростовской области город Волгодонск с численностью населения 169 тысяч человек, расположенный в 13,5км от АЭС.

**Материалы и методы исследования**

Вопросы устойчивости экосистем, находящихся на территории Ростовской области, рассматривались рядом авторов, в том числе В.Е. Закруткиным, Ю.А. Федоровым, В.А. Савицкой, А.Д. Хованским и А.С. Орлинским. Согласно [1] область расположения РоАЭС находится на границе относительно благоприятных и неблагоприятных природных условий. Степень устойчивости наземных экологических систем к воздействию антропогенных и природных факторов может быть охарактеризована как умеренная [2]. Уровень экологической напряженности на территории размещения РоАЭС, рассматриваемый для трехзвенной экологической цепи: антропогенная нагрузка (промышленная, сельскохозяйственная, транспортная) – загрязнение окружающей среды (атмосферного воздуха, питьевой воды, почв и сельхозпродукции) – здоровье человека, оценивается как кризисный [3].

Способность природно-технических систем (ПТС) к нормальному функционированию определяется, в том числе, их экологической устойчивостью, т.е. способностью экосистемы сохранять свои свойства и параметры в условиях

действующих возмущений. Одним из наиболее информативных современных методов исследования устойчивости открытых систем, каковыми являются все ПТС, является синергетический метод неравновесных потенциальных функций [4-6]. Он позволяет на основании статистических данных о состоянии ПТС анализировать их текущее состояние с точки зрения устойчивости и определять задачи обеспечения устойчивого развития систем. В данной работе с помощью потенциальных функций рассмотрены динамики изменения состояния ПТС ВО РОАЭС и урбоэкосистемы г. Волгодонска. Указанные подсистемы постоянно испытывают извне влияние комплекса факторов разной природы и интенсивности. Его оценка осуществлялась в работе с помощью интегрального показателя  $s$ . Он учитывает степень выраженности наиболее значимых внешних факторов, среди которых были выделены химическое и тепловое воздействие.

При оценке внешнего влияния на подсистему ВО Ростовской АЭС, вследствие незначительности его химического загрязнения [7], учитывали только тепловое воздействие как со стороны атомной станции, так и природного происхождения. Поскольку тепловое загрязнение ВО РОАЭС сопряжено с электрической мощностью атомной станции, в качестве его косвенного показателя использовали количество выработанной РОАЭС электроэнергии ( $Q_{\text{энер}}$  млрд. кВт/час в год). Вклад климатических особенностей в тепловое загрязнение ВО РОАЭС оценивали с помощью усредненных за период апрель – декабрь значений температуры воздуха  $t_{1в}$ , что обусловлено наличествующим объемом анализируемой информации.

Для характеристики внешнего воздействия на подсистему г. Волгодонска использованы такие показатели среды обитания населения, как среднегодовая температура воздуха  $t_{в}$ , ИЗА<sub>5</sub> – комплексный индекс загрязнения воздуха, УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязнения поверхностных вод в районе Волгодонска. Загрязнение городских почв не выходит за пределы нормативных, поэтому в интегральном показателе  $s$  не учитывалось.

Необходимо отметить, что при оценке экологической устойчивости подсистем в качестве внешнего воздействия не рассматривалась радиация. Это объясняется тем, что по результатам ежедневного радиационного контроля в зоне возможного влияния Ростовской АЭС радиационная обстановка остаётся стабильной, уровень гамма-фона не превышает значений многолетних наблюдений и составляет 0,10-0,12 мкЗв/ч.

Характеристики внешнего влияния на рассматриваемые экологические подсистемы приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Показатели внешнего воздействия на ПТС

Год	Подсистема Волгодонска			Подсистема ВО РОАЭС	
	$t_{в}$ , °C[8]	УКИЗВ	ИЗА <sub>5</sub>	$t_{1в}$ , °C[8]	$Q_{\text{энер}}$ , млрд. кВт/час в год[9]
2002	10,08	2,29	15,60	12,81	7514,00
2003	9,00	3,01	7,53	12,85	7299,00
2004	10,28	2,71	9,99	13,04	7814,00
2005	10,41	1,63	13,60	14,24	7607,00
2006	9,77	2,94	17,20	14,34	7580,00
2007	11,44	3,52	12,10	14,46	7672,00
2008	10,15	2,36	10,80	13,66	7893,00
2009	10,35	2,43	13,17	14,35	8245,00

Так как все значения показателей внешнего воздействия находятся в разных единицах измерения, то для приведения их к одной размерности проводилось нормирование по формуле:

$$p_z^n = \frac{p_z}{p_{z \max}}$$

где  $p_z$  – фактическое значение показателя,  $p_{z \max}$  – максимальное значение показателя за рассматриваемый период (2002–2009 гг.) (таблицы 1,2). На основе нормированных частных показателей находили значения интегральных показателей внешнего воздействия  $s$ :

$$s = a_1 p_1^n \dots + a_k p_k^n$$

где  $a_1, \dots, a_k$  – весовые коэффициенты учитываемых показателей. Сумма их значений должна быть равна единице. На первом этапе исследования все весовые коэффициенты принимались одинаковыми.

Экологическую устойчивость подсистем исследовали с помощью потенциальной неравновесной функции  $\psi$ , тождественно равной производству энтропии в подсистеме. Реакция подсистемы на внешнее воздействие проявляется как динамическое изменение ее состояния, в процессе которого она стремится минимизировать эту потенциальную функцию [6].

Для оценки устойчивости подсистемы ВО РоАЭС к тепловому загрязнению в качестве потенциальной функции ( $\psi_{ВО}$ ) использовали значения фоновых температур воды в ВО, найденных в ходе корреляционно-регрессионного анализа совокупности данных о температурных режимах ВО и сопряженном с ним участке ЦВ за период с апреля по декабрь 2002-2009 гг. При этом были установлены статистически значимые линейные корреляции высокого качества между температурой воды в ВО ( $t_{ВО}$ ) и ЦВ ( $t_{ЦВ}$ ) и построены соответствующие модели простых линейных регрессий вида:

$$t_{ВО} = A + b_1 t_{ЦВ}$$

Численные значения свободного члена регрессии  $A$  интерпретировались нами как фоновая температура воды в ВО.

При выборе потенциальной функции для подсистемы г. Волгодонска руководствовались тем соображением, что изменение качества среды обитания неизбежно сказывается на состоянии здоровья населения. В связи с этим в качестве потенциальной функции были выбраны показатели смертности населения (случаев на 1000 человек населения) [10]. Количественные значения потенциальных функций подсистем приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Значения потенциальных функций

год	$\psi_{ВО}$	$\psi_z$
2002	1,85	9,90
2003	1,44	9,90
2004	1,76	10,20
2005	0,17	10,60
2006	3,42	10,70
2007	2,96	10,00
2008	4,27	10,60
2009	5,14	10,50

При установлении зависимости между показателями внешнего воздействия  $s$  и потенциальными функциями  $\psi$ , согласно методологии теории катастроф [5], последовательно рассматривались полиномы от третьей до шестой степени при одновременном варьировании весовых коэффициентов показателей внешнего воздействия. В качестве критерия выбора окончательного варианта регрессии при этом выступало ее качество (коэффициент детерминации  $R^2$ ). Устойчивость текущего состояния подсистем определяли на основании графической интерпретации потенциальной функции  $\psi$ . На рисунке 1 изображен график потенциальной функции, аппроксимируемой полиномом четвертой степени [6]. Минимумы функции соответствуют устойчивому состоянию. Переход от одного такого состояния к другому осуществляется через точки бифуркации.



Рис. 1. График потенциальной функции

### Результаты и их обсуждение

В ходе исследования установлены взаимосвязи между величинами внешнего воздействия и откликом рассматриваемых подсистем на эти воздействия. Их потенциальные функции описываются полиномными моделями четвертой степени, идентифицируемыми в теории катастроф как «катастрофа сборки» [4]. При анализе полученных результатов уделялось внимание следующим аспектам: качеству регрессий, характеризующему коэффициентом детерминации и отражающему адекватность выбора показателей внешнего воздействия; весовым коэффициентам показателей, по численному значению которых судили о значимости того или иного воздействия для состояния подсистемы; исследованию временной деформации потенциальных функций, позволяющему определить области устойчивости подсистем. Характеристики функций приведены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики потенциальных функций

Подсистема	Уравнение потенциальной функции	Весовые коэффициенты показателей внешнего воздействия	Коэффициент детерминации $R^2$
Водоем - охладитель РоАЭС	$\psi_{\text{ВО}} = 1\text{E}+06s^4 - 5\text{E}+06s^3 + 7\text{E}+06s^2 - 4\text{E}+06s + 942210$	$a(Q_{\text{энер}})=0,15,$ $a(t_{1\text{в}})=0,85$	0,71
г. Волгодонск	$\Psi_1 = 8061.3s^4 - 23768s^3 + 26086s^2 - 12628s + 2284$	$a(\text{УКИЗВ})=0,1,$ $a(t_{\text{в}})=0.4$ $a(\text{ИЗА}_5)=0.5$	0,95

Сравнительно низкое качество зависимости величины фонового теплового загрязнения ВО РоАЭС от температуры воздуха и теплового воздействия со стороны атомной станции ( $R^2=0,71$ ) может также объясняться неучтенными видами воздействия. Напротив, выбранный комплекс внешних факторов, действующих на подсистему г. Волгодонска, достаточно полно характеризует изменения соответствующей потенциальной функции, что подтверждается высоким качеством регрессии ( $R^2=0,95$ ). Показателем значимости того или иного вида внешнего воздействия для состояния подсистемы являются их весовые коэффициенты  $a$ .

Исследования свойств подсистемы ВО РоАЭС показали, что фоновое тепловое загрязнение водоема также в большей степени зависит от температуры окружающего воздуха ( $a(t_{1в})=0,85$ ), нежели от теплового воздействия РоАЭС ( $a(Q_{\text{энер}})=0,15$ ). Очевидно, причиной этого является, с одной стороны, быстрая прогреваемость водоема вследствие его незначительной глубины, с другой – глобальные климатические изменения. Как видно из таблицы 4, практически равную значимость для потенциальной функции подсистемы г. Волгодонска, в качестве которой выступает показатель смертности горожан, имеют температура ( $a(t_{в})=0,4$ ) и степень загрязнения атмосферного воздуха ( $a(\text{ИЗА}_5)=0,5$ ). Качество поверхностных вод почти не влияет на потенциальную функцию.

С целью определения устойчивости подсистем в рассматриваемый период были проанализированы графики соответствующих потенциальных функций. На рисунке 2 приведены некоторые из них, из которых видно, что подсистемы отличаются между собой по устойчивости. Это проявляется в различной продолжительности их пребывания в состоянии устойчивости (в областях, соответствующих минимумам функций). В целях сравнительной характеристики подсистем по графикам функций определена эта продолжительность ( $T_{\text{уст}}$ ).

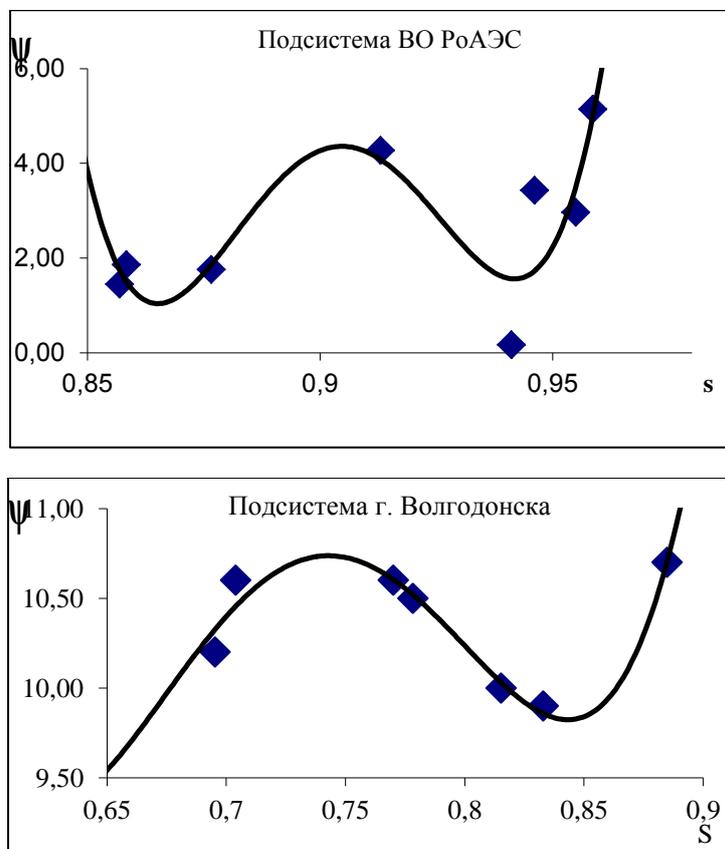


Рис. 2. Графики потенциальных функций подсистем ВО РоАЭС и г. Волгодонска

На основании полученной информации рассчитаны показатели относительной устойчивости  $U_l$ , соответствующие доле  $T_u$  в рассматриваемом временном диапазоне (2002-2009 гг, 8 лет). Введена шкала устойчивости. Принято, что при значениях  $U_l < 0,3$  степень устойчивости подсистемы ниже средней, величинам  $U_l = 0,3-0,5$  – соответствует средняя устойчивость, при  $U_l > 0,5$  – устойчивость выше средней. Полученные результаты приведены в таблице 4.

**Таблица 4.** Показатели устойчивости рассматриваемых подсистем

Подсистема	Потенциальная функция	$T_u$	$U_l$	Степень устойчивости
ВО РоАЭС	$\Psi_{ВО}$	4	0,50	средняя
г. Волгодонск	$\Psi_{Г}$	2	0,25	ниже средней

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из рассмотренных систем наименьшей экологической устойчивостью к химическому и тепловому воздействию в период 2002–2009 гг. обладала экосистема г. Волгодонска. Этому способствовало сочетание высокого уровня химического загрязнения атмосферного воздуха с глобальными климатическими изменениями. В связи с тем, что химическое загрязнение имеет техногенную природу и является регулируемым фактором, его снижение должно стать приоритетным направлением мероприятий по повышению экологической безопасности территории размещения РоАЭС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Закруткин, В.Е. и др.* Комплексное экологическое районирование Ростовской области. Методические аспекты [Текст] / В.Е. Закруткин, М.М. Рышков // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 1996. – №3 – С. 3–9.
2. *Федоров, Ю.А. и др.* Геоэкологические особенности устойчивого развития Ростовской области [Текст] / Ю.А. Федоров, В.А. Савицкая. – Ростов-н/Д : ООО "Терра", 2005. – 200 с.
3. *Орлинский, А.С. и др.* Экохозяйственная сбалансированность и устойчивое развитие территорий. Подходы, методы, применение [Текст] / А.С. Орлинский, А.Д. Хаванский. – Саарбрюкен : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 262 с.
4. *Арнольд, В.И.* Теория катастроф [Текст] / В.И. Арнольд. – М.: Изд-во МГУ, 1983.
5. *Быстрая, Г.П.* Методы синергетики в анализе структурных сдвигов в промышленности: разработка унифицированных моделей и алгоритмов анализа устойчивости текущих состояний в условиях внешнего и внутреннего управления [Текст] / Г.П. Быстрая // Вестник кибернетики. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2003. – Вып. 2. – С. 71–88.
6. *Быстрая, Г.П. и др.* Неравновесные макросистемы: целостность, эффективность, надежность [Текст] / Г.П. Быстрая, Д.В. Пивоваров. – Свердловск: УрГУ, 1989. – 192 с.
7. *Шаврак, Е.И. и др.* Исследование влияния Волгодонской АЭС на экологическое состояние Приплотинного плеса Цимлянского водохранилища [Текст] / Е.И. Шаврак, В.М. Сапельников, И.А. Генераленко // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – Спец. вып. – С. 160–167.
8. Данные о температуре воздуха в 2002–2009 гг. г. Волгодонска [Электронный ресурс] // Официальный сайт Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – 2013. – Режим доступа: URL: <http://meteo.ru/data> – 10.04.2013.
9. Отраслевой обзор «Атомная энергетика РФ» [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: URL: <http://www.mashportal.ru/research-289.aspx>. – 16.02.2011.
10. *Шаврак, Е.И. и др.* Корреляционно-регрессионный анализ влияния автотранспорта на состояние здоровья населения [Текст] / Е.И. Шаврак, Т.С. Шапкина, Д.С. Шаврак // Гигиена и санитария. – 2009. – №1. – С. 5–9.

## **The Estimation of Ecological Security Rostov NPP's Territory**

**E.I. Shavrak, M.V. Gylaev, V.M. Sapelnikov**

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

**Abstract** – The article describes the different approaches to the estimation of ecological security of the territory where Rostov nuclear power plant is situated. It also includes the research of ecological stability of Rostov NPP's cooling reservoir and Volgodonsk urbanecosystem.

*Keywords:* ecological security, stability, potential function, environment conditions, technological influence.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 502.171 : 546.212 (470.61)

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОД В НИЖНЕМ  
ДОНУ НА ОСНОВЕ ФЕРМЕНТАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

© 2013 О.И. Бейсуг

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

Поступила в редакцию 26.08.2013 г.

В данной работе предлагается оценивать экологическое состояние вод в нижнем течении р. Дон на основе ферментативных показателей. Щелочная фосфатаза и неспецифические эстеразы осуществляют взаимосвязь водных организмов со средой обитания и являются информативными для оценки уровня загрязнённости воды соединениями азота, фосфора, нефтепродуктами, фенолами, тяжёлыми металлами.

*Ключевые слова:* активность щелочной фосфатазы, активность эстераз сестона, ферменты, ферментативные показатели, гидрохимические показатели, экологический мониторинг, загрязнение.

Загрязнение водных экосистем в настоящее время приобрело глобальные масштабы. Для поверхностных вод оно имеет особенное значение, потому что запасы пресных вод на земле ограничены. Дон является основным источником питьевого водоснабжения и является объектом непосредственного воздействия Ростовской АЭС.

С целью оценки экологического состояния вод в Нижнем Дону исследовали взаимосвязи загрязняющих веществ с показателями активностей внеклеточных эстераз (АЭ) и щелочной фосфатазы (АЩФ).

Материал исследований. Работа выполнена по материалам, полученным в комплексных совместных экспедициях с Донской устьевой станцией Росгидромета в нижнем течении р. Дон на участке от г. Аксай до г. Ростов-на-Дону. Пробы воды отбирались на стационарных пунктах и створах гидрохимической сети мониторинга поверхностных вод суши.

Методы исследований. Активность ферментов определяли по оригинальным методикам, разработанным в Гидрохимическом институте [1]. Эти методы основаны на ферментативном гидролизе  $\alpha$ -нафтилфосфата щелочной фосфатазой (6) и  $\alpha$ -нафтилацетата эстеразами (7) с образованием  $\alpha$ -нафтола и последующей реакции азосочетания  $\alpha$ -нафтола с РР-солью для получения окрашенного комплекса (8):

Для определения активности ферментов 0,5-1,0 л воды фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,3 мкм, смывали осевший сестон 6-ю мл фильтрата. По 1 мл полученной взвеси сестона помещали в пробирки. Далее для определения активности щелочной фосфатазы в пробирки приливали по 0,5 мл 0,3 моль/л гидрокарбонатного буфера, рН 10,0 и 0,7 мл 0,35 %-ного водного раствора  $\alpha$ -нафтилфосфата, для эстераз – 0,5 мл 0,1 моль/л трис-НСI буфера, рН 7,4 и 0,2 мл 0,25%-ного раствора  $\alpha$ -нафтилацетата в этаноле.

Определение активности ферментов в каждом образце воды осуществляли в двух повторностях. Для контроля скорости химического гидролиза субстратов, а также активности растворенных ферментов ставили холостые пробы с фильтрованной водой.

Инкубационные смеси ферментов с субстратами выдерживали при 30° С в термостате в течение 1,0-2,0 ч для щелочной фосфатазы и 0,5-1,0 ч для эстераз (время инкубации ферментов увеличивали при снижении температуры воды в реке, которое вызывало уменьшение ферментативной активности). После инкубации в каждую пробирку приливали по 0,2 мл 0,1 %-ного раствора РР-соли для связывания образовавшегося в результате ферментативной реакции  $\alpha$ -нафтола в окрашенный комплекс. Через 3 мин в пробирки для определения активности щелочной фосфатазы приливали по 0,4 мл раствора, содержащего 10% NaOH и 60% глицерина, 2 мл дистиллированной воды и 2 мл ацетона, для определения активности эстераз – по 0,4 мл 5 %-ного раствора трихлоруксусной кислоты и 3 мл ацетона. Взвесь водорослей отфильтровывали через бумажный фильтр. Окрашенные растворы фотометрировали при  $\lambda=530$  нм для щелочной фосфатазы и  $\lambda=460$  нм для эстераз. Активность обоих ферментов (А) рассчитывали в мкмоль/(л·ч)  $\alpha$ -нафтола по формуле:

$$A = \frac{mv_1}{144 v_2 VT}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса образовавшегося  $\alpha$ -нафтола, мкг,  
 $v_1$  – объем взвеси сестона пробы воды, мл (6 мл),  
 144 – молярная масса  $\alpha$ -нафтола, г/ моль,  
 $v_2$  – объем взвеси сестона, приливаемый в пробирку, мл,  
 $V$  – объем профильтрованной пробы воды, л,  
 $T$  – время инкубации, ч.

Используемая методика определение активности ферментов аттестована в соответствии с существующими правилами (РД 52.24.517-2007). Погрешность методики определения активности щелочной фосфатазы сестона в диапазоне низких значений, от 0,02 до 0,10 мкмоль/(л ч)  $\alpha$ -нафтола, составляет 33 %, в диапазоне высоких значений, свыше 0,01 до 4, 00 мкмоль/(л ч)  $\alpha$ -нафтола – 16 %. Методика определения активности эстераз сестона более точная и в широком интервале значений, от 0,15 до 13,00 мкмоль/(л ч)  $\alpha$ -нафтола, ее погрешность не превышает 10 %.

Концентрации различных форм фосфора и азота, общего железа, АСПАВ и БПК<sub>5</sub> определяли по стандартным методикам, используемым в системе Росгидромета.

Методы определения активности щелочной фосфатазы и эстераз сестона экспрессны, применимы в полевых условиях. Воспроизводимость методов 11% и, соответственно, 12%.

Учитывая тот факт, что между активностью ферментов и концентрациями загрязняющих веществ в р. Дон выявлялись, в основном, положительные коэффициенты корреляции, было проведено сопоставление активности ферментов с индексами загрязненности воды, которые рассчитывали по формуле:

$$\frac{\sum C_n / ПДК_n}{n}, \quad (2)$$

где  $C_n$  – концентрация загрязняющего вещества,  
 $n$  – количество загрязняющих веществ.

Рассчитывали три варианта индексов загрязненности. В первый (ИЗВ<sub>1</sub>) вошли медь, цинк и БПК<sub>5</sub>, во второй (ИЗВ<sub>2</sub>) добавилась растворенная ртуть, в третий (ИЗВ<sub>3</sub>) –

нефтепродукты. Коэффициенты корреляции, рассчитанные для общей и удельной активности ферментов, представлены в таблице 1. Для большинства сезонов выявлены высокие положительные коэффициенты корреляции с ИЗВ<sub>1</sub> (рис. 1 и 2). Добавление ртути и нефтепродуктов в расчет ИЗВ снижало коэффициенты корреляции с активностью ферментов, в особенности с эстеразами, до статистически незначимых. В отдельные периоды наблюдалась отрицательная корреляция между активностью ферментов и ИЗВ<sub>2</sub>. Эти результаты свидетельствуют о взаимодействии различных загрязняющих веществ, которые, как известно, могут снижать или увеличивать негативные эффекты на водные организмы.

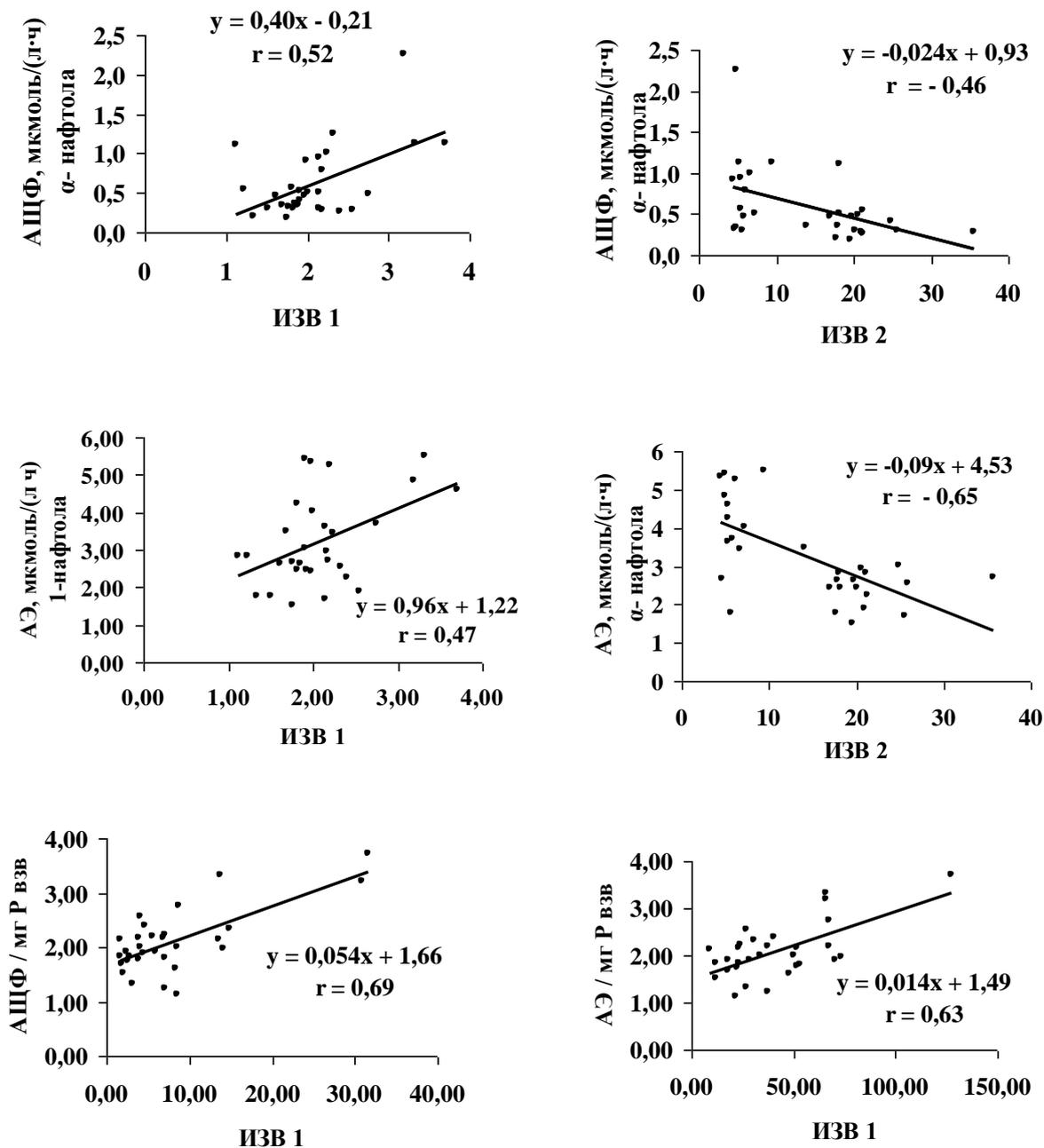


Рис. 1. Зависимость между показателями активности ферментов и индексами загрязнения воды (ИЗВ) в нижнем течении р. Дон в июле-сентябре 2002 г.

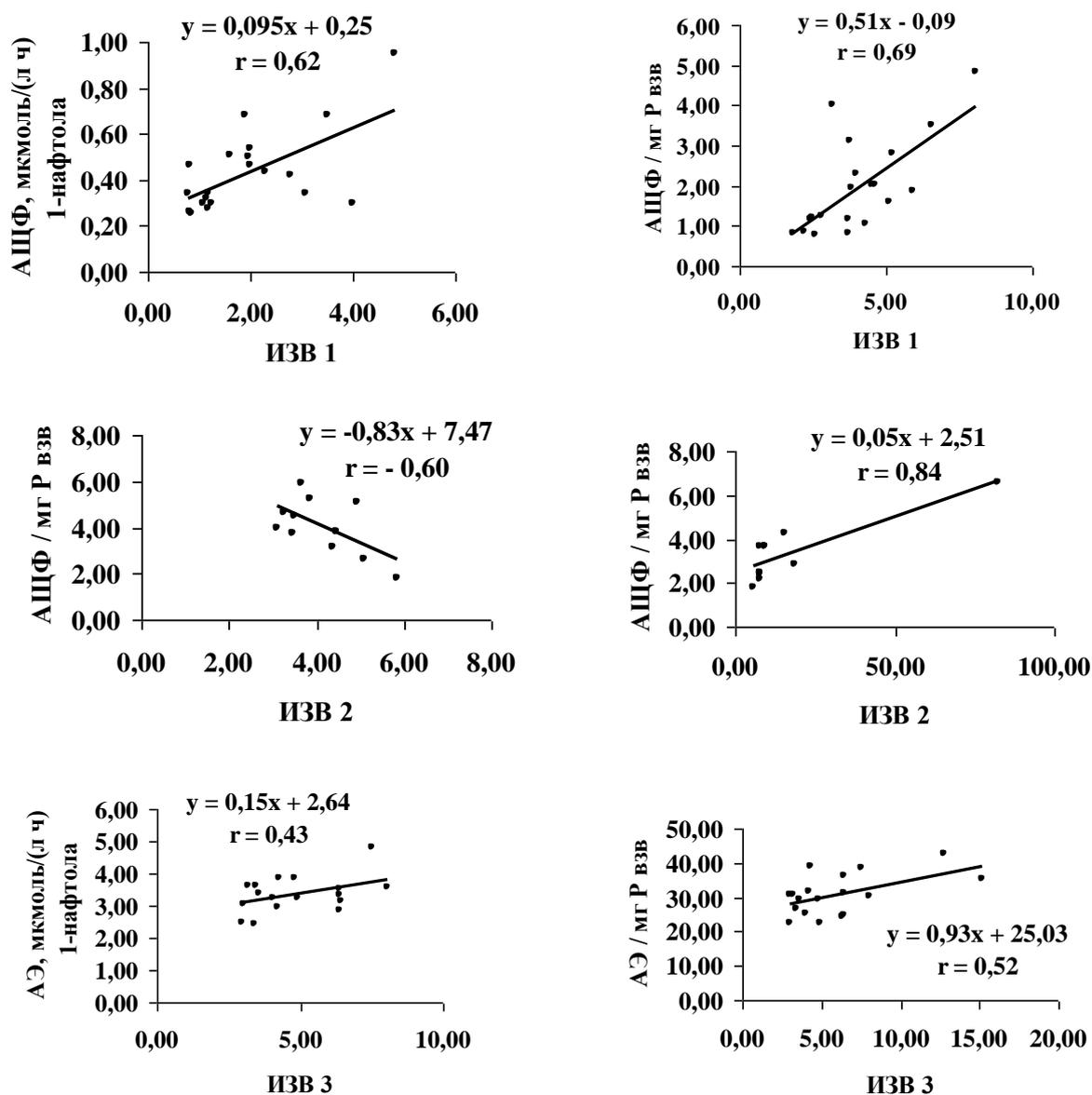


Рис. 2. Зависимость между показателями АЩФ и индексами загрязнения воды (ИЗВ) в дельте р. Дон в мае-июле 2003 г.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между активностью ферментов и индексами загрязненности воды (\* – статистически значимые коэффициенты корреляции)

Период наблюдений	Число наблюдений n	Индексы загрязненности воды	АЩФ	АЭ	$\frac{\text{АЩФ}}{\text{мг Р}_{\text{вЗВ}}}$	$\frac{\text{АЭ}}{\text{мг Р}_{\text{вЗВ}}}$
Июль-сентябрь 2002 г.	30	ИЗВ <sub>1</sub>	0,52*	0,47*	0,69*	0,63*
		ИЗВ <sub>2</sub>	-0,36	-0,65*	-0,31	-0,37*
Июль-октябрь 2002 г.	40	ИЗВ <sub>1</sub>			0,45*	0,47*
		ИЗВ <sub>2</sub>			-0,05	-0,12
Май-июль 2003 г.	20	ИЗВ <sub>1</sub>	0,62*	-0,26	0,69*	-0,01
		ИЗВ <sub>2</sub>	0,28	0,44*	0,34	0,52*
		ИЗВ <sub>3</sub>	0,28	0,43*	0,35	0,52*

Исследуемый участок реки по данным Росгидромета относится к 3-ему классу качества воды «загрязнённая» – загрязнен на всем протяжении. Активность ферментов на выбранном участке реки систематически контролировали значения БПК<sub>5</sub> и железа общего, периодически – концентрации меди и цинка. Концентрации железа и цинка не превышали ПДК, концентрации меди составляли 1-3 мкг/л, что является фоном для дельты Дона. В некоторых пробах значения БПК<sub>5</sub> превышали допустимые [2].

По данным гидробиологического мониторинга состояние экосистемы всего исследованного участка дельты Дона по фитопланктону и зоопланктону оценивалось как экологическое напряжение [3, 4]. Численность бактериопланктона, как показали данные собственных исследований, соответствует состоянию экологического напряжения с элементами экологического регресса, которое должно сопровождаться увеличением интенсивности метаболизма гидробиоценозов. Таким образом, ферментативные показатели, свидетельствуя о повышенной скорости круговорота фосфора и углерода в экосистеме дельты Дона, адекватно оценивают уровень метаболизма планктонных сообществ и позволяют выявлять наиболее напряженные ситуации и могут быть использованы в мониторинге поверхностных вод Цимлянского водохранилища и водоёма-охладителя территории воздействия Ростовской АЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предеина, Л.М. Методы определения активности внеклеточных эстераз и щелочной фосфатазы сестона и возможности их использования для оценки уровня евтрофирования и загрязнения пресноводных экосистем : автореф. дис. канд. хим. наук [Текст] / Л.М. Предеина. – Ростов н/Д, 1992.
2. Бейсуг, О.И. Биоиндикация экологического состояния водных экосистем территории воздействия Ростовской АЭС с использованием ферментативных показателей [Текст] / О.И. Бейсуг // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №1(6). – С. 29–32.
3. Качество поверхностных вод Российской Федерации [Текст] / Росгидромет ; Гидрохим. ин-т ; гл. ред. А. М. Никаноров. – Ростов н/Д, 2003. – 355 с.
4. Качество поверхностных вод Российской Федерации [Текст] / Росгидромет ; Гидрохим. ин-т ; гл. ред. А. М. Никаноров. – Ростов н/Д, 2004. – 355 с.

### **Estimation of Ecological State of Water in the Lower Don on the Basis of Enzymatic Indicators**

**O. I. Beisug**

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

**Abstract** – In this paper it is proposed to evaluate the ecological state of water in the lower reaches of the river Don based on enzymatic indicators. Alkaline phosphatase and nonspecific esterase carry out the relationship of aquatic organisms with the environment. They are also informative to assess the level of water contamination by nitrogen compounds, phosphorus, oil products, phenols, heavy metals.

**Keywords:** alkaline phosphatase activity, the activity of the esterases seston, enzymes, enzymatic indicators, hydrochemical indicators, environmental monitoring, pollution.

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,  
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

УДК 621.87

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ К ИССЛЕДОВАНИЮ МЕХАНИЗМА ГЛАВНОГО  
ПОДЪЕМА ПОЛЯРНОГО КРАНА БАЛАКОВСКОЙ АЭС

© 2013 г. Н.М. Чернова, Р.А. Кобзев

*Балаковский институт техники, технологии и управления – филиал Саратовского  
государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина,  
Балаково, Саратовская обл.*

Поступила в редакцию 31.05.2013 г.

В статье рассмотрено решение многокритериальной задачи оптимального проектирования механизма главного подъема полярного крана КМ 320/160/ 2×70 Балаковской АЭС на основе применения принципа Парето.

*Ключевые слова:* механизм подъема, полярный кран, принцип Парето, оптимальное проектирование.

Оптимальное проектирование крановых механизмов имеет целью получение объектов с наилучшими технико-экономическими показателями. При полной научной постановке задачи оптимальное проектирование механизмов включает построение математической модели механизма для конкретной структуры или ряда структур, каждая из которых описывается своей системой параметров; выбор критерия качества и получение его аналитической зависимости от параметров; разработку ограничений; разработку алгоритма оптимизации, нахождение оптимального решения и доведение его до инженерного воплощения.

Для решения задачи оптимального проектирования механизма подъема груза был разработан метод многокритериальной оптимизации, основанный на принципе Парето[1].

В качестве составляющих векторного критерия качества решения  $f=(f_1, \dots, f_9)$  при оптимальном проектировании механизма подъема груза были предложены следующие критерии оптимальности.

Стоимость электропривода и управляющих устройств, а также эффективность их работы, учитывается экономической оценкой  $A$  (руб) [2]:

$$A = P \cdot (C_{дв} + C_y) + \frac{10 \cdot (C_{дв} + C_y) P \cdot S_k}{S_{доп}} + S_{эл} \cdot \beta \cdot \gamma \cdot n_{вк} \cdot T \cdot P^{3/2},$$

где  $P$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;  
 $C_{дв}$  – удельная стоимость 1 кВт мощности двигателя, руб/кВт;  
 $C_y$  – удельная стоимость управляющего устройства на 1 кВт мощности двигателя, руб/кВт;  
 $S_k$  – число включений за год работы;

- $S_{\text{доп}}$  – износостойкость электропривода (допустимое число включений до проведения капитального ремонта);
- $S_{\text{эл}}$  – усредненная стоимость электроэнергии на пуск двигателя мощностью 1 кВт, руб/кВт;
- $\beta$  – коэффициент, определяющий потери при пуске, торможении, регулировании скорости в зависимости от вида управляющих устройств;
- $\gamma$  – коэффициент, характеризующий приведенные моменты инерции механизмов;
- $n_{\text{вк}}$  – число включений в час;
- $T$  – число часов работы в год.

Выбор трансмиссии предложено оценивать двумя критериями: габаритным размером привода  $L_p$  и его массой  $m_p$ . Остальные элементы привода: барабан, канат, крюковая подвеска, муфты, тормоза в векторном критерии учитываются в виде массы соответствующих частей привода:  $m_b$ ,  $m_k$ ,  $m_n$ ,  $m_m$ ,  $m_t$ . При этом оптимальные параметры барабана по критерию металлоемкости определяются отдельно по предложенной модификации метода Хука-Дживса. Для оценки эффективности в отношении передачи энергии различных вариантов компоновки привода принят коэффициент полезного действия механизма  $\eta$ .

Цель оптимального проектирования механизма подъема груза в математических терминах была выражена в условии минимизации функции  $f=(f_1, \dots, f_9)$ :

$$\begin{aligned} f_1 &= A; f_2 = L_p; f_3 = m_p; f_4 = m_b; f_5 = m_k; \\ f_6 &= m_n; f_7 = m_m; f_8 = m_t; f_9 = -\eta, \end{aligned} \quad (1)$$

на множестве возможных решений задачи  $X$ .

Для оптимального проектирования механизма подъема груза разработан алгоритм [3], согласно которому оптимальное проектирование механизма выполняется в три этапа. На первом этапе формируется область возможных решений задачи: для каждого значения кратности на интервале от 1 до 24 рассчитываются все возможные схемы комплектации механизма подъема по типам двигателей, передаточных механизмов, управляющих устройств, муфт, тормозов. Для механизмов режима нагружения 1М-3М предусмотрена при необходимости возможность перехода к схемам с открытой зубчатой передачей. По критерию минимума металлоемкости для каждой схемы рассчитываются оптимальные параметры барабана. Для каждого возможного решения определяются составляющие векторного критерия оценки качества решения (1). На втором этапе по значениям векторного критерия формируется область парето-оптимальных решений. На третьем этапе формируется идеальный вектор [1] и для каждого парето-оптимального решения рассчитывается метрика, по минимальному значению метрики определяется оптимальное решение задачи.

Рассмотренный выше метод оптимального проектирования механизмов подъема был применен при выполнении проекта модернизации механизма главного подъема полярного крана КМ 320/160/2×70 Балаковской АЭС. Механическая часть существующей схемы механизма главного подъема (рис. 1 а) представляет собой два электродвигателя постоянного тока мощностью 40 кВт М1 и М2, которые через редуктор и соединительные муфты передают вращение на барабан. Редуктор состоит из дифференциальной части, включающей колеса  $z_1, z_2, z_3$  и водило  $H$ , а также тихоходной части, представляющей собой трехступенчатую косозубую цилиндрическую кратную передачу, включающую колеса  $z_4, z_5, z_5', z_6, z_6', z_7$ . Передача вращения от двигателя М2 осуществляется через рядовую зубчатую передачу, состоящую из колес  $z_8, z_9, z_{10}$ , числа

зубьев которой подобраны таким образом, чтобы двигатель М2 обеспечивал подъем номинального груза с заданной скоростью в случае отказа двигателя М1. Для регулирования скорости подъема в диапазоне от 0,1 до 1 м/мин в качестве управляющих устройств применяются тиристорные преобразователи постоянного тока. Применяется полиспагст с кратностью  $i = 10$ , схема запасовки каната представлена на рисунке 1б.

Существующая схема механизма главного подъема имеет ряд недостатков. Не выполняется концепция промышленной безопасности работы АЭС, согласно которой должна выполняться тройная защита при отказе любого механизма. Мощности применяемых двигателей не обеспечивают возможность подъема номинального груза 320 т при работе одного двигателя, для подъема номинального груза используется одновременная работа двух двигателей, что также противоречит концепции промышленной безопасности работы АЭС. Применяемая в существующей схеме тихоходная зубчатая передача, вес которой составляет 9750 кг, а габаритные размеры 3100×1150×1700 мм, требует исследования на оптимальность.

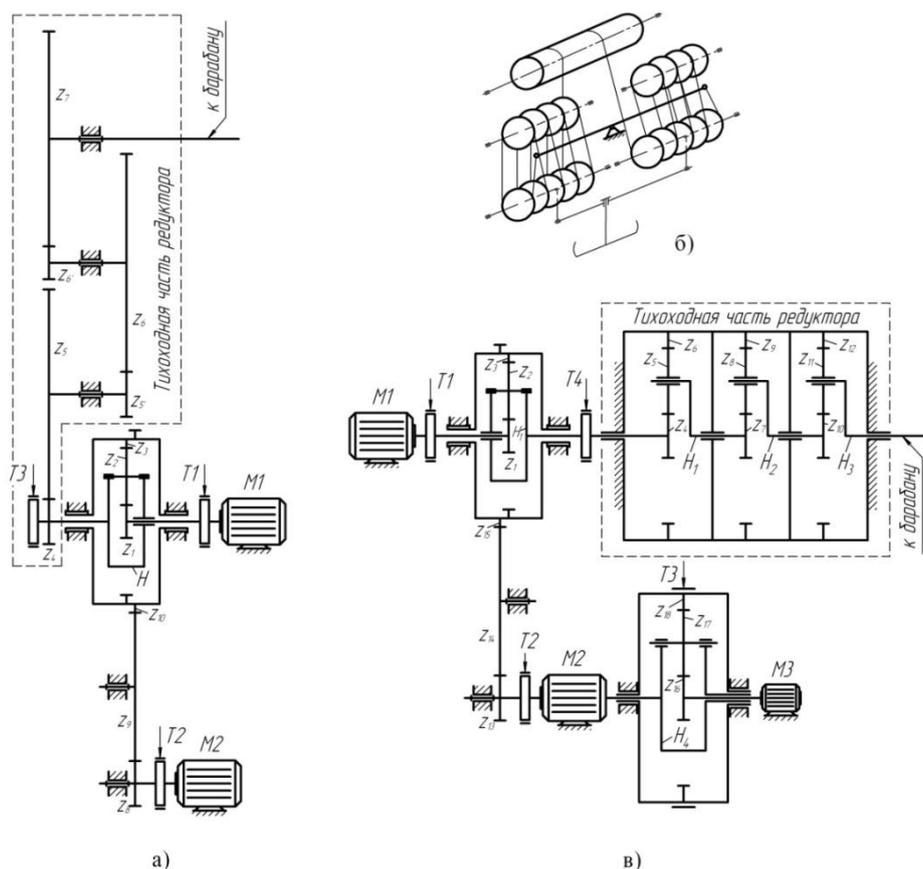


Рис. 1. Проект модернизации механизма главного подъема полярного крана КМ 320/160/2×70 Балаковской АЭС

При выполнении оптимизационного исследования механизма главного подъема полярного крана были приняты следующие исходные данные: грузоподъемность 320 т, высота подъема 45 м, номинальная скорость подъема 1 м/мин, посадочная скорость 0,1 м/мин, группа режима работы 4М.

Для обеспечения концепции промышленной безопасности работы АЭС предложено включить в схему третий двигатель М3 малой мощности, подключенный по схеме с микроприводом (рис. 1в), что позволит обеспечить при незначительных дополнительных затратах тройную защиту при отказе двигателей М1 и М2. Мощность

двигателей М1 и М2 должна обеспечивать возможность работы механизма с номинальным грузом при работе одного из двигателей.

При формировании области возможных решений задачи оптимального проектирования механизма подъема  $X$  согласно предложенной методике рассматривались варианты компоновки механизма при различных значениях кратности полиспаста на интервале  $[i_{min}, i_{max}]$ . В качестве минимального значения было принято значение кратности, при котором можно было подобрать канат. Рассматривался канат стальной двойной свивки типа ЛК-РО конструкции  $6 \times 36 (1+7+7/7+14)+1$  о.с. (ГОСТ 7668-80). Применительно к решению данной задачи  $i_{min} = 8$ . Максимальное значение кратности  $i_{max} = 13$  ограничено заданными конструктивно предельными значениями диаметра и длины барабана:  $D_{Bmax} = 2500$  мм,  $L_{Bmax} = 6800$  мм.

При неизменной дифференциальной части редуктора, для каждого значения кратности рассматривались следующие схемы компоновки тихоходной части: компоновка по схеме базового варианта; трехступенчатая передача, составленная из трех передач типа  $2k-h$  однорядных (рис. 1в) –  $A+A+A$ , согласно классификации, принятой в [4]; двухступенчатая передача, составленная из двух передач типа  $2k-h$  (рис. 2а) –  $C+A$ ; передача типа  $3k$  (рис. 2б). Параметры зубчатых передач определялись в отдельной подпрограмме из исследования на оптимальность [5].

Для каждого значения кратности полиспаста определялись оптимальные параметры барабана по предложенной модификации метода покоординатного спуска Хука-Дживса для решения задач с ограничениями из условия минимума металлоемкости. Проверка ограничений выполнялась в отдельной подпрограмме. Управляемые параметры выбирались при выполнении условий прочности по эквивалентным напряжениям от сжатия, изгиба и кручения в цилиндрических стенках барабанов с однослойной навивкой каната, а также устойчивости боковых стенок.

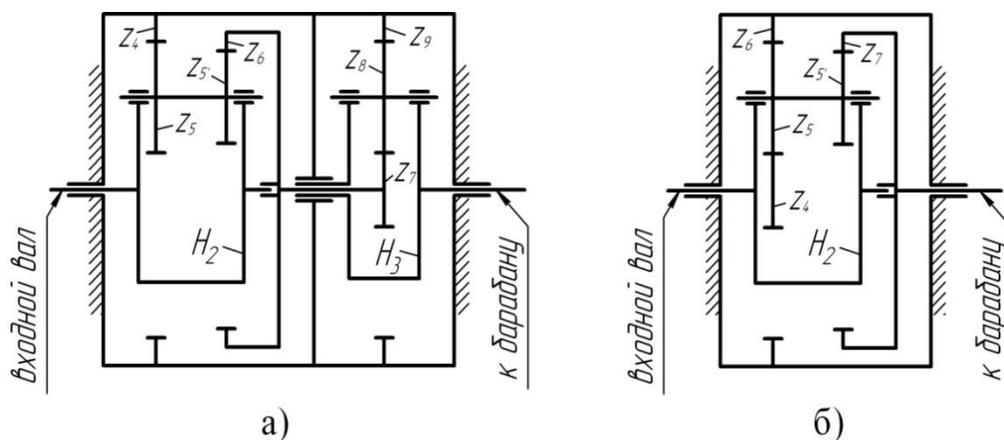


Рис. 2. Схемы компоновки тихоходной части

Модифицированный алгоритм Хука-Дживса включает в себя две процедуры: исследование окрестности базовой точки, которое проводится методом покоординатного спуска, и движение вдоль одной из координат, дающее наибольшее уменьшение функции цели.

Выбор оптимального диаметра барабана производился методом покоординатного спуска по условию:

$$D_B = \left\{ \begin{array}{l} D_B + \Delta D_B, \text{ если } m_B^{(r+1)} < m_B^r; \\ D_B, \text{ если } m_B^r \leq m_B^{(r+1)}, (D_B + \Delta D_B) > D_{Bmax}, L_B > L_{Bmax}. \end{array} \right\}$$

где  $\Delta D_B$  – первоначальное значение шага изменения диаметра барабана, назначаемое конструктором;

$r$  – номер итерации по изменению диаметра барабана;

$D_{B\max}, L_{B\max}$  – максимальный диаметр и максимальная длина барабана.

Переменное значение шага определялось по условию:

$$\Delta D_B = \begin{cases} \Delta D_B, & \text{если } m_B^{(r+1)} < m_B^r; \\ -D_B/2, & \text{если } m_B^r \leq m_B^{(r+1)}; \\ 0, & \text{если } |\Delta D_B| \leq \varepsilon, \end{cases}$$

где  $\varepsilon$  – минимальное значение шага изменения диаметра барабана, назначаемое из условия точности нахождения минимума металлоемкости барабана.

При решении данной задачи  $\Delta D_B = 100$  мм,  $\varepsilon = 10$  мм.

Согласно техническому заданию на проектирование, электропривод механизма комплектовался асинхронными крановыми двигателями с фазным ротором типа МТН, в качестве управляющего устройства использованы тиристорные регуляторы напряжения серии РСТ.

Для каждого полученного возможного решения рассчитывались значения составляющих векторного критерия оценки качества решения (1). Путем удаления не улучшаемых решений на области возможных решений  $X$  была сформирована область парето-оптимальных решений задачи  $P_f(X)$ , состоящая из 10 решений. Основные параметры данных решений приведены в таблице 1:  $i$  – кратность полиспафта;  $A$  – экономическая оценка;  $D_B$  – диаметр барабана;  $m_B$  – масса барабана;  $m_k$  – масса канатов; тип передачи тихоходной ступени редуктора;  $\eta_{тс}$ ,  $m_{тс}$ ,  $L_{тс}$  – коэффициент полезного действия, масса и длина тихоходной ступени редуктора;  $\rho$  – значение метрики.

**Таблица 1.** Основные параметры парето-оптимальных решений при проектировании механизма подъема

№	$i$	$A$ , тыс.руб	$D_B$ , мм	$m_B$ , кг	$m_k$ , кг	тип передачи	$\eta_{тс}$	$m_{тс}$ , кг	$L_{тс}$ , мм	$\rho$
б/в	10	282,006	2500	9648	6499	-	0,86	9750	3100	2,097
1	10	317,272	2180	8628	6499	C+A	0,755	8800	1450	0,804
2	10	317,272	2180	8628	6499	A+A+A	0,93	9150	1570	0,759
3	11	317,272	2240	8267	6411	C+A	0,77	8000	1420	0,591
4	11	317,272	2240	8267	6411	A+A+A	0,93	8950	1560	0,665
5	11	435,331	2240	8267	6411	3k	0,72	7200	1300	0,855
6	12	317,272	2320	8362	6318	A+A+A	0,932	7200	1530	0,383
7	12	435,371	2320	8362	6318	3k	0,73	6900	1290	0,789
8	13	317,272	2460	8644	6160	A+A+A	0,932	8000	1510	0,492
9	13	317,272	2460	8644	6160	C+A	0,783	7800	1370	0,515
10	13	435,371	2460	8644	6160	3k	0,72	8100	1330	1,014

Для сужения области парето-оптимальных решений до области принимаемых

решений была применена модификация метода целевого программирования [6], согласно которой на области  $P_f(X)$ , был сформирован идеальный вектор  $U=(f_{1min}, \dots, f_{9min})$ , где  $f_{imin}$  – минимальное значение  $i$ -го критерия оптимальности на области  $P_f(X)$ . Для каждого парето-оптимального решения рассчитывалась метрика  $\rho(x_j)$ , представляющая собой неотрицательное число, характеризующее расстояние от рассматриваемого решения до идеального вектора в многокритериальном пространстве, по формуле:

$$\rho(x_j) = \sum_{i=1}^9 \frac{f_{ij} - f_{i\min}}{f_{i\min}}$$

Полученные значения метрик приведены в таблице. В качестве оптимального принят шестой вариант решения, выполненный по схеме рисунка 1в, т.к. он имеет минимальное значение метрики, т.е. расположен ближе всех остальных решений к идеальному вектору  $U$  в многокритериальном пространстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернова, Н.М. Развитие теории оптимального проектирования механизмов грузоподъемных кранов пролетного типа : автореф. дис. докт. техн. наук [Текст] / Н. М. Чернова. – Новочеркасск, 2009. – 39 с.
2. Справочник по кранам. В 2-х томах [Текст] / Под редакцией М.М. Гохберга. – М. : Машиностроение, 1988. – Т. 2. – 535 с.
3. Чернова, Н.М. Автоматизация оптимального проектирования механизма подъема подъемно-транспортных машин [Текст] / Н.М. Чернова // Современные технологии в машиностроении: Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2008. – С. 227–229.
4. Планетарные передачи. Справочник [Текст] / Под редакцией В.Н. Кудрявцева, Ю.Н. Кирдяшева. – Л. : Машиностроение, 1977. – 535 с.
5. Чернова, Н.М. Оптимальное проектирование планетарных зубчатых передач: Монография [Текст] / Н.М. Чернова. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2006. – 184 с.
6. Ногин, В.Д. Проблема сужения множества Парето: подходы к решению [Текст] В.Д. Ногин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – №1. – С. 98–112.

## Application of multicriterion optimization method in terms of research of the Balakovo Nuclear Power Plant main polar crane hoist

N.M. Chernova\*, R.A. Kobzev\*\*

*Balakovo Institute of technique, technology and management –  
branch of SSTU named after Gagarin Y.A.,*

*140 Chapaev St., Balakovo, Saratov region, Russia 413800*

*\* e-mail: natalichermin@mail.ru ; \*\* e-mail: cobzev.roman@yandex.ru*

**Abstract** – The article is devoted to solving the problem of optimal design of polar crane KM 320/160/2×70 main lifting mechanism at Balakovo NPP. Pareto principle is applied.

**Keywords:** lifting mechanism, polar crane, Pareto principle, optimal design.

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

УДК 621.762

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОПЛОТНОГО  
МАТЕРИАЛА ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОМ УПЛОТНЕНИИ  
ПОРОШКОВОЙ БРОНЗЫ**

© 2013 г. А.А. Мецлер, Ю.Ю. Медведев, С.А. Томилин, Т.А. Литвинова

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

Поступила в редакцию 12.09.2013 г.

Рассмотрены механизм и технологические особенности формирования высокоплотного материала при электроконтактном уплотнении порошковой бронзы с циклическим приложением давления прессования. Выявлена возможность влияния на величину площади контакта между частицами порошка.

*Ключевые слова:* электроконтактное уплотнение, порошковая бронза, пористость, давление прессования, циклическое приложение давления прессования.

При производстве изделий методами порошковой металлургии наиболее широкое применение получила технология горячего динамического прессования заготовок [1], позволяющая получать порошковые материалы с заданными свойствами, а также создавать новые материалы, производство которых традиционными методами затруднено или практически невозможно. Высокие требования, предъявляемые к современным материалам, вызывают необходимость проведения дальнейших исследований в этой области.

В настоящее время отмечается несколько путей развития порошковой металлургии. Одним из них является совершенствование технологических приёмов, основой которых является совмещение термоэлектрического воздействия на порошковую шихту с деформационным.

Закономерным развитием этого направления является электроконтактное уплотнение. Его преимуществами являются высокая технологичность и возможность получения высокоплотных порошковых изделий из порошковых материалов с повышенной твёрдостью без предварительной термообработки. Например, в [2] предложен способ получения порошковой высокоаустенитной стали 110Г13 методом электроконтактного уплотнения.

Настоящая работа является продолжением серии исследований по выявлению закономерностей формирования порошковых изделий рассматриваемым методом. В ней изложены особенности формирования высокоплотного материала при электроконтактном уплотнении порошковой бронзы.

В качестве исходного материала использовали бронзовый порошок марки БрОФ8,0-0,3. Выбор этого порошка объясняется его низкой прессуемостью при формировании пористых заготовок статическим холодным прессованием, обусловленной высокой микротвёрдостью материала частиц (1470...1600 МПа), полученных в результате кристаллизации при высоких скоростях охлаждения, реализуемых в процессе распыления расплавленного металла.

В работе [3] была установлена принципиальная возможность получения этим

методом высокоплотного материала на основе бронзового порошка, определены параметры процесса, приводящие к получению материала с остаточной пористостью не более 1,5–3 %. Проведённые исследования позволили выявить и изучить механизмы электроконтактного уплотнения, кинетика которых регулируется давлением прессования, длительностью пропускания электрического тока и его плотностью [4].

Совмещение механического и электрического воздействий на порошковую заготовку является основой электроконтактного уплотнения. Поэтому одним из важнейших направлений развития метода является определение степени влияния вышеперечисленных технологических параметров на процесс формирования порошкового материала.

Наряду с электроконтактным уплотнением при постоянном приложении давления прессования [3, 4], для более детального изучения этого процесса в настоящей работе было рассмотрено формирование порошковой бронзы в условиях циклического приложения давления прессования.

Для установления закономерностей уплотнения в условиях циклического приложения давления прессования был проведен ряд экспериментов. Электроконтактное уплотнение проводили на лабораторной установке, конструкция и принцип действия которой представлены в [5]. Величину плотности полученного материала определяли методом гидростатического взвешивания. Методика проведения исследований заключалась в следующем.

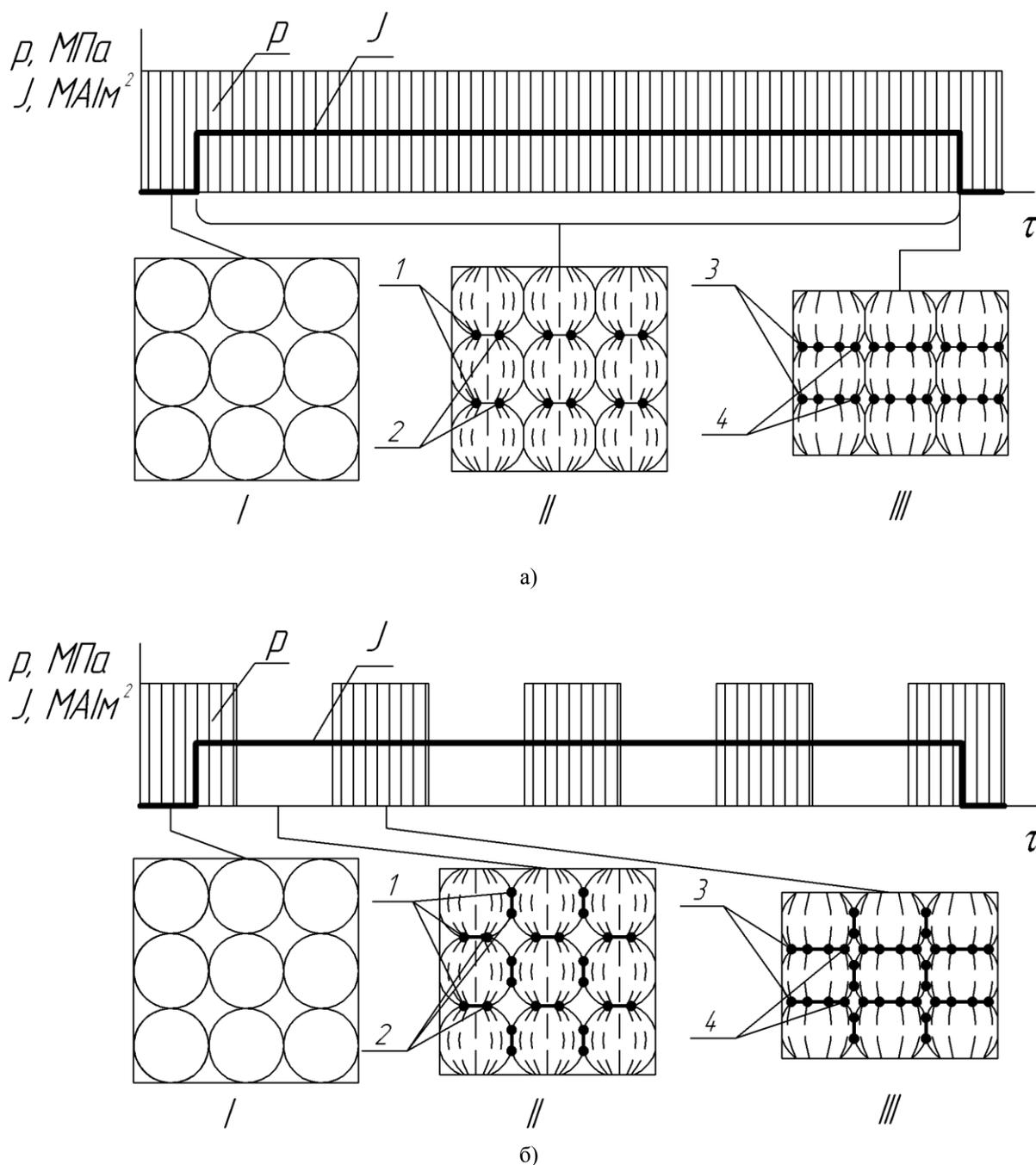
Навеска массой 1,2 г помещалась в диэлектрическую матрицу. Затем прикладывалось давление прессования и, спустя небольшой промежуток времени (2 – 3 секунды), через порошковую шихту пропусклся электрический ток. Через определённое время (5–7 секунд) давление прессования снималось, и процесс сопровождался пропусканием электрического тока без нагрузки с примерно равным временным интервалом (5–7 секунд). Далее процедура повторялась при постоянном воздействии на прессовку электрического тока.

Результаты проведённых экспериментов при различных значениях прикладываемой нагрузки [6] позволили сделать заключение, что порошковая бронза, полученная при постоянном давлении, обладала большим значением пористости, нежели сформированная в условиях циклического приложения давления прессования (табл. 1). Причем, с возрастанием давления прессования темп снижения пористости увеличивался и уже при величине давления 440 МПа пористость при циклическом способе его приложения, оказалась более чем в 2 раза ниже, чем при постоянном. Это объясняется тем, что воздействие электрического тока на металлический порошок порождает следующие явления. На контактных участках между соседними частицами под влиянием тока происходит интенсивный массоперенос в твёрдой фазе [7]. Кроме того, часть металла может расплавляться, что сопровождается, как правило, ещё более интенсивным массопереносом. Локальный разогрев металла, обусловленный консолидацией линий прохождения электрического тока в приконтактной зоне, может приводить к оплавлению соответствующих участков частиц и, как следствие, повышению плотности материала.

**Таблица 1.** Зависимость пористости образцов от способа приложения давления прессования

Плотность тока $J$ , МА/м <sup>2</sup>	Длительность пропускания тока, с	Давление прессования, МПа	Пористость, %	
			при постоянном давлении	при циклическом давлении
40	50	320	9,2	6,9
		380	8,8	5,1
		440	7,9	3,2

Для более наглядного отображения процессов, происходящих в результате совместного электромеханического воздействия на уплотняемый материал и отличающихся характером прикладываемой нагрузки, рассмотрим циклограмму, представленную на рисунке 1.



а) – при постоянном приложении давления; б) – при циклическом приложении давления

**Рис. 1.** Схема уплотнения бронзового порошка с учётом стадийности воздействия давления прессования

Первоначальное приложение давления прессования без пропуска электрического тока (рис. 1 а, б, стадия I) в обоих случаях оправдано, так как уплотнение порошковой шихты происходит на этом этапе из насыпного состояния по

механизму структурной деформации. Вследствие этого структура материала в обоих случаях представляет собой упорядоченное расположение частиц с максимально возможным для этой стадии уплотнением.

При пропускании тока (рис. 1 а, стадия II) уплотнение протекает по механизму пластического течения. Формирование материала на этом этапе облегчается тепловыделением в межчастичных областях. С течением времени постоянно оказываемое давление начинает препятствовать интенсивному разогреву частиц в зоне контакта (рис. 1 а, точки 1–2), способствуя образованию новых контактных участков (рис. 1 а, стадия III, точки 3–4). При этом доля контактной поверхности увеличивается, плотность тока, проходящего через контактные участки за счет увеличения их площади снижается, а тепловой эффект уменьшается.

В результате тепловыделения в контактной зоне, необходимого для протекания процессов разупрочнения и образования качественного сращивания на контактных поверхностях недостаточно, что приводит к разрыву частиц и формированию материала с относительно высокой конечной пористостью (табл. 1).

Положительное влияние циклического приложения давления на плотность прессовки объясняется структурообразованием материала в условиях горячей пластической деформации, сопровождающимся возникновением новых площадок контакта (рис. 1 б, стадия II, точки 1–2) за счёт поворота и смещения частиц, способствующих более плотной их упаковке, а, следовательно, более интенсивному снижению пористости. Снятие давления способствует также протеканию релаксационных процессов и снятию упрочнения материала частиц, вызванного предшествующей пластической деформацией. Повторно прикладываемое давление приводит к увеличению площади контактной поверхности (рис. 1 б, стадия III, точки 3–4) и дальнейшему уплотнению.

Таким образом, можно констатировать, что в случае электроконтактного уплотнения с циклическим приложением давления происходит чередование процессов упрочнения и разупрочнения, что способствует улучшению прессуемости порошковой шихты.

Исходя из полученных результатов исследования формирования порошковой бронзы в различных условиях механического воздействия на уплотняемый материал, можно сделать вывод, что при реализации схемы с циклическим приложением нагрузки появляется возможность регулирования величины площади контакта между частицами порошка путём периодического приложения и снятия усилия прессования. В этом случае достигается требуемая степень разогрева приповерхностных объемов частиц и обеспечивается получение качественного межчастичного сращивания в сочетании с высокой плотностью материала. Известно, что свойства порошкового материала в значительной степени определяются качеством контактного взаимодействия и структурой материала [1]. Кроме этого, для разработки технологических процессов и прогнозирования свойств порошковых изделий необходимо оценивать относительную площадь контактного сечения [8]. Поэтому, указанное влияние на величину площади контакта между частицами порошка дает возможность получать материалы с заранее заданными свойствами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дорофеев, Ю.Г.* Динамическое горячее прессование пористых порошковых заготовок [Текст] / Ю.Г. Дорофеев. – М.: Металлургия, 1977. – 122 с.
2. *Пирожков, Р.В. и др.* Получение структуры стали 110Г13 методом электроконтактного уплотнения [Текст] / Р.В. Пирожков, Т.А. Литвинова, С.А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 4(5). – С.49–53.

3. *Егоров, С.Н. и др.* Исследование технологических параметров процесса ЭПУ при получении высокоплотных порошковых изделий [Текст] / С.Н. Егоров, А.А. Мецлер // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – Спец. вып. – С.101–104.
4. *Мецлер, А.А.* Влияние технологических режимов электропластического уплотнения на пористость порошковой бронзы [Текст] / А.А. Мецлер // Материалы и технологии XXI века : сб. ст. IV Междунар. науч.-техн. конф., 23–24 марта 2006 г. – Пенза, 2006. – С. 8–10.
5. *Егоров, С.Н. и др.* Установка для электропластического уплотнения металлического порошка [Текст] / С.Н. Егоров, Ю.Ю. Медведев, М.С. Егоров и др. // Порошковые и композиционные материалы. Структура, свойства, технология: сб. науч. тр. –Новочеркасск, 2001. – С.45–48.
6. *Мецлер, А.А. и др.* Зависимость пористости порошковой бронзы от способа приложения давления прессования [Текст] / А.А. Мецлер, Т.А. Литвинова, С.А. Томилин // Теоретические и практические научные инновации: сб. науч. докладов (29.01.2013 – 31.01.2013). – Краков, 2013. – С. 53–57.
7. *Райченко, А.И.* Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока [Текст] / А.И. Райченко. – М. : Металлургия, 1987. –122 с.
8. *Шубин, А.П. и др.* Математическая модель формирования контактного сечения порошкового материала [Текст] / А.П. Шубин, С.А. Томилин, В.В. Маневич, С.Н. Егоров // Теория и практика изготовления порошковых и композиционных материалов и изделий: сб. науч. тр. – Новочеркасск: Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, 2002. – С. 60–64.

## **Highsolid Material Formation Peculiarities during Powder Bronze Electrocontact Compression**

**A.A. Metzler\*, Yu.Yu. Medvedev\*, S.A. Tomilin\*\*, T.A. Litvinova\***

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

**Abstract** – This article describes the mechanism and techniques peculiarities of highsolid material formation during powder bronze electrocontact compression with cycle enclosure of pressure compressing. The authors exposed the opportunity to influence the quantity of contacts area between powder particles.

**Keywords:** electrocontact compression, powder bronze, porosity, pressure compressing, cycle enclosure of pressure compressing.

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

УДК 519.2:53.089.6

**ПРЕДОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЛЯ НЕЙРОСЕТИ  
ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СВАРКИ**

© 2013 г. М.Ю. Виниченко, В.В. Кривин, Е.А. Андреева,  
Л.А. Дроговозова, А.В. Шарапа

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

Поступила в редакцию 07.08.2013 г.

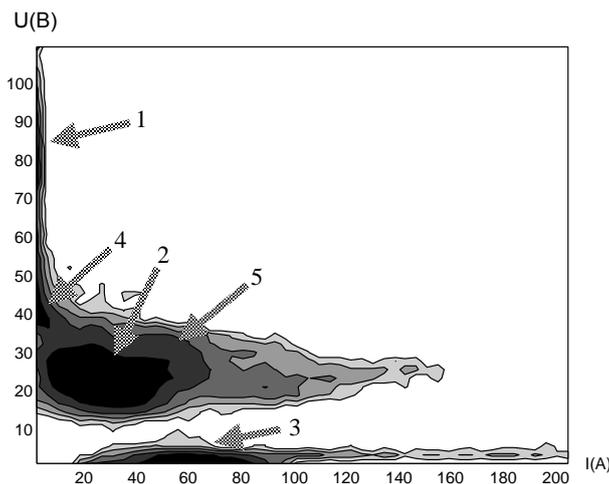
В статье показано, что неравномерность данных, полученных при идентификации процесса сварки уменьшает их энтропию, а значит и информативность. Поэтому их непосредственное использование в качестве входных данных нейросетевой модели приводит к ошибкам при обучении и классификации. Предложено масштабирующее преобразование, которое обеспечивает для каждого малого интервала значений масштаб, пропорциональный вероятности попадания значения в этот интервал. Показано, что за счет увеличения энтропии эффективность обучения нейросети повышается.

*Ключевые слова:* масштабирование, энтропия, максимизация, дуговая сварка, идентификация.

Нарушение стабильности производственного процесса сварки, связанное с такими возмущениями, как ограниченная надежность оборудования, случайный характер поступления основного и сварочного материалов, длительность технологического цикла, неопределенность, связанная с квалификацией оператора сварщика, приводит к нестабильности характеристик качества. Снижению показателей качества способствует низкая информативность средств контроля и измерения. Отсюда вытекает необходимость комплексного решения проблемы функционирования сварочной производственной системы на единой информационной, технической и организационной основе [1].

В результате проведения промышленных экспериментов [2], после специализированной обработки данных получается множество численных данных (идентификационных характеристик), чувствительных к состоянию процесса и при последующей нормировке все входные и выходные переменные отображаются в единичном кубе. Эти данные образуют множество входных векторов  $\tilde{x}_i$  нейросетевой модели классификатора. Однако значения этих данных, полученных в эксперименте и после обработки, часто бывают распределены существенно неоднородно. Например, на рисунке 1 показана гистограмма совместного распределения напряжения на дуге и тока сварки, построенная в равномерном масштабе. Из рисунка видно, что много значений параметров оказываются изображенными в узкой полосе.

В такой ситуации для повышения равномерности распределения данных применяют масштабирующие преобразования. Стандартным масштабирующим преобразованием является, например, логарифмическое. Оно позволяет "растянуть" область малых значений и "сжать" область больших.



**Рис. 1.** График совместной плотности распределения тока и напряжения, выполненный в равномерном масштабе. Разной яркостью отображено количество точек, попавших в данную область (темнее - больше)

Задача нейросетевого моделирования – найти статистически достоверные зависимости между входными и выходными переменными. Единственным источником информации для статистического моделирования являются примеры из обучающей выборки. Чем больше бит информации принесет каждый пример, тем лучше используются имеющиеся в нашем распоряжении данные.

Рассмотрим произвольную компоненту нормированных (предобработанных) данных:  $\tilde{x}_i$ . Среднее количество информации, приносимой каждым примером  $\tilde{x}_i^\alpha$ , равно энтропии распределения значений этой компоненты  $H(\tilde{x}_i)$ . Если эти значения сосредоточены в относительно небольшой области единичного интервала, информационное содержание такой компоненты мало. В пределе нулевой энтропии, когда все значения переменной совпадают, эта переменная не несет никакой информации. Напротив, если значения переменной  $\tilde{x}_i^\alpha$  равномерно распределены в единичном интервале, информация такой переменной максимальна.

Таким образом, общий принцип предобработки данных для обучения состоит в максимизации энтропии входов и выходов [3].

Поставим вопрос об «идеальном» в этом смысле преобразовании, т.е. о преобразовании, которое обеспечивает для каждого малого интервала значений масштаб, пропорциональный вероятности попадания значения в этот интервал.

Это требование означает, что преобразованная величина должна быть равномерно распределена в области ее изменения.

Назовем такое преобразование преобразованием естественного масштабирования или EM-преобразованием (далее EM-п).

Дадим точное определение:

Пусть  $P \subset \mathcal{R}$  – область изменения измеряемого параметра;

$\mu: P \times P \rightarrow \mathcal{R}$  – вероятностная мера на  $P$ .

Необходимо определить функцию  $EM: P \rightarrow \mathcal{R}$ , такую, что

$$\forall x \in P: \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{EM(x + \Delta x) - EM(x)}{\mu([x, x + \Delta x])} = k$$

где  $k$  – произвольная константа

Преобразуя, получаем

$$\forall x \in P : \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{EM(x + \Delta x) - EM(x)}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta x}{\mu([x, x + \Delta x])} = k$$

Для непрерывного распределения имеем:

$$\forall x \in P : EM'_x(x) \cdot \frac{1}{\rho(x)} = k$$

где  $\rho(x)$  – плотность распределения  $P$  в точке  $x$ .

$$\forall x \in P : EM'_x(x) = k \cdot \rho(x)$$

$$\forall x \in P : EM(x) = k \cdot \int \rho(x) dx$$

Таким образом, в качестве EM-преобразования для непрерывного распределения может быть выбрана функция распределения, т.е.

$$EM(x_0) = \mu(\{x | x \leq x_0\})$$

В случае неизвестной функции распределения (как обычно и бывает для реальных данных) вместо нее можно было бы использовать эмпирическую функцию распределения, т.е.

$$EM(x_i) = \frac{|\{x_j | x_j \leq x_i\}|}{N}$$

где  $|X|$  – мощность множества  $X$ ,  
 $N$  – количество измеренных значений параметра.

Однако такое естественное решение вызывает определенные трудности, т.к. эмпирическая функция распределения всегда дискретна из-за конечной точности дискретизации сигнала. В результате вероятность совпадения значений становится ненулевой, и функция распределения преобразованной величины будет иметь пик в соответствующей точке. Иными словами, в этом случае невозможно обеспечить равномерность распределения преобразованной величины.

Этот эффект можно преодолеть одним из двух приемов:

1) Выполнить сглаживание измеренных данных. Если вычисления вести с высокой точностью (на порядок–два выше точности измерения) и для сглаживания использовать несколько соседних отсчетов, то вероятность совпадения сглаженных значений будет мала. Недостаток такого способа в том, что он требует дополнительных вычислений для сглаживания. Кроме того, если в измеренных данных есть реальные «плато» – участки постоянных данных, то этот способ просто неприменим.

2) Сопоставить одинаковым измеренным значениям параметра разные преобразованные значения, разделив их по формальному признаку, например по времени измерения. Этот прием приводит к следующему эффективному алгоритму «естественного» масштабирования:

– Отсортировать измеренные данные по возрастанию значений. При использовании подходящего алгоритма сортировки равные значения сохраняют взаимный порядок, т.е. будут отсортированы по времени.

– Если  $x_k$  –  $k$ -е значение в списке отсортированных, то  $EM(x_k) = \frac{k}{N}$ .

Более строго:

Пусть

$N$  – количество измеренных данных;

$X = \{x_i | i \in [1, N]\} \in \mathfrak{R}^N$  – вектор измеренных данных.

Построим следующие последовательности индексов  $k_i$  и множеств  $\chi_i$ :

$$k_1 = \min \{ j | x_j = \min \{ x_i | i \in [1, N] \} \}.$$

$$\chi_1 = \{ k_1 \}$$

$$k_{n+1} = \min \{ j \notin \chi_n | x_j = \min \{ x_i | i \in [1, N] \wedge i \notin \chi_n \} \}$$

$$\chi_{n+1} = \chi_n \cup \{ k_{n+1} \}$$

Очевидно, процесс построения продолжается, пока есть  $i \in [1, N] \wedge i \notin \chi_n$ .

$\chi_{n+1}$  содержит на один элемент больше, чем  $\chi_n$ .

Значит, множеств будет построено  $N$  и  $\chi_N = [1, N]$ .

Определим преобразование  $EM_X$  как

$$EM_X: [1, N] \rightarrow [1, N] : EM_X(k_i) = \frac{i}{N}. \quad (1)$$

По построению последовательность  $\{k_i\}$  содержит все индексы из  $[1, N]$ , значит  $EM_X$  определено для всех  $i \in [1, N]$ .  $EM$  здесь определяется как зависимое от номера элемента, а не от его значения, поскольку одинаковым значениям  $x_i$  могут соответствовать разные значения  $EM_X(i)$ .

Покажем, что эти определения для непрерывного распределения асимптотически эквивалентны, т.е.

$$EM_X(i_X(x_0)) \rightarrow EM(x_0) \quad \text{при } N \rightarrow \infty$$

где  $i_X(x_0)$  – индекс значения  $x_0$  в векторе  $X$ ,

$EM(x)$  – EM-преобразование по определению EM1,

$EM_X(i)$  – EM-преобразование по определению EM2.

В самом деле:

Лемма 1.

$$| \chi_i | = i.$$

Доказательство:

$$| \chi_1 | = 1.$$

$$| \chi_{i+1} | = | \chi_i | + 1.$$

Что и доказывает лемму (по индукции).

Лемма 2.

Для непрерывного распределения

$$\chi_i = \{ j | x_j \leq x_{k_i} \}.$$

Доказательство:

Для непрерывного распределения вероятность получения двух одинаковых значений равна 0. Поэтому в конечной выборке все значения различны с вероятностью 1. Следовательно, минимум из любого множества единственен.

Для  $n=1$ :

$$k_1 = \min \{ j | x_j = \min \{ x_i | i \in [1, N] \} \}.$$

$$\chi_1 = \{ k_1 \}.$$

Из-за единственности минимума

$$\chi_1 = \{ j | x_j = \min \{ x_i | i \in [1, N] \} \}.$$

$$\chi_1 = \{ j | x_j \leq x_{k_1} \}.$$

$\chi_i \supset \chi_j$  при  $i > j$  по построению

$$\chi_{n+1} = \chi_n \cup \{ j | x_j = \min \{ x_i | i \in [1, N] \wedge i \notin \chi_n \} \}$$

Следовательно, в выражении

$$k_{n+1} = \min\{j \notin \chi_n \mid x_j = \min\{x_i \mid i \in [1, N] \wedge i \notin \chi_n\}\}$$

множество индексов  $j$  состоит из единственного элемента. Поэтому если  $j = k_{n+1}$ , то  $x_j < x_i$  при  $i \notin \chi_n$ . При этом условии определение (1) вырождается в такое:

$$EM_X(i_X(x_0)) = |\{x_i \in X \mid x_i \leq x_0\}|.$$

В тех случаях, когда это не вызывает неоднозначностей, будем использовать обозначение  $EM(x_i)$  вместо  $EM_X(i)$  для  $i$ -го элемента EM-масштабированного вектора.

Для удобства дальнейшего изложения введем обозначение  $\chi_i = \{n \mid x_n \leq x_i\}$

Перечислим некоторые свойства определенного таким образом EM-преобразования.

Свойство 1.

$EM_X : [1, N] \rightarrow [1, N]$  – изоморфизм, т.е.

$$\forall i \in [1, N] \exists! j \in [1, N]: EM_X(j) = i$$

Доказательство:

По построению

$$\forall i \in [1, N] \exists! j = k_i: EM_X(j) = i$$

Свойство 2.

Все EM-масштабированные значения различны, т.е.

$$m \neq n \Rightarrow EM(x_m) \neq EM(x_n)$$

Это следствие свойства 1.

Свойство 3.

Количество EM-масштабированных точек в любом интервале, вложенном в область изменения EM-преобразования, примерно равно длине этого интервала (т.е. масштабированная величина распределена приблизительно равномерно). Равенство становится точным, если брать полуоткрытый интервал, начало и конец которого равны каким-либо масштабированным значениям.

Доказательство:

Пусть  $i_1, i_2$  – произвольные индексы из  $[1, N]$ , такие, что  $EM_X(k_{i_1}) < EM_X(k_{i_2})$ .

Обозначая через  $|X|$  мощность множества  $X$  имеем:

$$\begin{aligned} & |\{EM_X(k_i) \mid EM_X(k_{i_1}) < EM_X(k_i) \leq EM_X(k_{i_2})\}| = \\ & = |\{EM_X(k_i) \mid i_1 < EM_X(k_i) \leq i_2\}| = \\ & = |\{EM_X(k_i) \mid i_1 < i \leq i_2\}| = |\{i \mid i_1 < i \leq i_2\}| = i_2 - i_1. \end{aligned}$$

Свойство доказано.

Свойство 4.

EM-преобразование является монотонно возрастающим, т.е. участки подъема и спуска на графиках сохраняются.

Доказательство:

Пусть

$$x_{k_m} < x_{k_n}$$

По построению

$$k_n = \min\{j \notin \chi_{n-1} \mid x_j = \min\{x_i \mid i \in [1, N] \wedge i \notin \chi_{n-1}\}\}$$

$$k_m \in \chi_{n-1}$$

$$m \leq n - 1$$

$$m < n$$

$$EM_X(k_m) < EM_X(k_n)$$

Свойство 5.

"Плато", т.е. последовательности равных значений, будут заменены

возрастающими последовательностями.

Доказательство:

Пусть

$$x_{kn} = x_{km} \wedge k_n > k_m$$

По построению

$$k_n = \min\{j \notin \chi_{n-1} \mid x_j = \min\{x_i \mid i \in [1, N] \wedge i \notin \chi_{n-1}\}\}$$

$$k_m \in \chi_{n-1}$$

$$m \leq n-1$$

$$m < n$$

$$EM_X(k_m) < EM_X(k_n)$$

Наиболее интересны свойства графиков зависимости двух величин (x-y графики).

Свойство 6.

X-Y-график двух независимых величин выглядит как равномерно заполненный квадрат.

Доказательство:

Пусть

$\xi, \psi$  – независимые непрерывные случайные величины с мерами  $\mu_\xi, \mu_\psi$  и плотностями  $\rho_\xi, \rho_\psi$ , а  $x_0, y_0, p_0, q_0$  таковы, что

$$p_0 = \mu_\xi(\xi < x_0)$$

$$q_0 = \mu_\psi(\psi < y_0)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \rho_{EM}(\xi), EM(\psi), (p_0, q_0) &= \frac{\partial^2 \mu_{EM(\xi), EM(\psi)}(p_0, q_0)}{\partial p_0 \partial q_0} = \\ &= \frac{\partial^2 \mu_{\xi\psi}(\{EM_\xi(x) < p_0, EM_\psi(y) < q_0\})}{\partial p_0 \partial q_0} = \end{aligned}$$

по определению  $EM$

$$= \frac{\partial^2 \mu_{\xi\psi}(\{\mu_\xi(\xi < x) < p_0, \mu_\psi(\psi < y) < q_0\})}{\partial p_0 \partial q_0} =$$

по определению  $x_0, y_0$

$$= \frac{\partial^2 \mu_{\xi\psi}(\{\mu_\xi(\xi < x_0), \mu_\psi(\psi < y_0)\})}{\partial p_0 \partial q_0} =$$

по независимости  $\xi, \psi$

$$= \frac{\partial^2 (\mu_\xi(\xi < x_0) \cdot \mu_\psi(\psi < y_0))}{\partial p_0 \partial q_0} =$$

по определению  $x_0, y_0$

$$= \frac{\partial^2 p_0 \cdot q_0}{\partial p_0 \partial q_0} = 1$$

Свойство 7.

EM-масштабированный график любой монотонной зависимости является прямой линией.

Доказательство:

Пусть

$F(t)$  – монотонно возрастающая функция, определенная на интервале  $[t_0, \infty]$ .

Тогда

$$\begin{aligned} \frac{dEE(F(t))}{dt} &= \frac{dEE(F)}{dF} \cdot \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d\mu(\{x < F\})}{dF} \cdot \frac{dF(t)}{dt} = \\ &= \rho_F(F) \cdot \frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{F'} \cdot \frac{dF(t)}{dt} = 1 \end{aligned}$$

Отметим неформально следующие особенности ЕМ-масштабированных графиков:

– Точки с равными значениями параметров располагаются в интервалах по соответствующим осям, длина которых пропорциональна количеству этих точек.

Точки, соответствующие фиксированным значениям обоих параметров  $x = x_0, y = y_0$ , располагаются в соответствующем прямоугольнике по его диагонали. Это создает на «растянутых» участках графика тонкую структуру, состоящую из линий. Хотя эти линии являются артефактом, они позволяют визуально оценивать по расстоянию между ними реальную точность измеренных данных в различных участках графика.

– ЕМ-преобразование различно для разных наборов данных. Это необходимо учитывать при сравнении графиков, построенных по различным наборам. Размер прямоугольника на графике отражает количество точек в нем, а не амплитудные характеристики сигнала.

– Поскольку ЕМ-преобразование «сжимает» области с малой плотностью данных, то оно имеет тенденцию превращать размытые границы на графике в четкие. Поэтому графики часто выглядят, как множество визуально отделенных друг от друга прямоугольников, каждый из которых представляет особое состояние процесса. Это повышает наглядность графиков.

В то же время надо учитывать, что некоторые особенности графиков могут быть потеряны, например, резкие пики в случае, если промежуточные значения в данных редко встречаются.

Разработанная система идентификации технологических состояний сварочного процесса содержит средства для наглядного отображения совместных распределений различных технологических параметров. Их применение позволяет визуально исследовать структуру фазового пространства процесса, в том числе для размерностей выше двух. Применение преобразования естественного масштабирования позволяет добиться еще большей наглядности. Совместное применение этих средств в некоторых случаях обеспечивает возможность визуального распознавания технологических состояний. Проиллюстрируем это на экспериментальных данных.

На рисунке 1 довольно четко различимы 3 отдельные группы точек (кластеры). Они помечены цифрами 1, 2 и 3. Им можно сопоставить состояния процесса:

- 1) Холостой ход.
- 2) Дуга.
- 3) Короткие замыкания и процесс капельного переноса металла.

```
namef=gf,inprn(namef);
i=i./mean(i).*110;u=u./mean(u).*30;
y=i./u;
w=i.*u;
fi=filtup(i,2);
fu=filtup(u,2);
fy=filtup(y,8);
fw=filtup(w,8);
di=diff(fi);di=[di(1);di];
du=diff(fu);du=[du(1);du];
```

```

dil=level(di);
dul=level(du);

[ul,us]=level(u);
[il,is]=level(i);

[yl,ys]=level(y);
[wl,ws]=level(w);
namef,save([namef '.mat']);

namef =
D:\matlab\dat\8_01_99\Кру10!.prn

['load(['' namef '.mat']);']

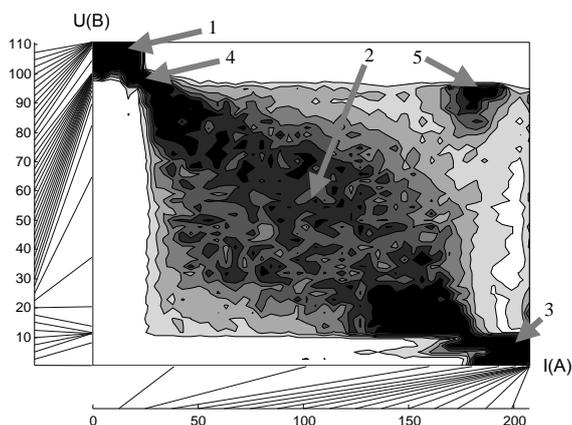
load(['D:\matlab\dat\8_01_99\Кру10!.prn.mat']);
    
```

Группа точек 4 различима значительно слабее. В области 5 не видно никакого «уплотнения».

На рисунке 2 приведен ЕМ-масштабированный график.

На масштабированном графике шкала оставлена равномерной, но деления шкалы соединены отдельными линиями с соответствующими местами осей.

Результат: состояния выделились в виде четких прямоугольников. В кластере 2 проявилась внутренняя структура: сгущение вдоль диагонали (означает наличие корреляции в этой группе – на исходном графике это не было заметно) и заметное сгущение к концам диагонали, т.е. разделение на отдельные состояния. Любопытна группа 5 – на исходном графике здесь нет никакого сгущения! Это состояние было выделено только с помощью ЕМ-масштабирования.



**Рис. 2.** График совместной плотности распределения тока и напряжения, выполненный в естественном масштабе.

После кластеризации полученного фазового портрета процесса (рис.2.) и последующего вычисления статистик в каждом кластере мы получаем множество численных идентификационных характеристик чувствительных к состоянию процесса. А благодаря примененному ЕМ-масштабированию исходных данных на вход нейросетевой модели классификатору поступают равномерно распределенные данные, тем самым доставляя максимум энтропии входным данным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов, А.В. Обработка информации в системах контроля и управления сварочным производством [Текст] / А.В. Чернов. – Новочеркасск: НГТУ, 1995. – 180 с.
2. Кривин, В.В. и др. Получение идентификационных характеристик процесса РДС методом сегментации фазового пространства [Текст] / В.В. Кривин, М.Ю. Виниченко // Изв. вузов Сев.-Кав. регион. Техн. науки. – 2000. – №1.
3. Галушкин, А.И. Теория нейронных сетей [Текст] / А.И. Галушкин. – М.: ИПРЖР, 2000. – 415 с.

**Neuronetwork Data Preprocessing in Classifying the Welding Process**

**М.У. Vinichenko, V.V. Krivin, E.A. Andreeva,  
L.A. Drogovozova, A.V. Sharapa**

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

**Abstract** – The article describes that the irregularity of data obtained in the welding process identification reduces their entropy and their informativeness. It is stressed that their direct usage in the capacity of entering data of neuronetwork model leads to the mistakes in training and classification. The authors suggest large-scale transformation which provides for every small value interval the scale which is proportional to probability of value hitting in this interval. It is specially noted that the effectiveness of neuronetwork training is increased at the expense of entropy rise.

*Keywords:* large-scaling, entropy, maximization, arc welding, identification.

УДК 621.039.534:621.311.25

## ОСНОВНЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ АКТИВНЫХ ЗОН НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР

© 2013 г. И.А. Якубенко

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

Поступила в редакцию 30.08.2013 г.

Рассматривается эволюционное развитие за последние 20 лет тепловыделяющих сборок активных зон реакторов ВВЭР. Оценены основные мероприятия, направленные на увеличение количества U235 в каждом ТВЭЛе и интенсификацию теплопередачи между стенками ТВЭЛ и водным теплоносителем.

*Ключевые слова:* реакторы типа ВВЭР, активная зона, тепловыделяющая сборка, тепловыделяющий элемент, теплоноситель, теплопередача.

Вопросы надежности ядерного топлива и организации его безопасной эксплуатации составляют одно из важнейших направлений в обеспечении эффективности дальнейшего развития атомной энергетики России.

В данной статье обобщены материалы по двадцатилетнему опыту конфигурации активных зон реакторов типа ВВЭР-1000 базисного проекта В-320 и рассмотрены варианты активных зон новых поколений реакторов ВВЭР для проекта АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ для проекта АЭС-2010.

Активные зоны реакторов типа ВВЭР, несмотря на консерватизм атомного энергомашиностроения в невозможности увеличения их геометрических размеров, даже на действующих одноступенчатых энергоблоках достаточно вариативны в своей конфигурации за счет дальнейшего усовершенствования (модернизации) конструкции тепловыделяющих сборок (ТВС), различного наполнения тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) ядерным топливом, замедлителями и конструкцией поглощающих элементов (ПЭЛ) в ТВС. Основным и непеременимым условием таких модификаций является постоянство количества ТВС в активной зоне и размер шага расположения кассет в корпусе реактора. Вся вариативность сосредотачивается на модернизации ТВЭЛ, ПЭЛ и ТВС в целом.

Побудителем таких инвариантных модификаций является стремление к повышению интегрального энерговыделения активной зоны, увеличению удельной глубины выгорания ядерного топлива и кампании непрерывной работы реактора между перегрузками этого топлива с сохранением на высоком уровне показателей безопасности и надежности реакторной установки в целом.

Работа по всем инвариантным направлениям в основном связана с ядерным топливом, загружаемым в ТВС и устанавливаемым при перегрузках в активные зоны как на действующих, так и на вновь вводимых в эксплуатацию энергоблоках АЭС.

*С середины 90-х годов прошлого века основной модификацией ТВС для действующих АЭС проекта В-320 стала ТВС-2 с максимальным обогащением топлива 4,4% и максимальным выгоранием – 55 МВт\*сут/кг U, обеспечивающая работу блока на полной мощности в течение 300 эффективных суток [1].*

В дальнейшем Украина (Запорожская и Южно-Украинская АЭС) и Чехия (АЭС Темелин) пошли своим путем и попробовали внедрить в 2000 – 2010 гг. на российских реакторах проекта В-320 топливные загрузки американской фирмы «Вестингауз», которые показали низкие эксплуатационные качества и потребовали возврата к российским ТВС.

Россия в это время совершенствовала ТВС-2, на базе которой были разработаны новые поколения ТВС-2М и ТВСА+ (альтернативная ТВС), имеющие обогащение до 4,95% и максимальное выгорание до 68 МВт\*сут/кг U, что обеспечивало работу блока на полной мощности в течение 1,5 года. В настоящее время все блоки АЭС России проекта В-320 переходят на загрузку вышеуказанных ТВС. Балаковская и Ростовская АЭС переходят к работе на ТВС-2М, а Калининская АЭС переходит к работе на ТВСА+ [2, 3].

Получив достаточный негативный опыт, Украина и Чехия разорвали договоры с фирмой «Вестингауз» и снова заключили долгосрочные договоры с российским поставщиком ядерного топлива [3].

*Какие же следующие шаги надо пройти в дальнейшей модификации российского ядерного топлива для эксплуатируемых и вновь вводимых АЭС с ВВЭР?*

Прежде всего, надо одобрить дуализм заводов-изготовителей и АЭС России параллельно переходящих на ТВС-2М и ТВСА+, так как накопление опыта и замечаний по этим проектам внедрения должно составлять не менее 5–6 лет до принятия окончательного решения. За это время увеличится парк введенных в работу АЭС-2006 и будет введен головной образец энергоблока с ВВЭР-ТОИ, что требует более раннего принятия решений по топливу для перспективных поколений реакторов на базе консервативных, но обдуманных подходов.

В таблице 1 показаны основные сравнительные характеристики активных зон реакторов базового проекта В-320 и новых поколений реакторов. Можно отметить, что при существенном росте тепловой мощности средняя линейная нагрузка на ТВЭЛ практически не меняется благодаря, в основном, увеличению высоты активной зоны.

**Таблица 1.** Основные параметры реакторных установок В-320, АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ по [5]

№	Наименование параметра	В-320	ВВЭР-2006	ВВЭР-ТОИ
1	Коэффициент технического использования	0,82	0,92	0,93
2	Тепловая мощность, МВт	3000/3120	3200	3300
3	Температура теплоносителя, °С	289/321	298,1/329,5	297,6/329,1
4	Давление теплоносителя, МПа	15,7	16,2	16,2
5	Количество ТВС, шт.	163	163	163
6	Количество ТВЭЛ в ТВС, шт.	311 +312	312	313
7	Высота активной зоны, мм	3530/3680	3730	3730
8	Средняя линейная нагрузка, Вт/см	167	168	168
9	Максимальная линейная нагрузка, Вт/см	448	420	420
10	Количество ПС СУЗ, шт	61	121	95
11	Масса топлива в активной зоне, кг	85950	87065	87344

Незначительные отличия других параметров являются результатом оптимизации конструкции ТВС.

Изменение параметров новых поколений ВВЭР привело к изменению некоторых характеристик ТВС.

Эти характеристики приведены в таблице 2. Из нее следует преимуществом разрабатываемых конструкций, позволяющая применить в качестве референтного большой положительный опыт эксплуатации ТВС в базисном проекте В-320 (ТВС-2 и ТВС-2М), что подтверждает надежность конструкции как с точки зрения геометрической стабильности активной зоны, так и с точки зрения герметичности оболочек ТВЭЛ.

Для увеличения длительности кампании были приняты конструктивные меры по повышению загрузки топлива в каждую ТВС.

**Таблица 2.** Сравнительные характеристики ТВС по [5]

№	Наименование параметра	В-320	ВВЭР-1200	ВВЭР-ТОИ
1	Тип ТВС	ТВС-2, (2М)	ТВС-2006	ТВС-ТОИ
2	Температура оболочки ТВЭЛ, °С	352 - 355	355	
3	Диаметр ТВЭЛ/шаг решетки, мм	9,1/12,75		
4	Наличие центральной трубы	есть	нет	
5	Количество ПЭЛ в ПС СУЗ, шт.	18		18 и 16
6	Размер «под ключ», мм	235,1		
7	Количество каналов, шт.	19		18
8	Масса топлива в ТВС, кг	505,1	534,1	535,8
9	Размеры топливной таблетки $D_{нар} \times D_{цо}$ , мм	7,53 x 1,4; 7,6 x 1,2	7,6 x 1,2	

Поскольку на сегодняшний день обогащение таблеток свежего топлива ограничивается 5 %, и необходимо, по возможности, сохранить стабильное водо-урановое соотношение, то единственный путь увеличения кампании эксплуатации топлива – повышение высоты загрузки диоксида урана в каждую ТВС, а, следовательно, и увеличение массы топлива в среднем на 30 кг.

*По мере накопления опыта эксплуатации ТВС-2 (ТВС-2М) с жестким сварным каркасом остается меньше оснований для рассмотрения альтернативы им в новых проектах.* Опыт 15 лет эксплуатации этих ТВС показал, что сварная конструкция каркаса имеет близкие к оптимальным прочностные и технологические параметры [4, 5].

В ТВС ВВЭР-1000 проекта В-320 с точки зрения турбулизации потока количество дистанционирующих решеток достаточно, чтобы обеспечить мощность 104 -107% без перемешивающих решеток, а с точки зрения жесткости достаточно обеспечить формоустойчивость ТВС и надежность дистанционирования ТВЭЛ. Кроме того, для таких ТВС хорошо отработана технология сборки пучка на заводе-изготовителе [5]. Приемлемой является и термомеханика конструктивных элементов ТВС.

В результате отработки формы ячеек ТВС получены коэффициент гидравлического сопротивления, обеспечивающий необходимый расход теплоносителя через активную зону, а также достаточно хороший баланс между указанными факторами.

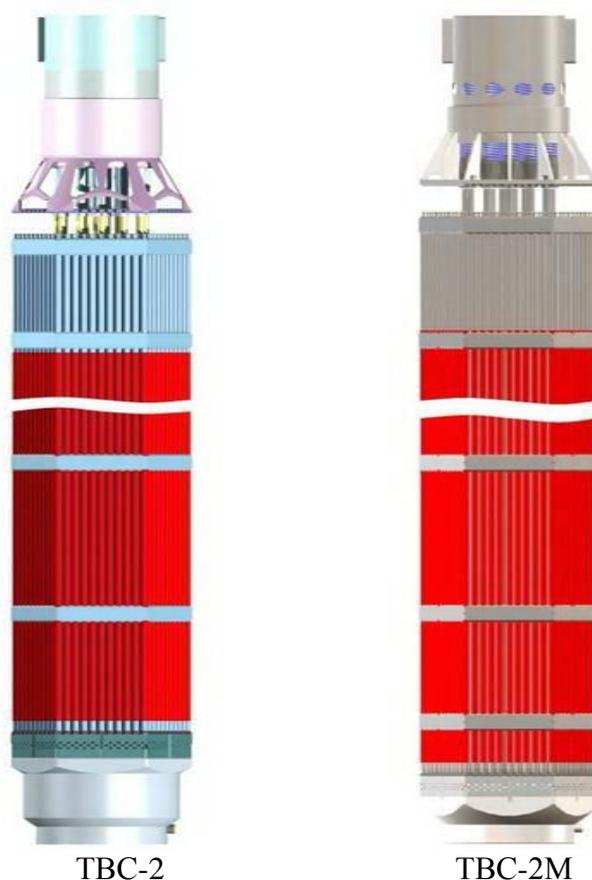


Рис. 1. Конфигурация ТВС-2 и ТВС-2М

Конструктивно и технологически отработаны узлы хвостовика и головки ТВС. Последнее внедряемое исполнение их – литое. При видимых отличиях внешнего вида литых узлов конструктивная сущность их остается без изменений. В настоящее время осуществляется внедрение конструкции головки и хвостовика ТВС-2 (ТВС-2М) в проекте тепловыделяющей сборки альтернативной (ТВСА), что является признанием доброкачественности этих узлов.

*Все технические решения конструкции ТВС-2М были перенесены в проект АЭС-2006.* Некоторая специфика связана только с удлинением активной зоны и ТВЭЛ на 150 мм и установкой дополнительного внецентренного канала для размещения датчика внутриреакторных измерений (аналогично Нововоронежской головной установке проекта В-392). Первое обстоятельство привело к увеличению двух верхних пролетов, а второе внесло некоторую асимметрию в компоновку пучка, что в дальнейшем было усовершенствовано для ТВС проекта ВВЭР-ТОИ[5].

Проведены значительные работы по обеспечению лицензирования топлива для ВВЭР. Выполнено экспериментальное исследование и обоснование ТВС для двух конструкций: ТВС-2 (ТВС-2М) и ТВСА.

Результаты шестилетней эксплуатации ТВС-2 (ТВС-2М) и ТВСА приводятся ниже.

По данным [5] на декабрь 2011 г. на АЭС с реакторами ВВЭР-1000 в России эксплуатировалось и эксплуатируется около 2 тысяч ТВС с жестким каркасом, включая 550 шт. ТВС-2М.

С начала внедрения в 2006 году до настоящего времени всеми научно-исследовательскими организациями констатируется факт, что на всех ТВС-2М

отсутствуют негерметичные ТВЭЛ.

Отмечается постоянство геометрических параметров в ТВС-2М, что подтверждается стабильными эксплуатационными характеристиками (время падения органов регулирования СУЗ, усилия протяжки ПЭЛ СУЗ, усилия при перегрузке ТВС).

ТВЭЛы штатной конструкции в составе ТВСА эксплуатировались в течение 6 лет. Отработавшая на Калининской АЭС в течение 5 лет ТВСА исследована в НИИАР в реакторе «МИР», а также в защитных горячих камерах [4,5]. Выполнены специальные реакторные испытания модифицированных ТВЭЛ с высоким выгоранием.

На основе этих исследований сделан вывод о сохранении работоспособности ТВЭЛ с выгоранием до  $72 \text{ МВт}\cdot\text{сут/кг U}$ . Экспериментально определен пятикратный запас по толщине оксидной пленки на оболочке и восьмикратный запас по содержанию гидридов в оболочке после 6 лет эксплуатации. Не превышаются принятые в проекте требования по давлению газа под оболочкой ТВЭЛ и по деформации оболочек при расчётных размерных изменениях таблеток топлива в процессе эксплуатации.

*Конструкция ТВС ВВЭР имеет потенциал для усовершенствований.* Эти усовершенствования относятся к категории снятия избыточных запасов, обеспечения потребностей в новых топливных циклах, а также унификации и технологических упрощениях. В связи с тем, что на пути этих усовершенствований есть ряд опасностей, внедрение их представляет достаточно длительный процесс, проходящий через опытную эксплуатацию.

Рассмотрим, каковы эти усовершенствования, аварийно-эксплуатационные риски (опасности) и задачи по исключению или компенсации этих рисков.

Прежде всего, это увеличение загрузки и сопутствующее ему утонение оболочки ТВЭЛ. Достигнутый уровень технологии изготовления и эксплуатации топлива позволяет ставить этот вопрос в разряд актуальных и разрешимых. *Имеется опыт эксплуатации оболочек  $9,1 \times 7,93 \text{ мм}$  и таблеток диаметром  $7,8 \text{ мм}$  без центрального отверстия,* но для широкого внедрения необходимо закончить работы по подтверждению существующих критериев безопасности на таком топливе [5].

Вероятно, такие таблетки целесообразно использовать для эксплуатации блока в базовом режиме. Для маневренного блока со сбросами и набросами нагрузки следует использовать таблетки с  $D_{\text{нар}}/D_{\text{цо}} = 7,6/1,2 \text{ мм}$ , т.к. в случае использования таблетки  $7,8/0 \text{ мм}$  усложняются условия конвективного взаимодействия топлива с оболочкой [5].

Анализ результатов, выполненный специалистами НИЦ «Курчатовский институт» [5], показывает, что при использовании штатного топлива (обогащение топлива – 4,95%, диаметр таблетки – 7,6 мм, высота топливного сердечника – 3680 мм, центральное отверстие – 1,2 мм) можно обеспечить максимальную длительность кампании 600 эффективных суток. При этом необходима перегрузка половины активной зоны, теоретически – 82,5 шт. ТВС. *Это позволяет реализовать 12-ти и 18-ти месячные топливные циклы,* однако невозможен пока 24-месячный цикл.

При использовании ураноемкого ТВЭЛ (обогащение топлива 4,95%, диаметр таблетки 7,8 мм, высота топливного сердечника 3680 мм, без центрального отверстия) увеличивается длительность кампании на 7,5% при том же среднем выгорании. При перегрузке половины активной зоны максимальная длительность кампании равна 625 - 645 эффективных суток, что *позволяет реализовать 24-месячный цикл.*

Следует учитывать, что, кроме указанных задач по обеспечению лицензирования и внедрения таких таблеток, потребуется дополнительное обоснование конструкции стеллажей бассейнов для хранения отработавшего топлива для обеспечения гарантированной ядерной безопасности.

В таблице 3 приведены параметры некоторых топливных циклов для классических ВВЭР проекта В-320 и для ВВЭР-ТОИ. Здесь представляют интерес

топливные циклы с использованием топлива с увеличенным (>5%) начальным обогащением, а также варианты с применением эрбия. Эти меры [4,5] позволяют принципиально обеспечить возможность реализации 24-месячного топливного цикла.

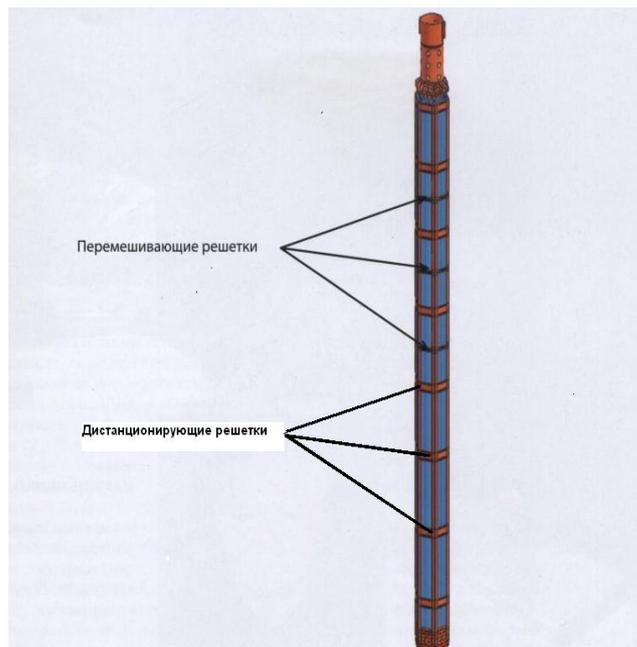
**Таблица 3.** Параметры топливных циклов для ТВС-ТОИ тепловой мощностью 3300МВт по [5]

Топливные циклы	12мес. (4x1)	18 мес. (3 x 1,5)			24 мес.(2x2)
		UO <sub>2</sub> без добавок	Топливные добавки (кондиционеры)		
			гадолиний	эрбий	эрбий
Количество ТВС подпитки, шт.	42	76	60	60	79/84
Среднее обогащение ТВС, %	4,79	4,762	5,523	5,720	6,340/6,320
Длительность работы топливной загрузки (без мощностного эффекта), эффективных суток	332,7	512,5	503	503	686/647
Выгорание в выгружаемых ТВС, МВт • сут/кг 1) среднее максимальное	54,4	47,5	59,3	59,3	58,5
		52,3	69,5	68,3	68,1
Удельный расход природного урана, кг/МВт • эфф. сут.	0,199	0,227	0,213	0,221	0,249/0,248

Актуальным для эксплуатируемых и проектируемых ВВЭР является *вопрос увеличения установленной мощности блока*. Безусловно, важнейшим требованием при этом является обеспечение безопасности.

В качестве ориентира для действующих блоков и конкретной цели для проектируемых блоков в настоящее время принята величина повышения мощности на 4%, а затем до 10% от  $N_{ном.}$  [4,5]. Это ставит конкретные задачи перед разработчиками конструкции активной зоны и ТВС и сокращает количество рассматриваемых вариантов выбора конструкций дистанционирующих решеток, сводя их к наиболее приемлемым по теплотехнологическим критериям.

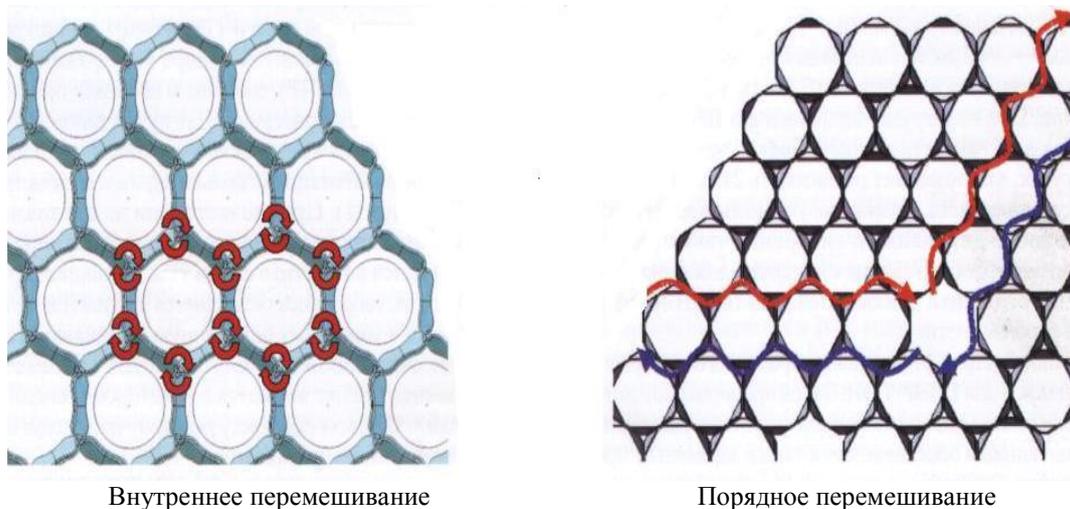
Для пучка типовой ТВС-2М с целью повышения критической плотности теплоотдачи потока теплоносителя разработано *несколько вариантов конструкции дистанционирующих и перемешивающих решеток* (рис. 2). Перемешивающие решетки не предназначены для дистанционирования ТВЭЛ по двум соображениям. Первое заключается в том, что в самом узле дистанционирования в процессе эксплуатации ослабляется контакт, и целесообразно свести к минимуму поперечную составляющую потока теплоносителя. Во-вторых, штатные дистанционирующие решетки, как показывают эксперименты, всё же являются в некоторой степени турбулизаторами. В новом по конструкции пучке ТВЭЛ и решеток появляется больше узлов турбулизации, а, следовательно, меньше зон возможного локального испарения теплоносителя на поверхности ТВЭЛ.



**Рис. 2.** Дистанционирующие и перемешивающие решетки в конструкции ТВС-2М

Из проведенных в ФЭИ, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», НИЦ «Курчатовский институт» расчетно-экспериментальных работ [4] следует, что эффективность турбулизаторов отличается в области разного местного паросодержания воды на стенке ТВЭЛ. В области недогретой жидкости эффективней работает решетка, обеспечивающая массообмен между ячейками ТВС (порядная решетка), а в области высоких паросодержаний эффективней работает решетка, турбулизирующая поток внутри ячейки ТВС (рис. 3).

Важным является вопрос расположения этих решеток по высоте ТВС. Расположение решеток на верхних пролетах ТВС при косинусоидальном профиле тепловыделения смещает точку кризиса вниз, поэтому перемешивающие решетки установлены в верхних пролетах, начиная с предпоследнего в активной части ТВС.



**Рис. 3.** Варианты перемешивающих решеток для ТВС-2М

Требование оптимизации ВВЭР-ТОИ (ВВЭР-1200) нашло свое отражение в конструкции ТВС и органов регулирующей системы управления и защиты (ОР СУЗ) [5]. Оно связано с оптимизацией количества приводов СУЗ, количеством и координатами датчиков системы внутриреакторного контроля (СВРК). Выбранное их расположение показано на рисунке 4. Совпадение координат приводов СУЗ и датчиков имеет место в 15 ячейках активной зоны.

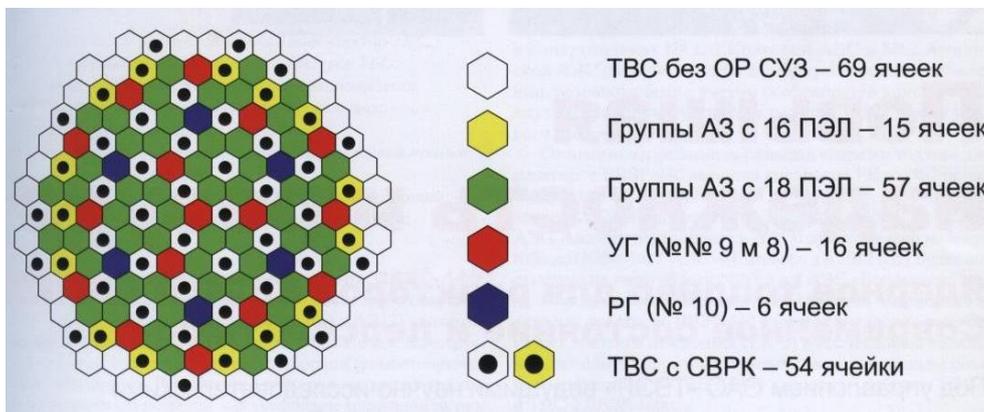


Рис. 4. Активная зона реактора ВВЭР – ТОИ по [5]

В качестве основного варианта разрабатывается конструкция с двумя типами поглощающих стержней системы управления и защиты (ПС СУЗ). Первый тип аналогичен существующему варианту [3,4] в проекте В-320 – с 18 ПЭЛ, а другой – с 16 ПЭЛ. Количество таких ПС СУЗ – 15 штук.

В этом случае один направляющий канал в регулируемой ТВС используется для размещения датчиков СВРК. Такой вариант исключает асимметрию пучка ТВЭЛ в ТВС и приводит к выравниванию потвального поля энерговыделения. Количество ТВЭЛ в такой ТВС составляет не 312, а 313 штук. Измерение энерговыделения по высоте ТВС и температуры теплоносителя на выходе из нее осуществляется при помощи внутриреакторного контроля нейтронных измерений и локальной температуры (КНИТ).

## ВЫВОДЫ

1) Обзор проведенных проектных, научно-исследовательских и экспериментальных работ [2-5] за последние 20 лет показывает перспективность нескольких вариантов активных зон новых поколений реакторов ВВЭР как для проекта АЭС-2006 так и для ВВЭР-ТОИ проекта АЭС-2010.

2) Характер вносимых апробированных усовершенствований для новых проектов позволяет утверждать, что конструкция активных зон проектов АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ будет отвечать самым высоким требованиям безопасности и экономичности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорин, В.М. Атомные электростанции. Основной технологический процесс: учеб. пособие [Текст] / В.М. Зорин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 304 с.
2. Канышев, М.Н. В ответе за надежность [Текст] / М.Н. Канышев // Росэнергоатом. – 2012. – №2. – С. 18.

3. Сальников, А.А. В начале большого пути [Текст] / А.А. Сальников // Росэнергоатом. – 2012. – №2. – С. 34.
4. Рябинин, Ю.И. Надежность топлива [Текст] / Ю.И. Рябинин // Росэнергоатом. – 2011. – №10. – С. 3.
5. Васильченко, И.В. Конструкция активных зон новых ВВЭР [Текст] / И.В. Васильченко // Росэнергоатом. – 2011. – №10. – С. 8.

## Fuel Cores Main Perspective Configuration of PWR-type New Generation

**I.A. Jakubenko**

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

**Abstract** – The article is devoted to fuel cores main perspective configuration of PWR-type new generation. Industrial braches for enriching quantity of U235 in each fuel rod and acceleration of heat exchanging bitewing pipes walls and water are described in the article.

**Keywords:** PWR-type reactors, fuel cores, fuel assembly, fuel rod, primary water, heat transfer.

УДК 621.311.25.004.7

## ВЫБОР ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЕМОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ БЛОКОВ АЭС, ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

© 2013 г. А.И. Берела\*, Б.К. Былкин\*\*, С.А. Томилин\*, А.Г. Федотов\*

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

\*\* *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»*

Поступила в редакцию 29.08.2013 г.

В работе рассмотрены вопросы и представлен алгоритм выбора оптимального значения параметров технологического процесса демонтажа оборудования блоков атомных электрических станций (АЭС), выводимых из эксплуатации, построенный с учетом опыта технологического проектирования в машиностроении. Представленный материал предназначен для специалистов, разрабатывающих технологии демонтажных работ в условиях обширного факторного массива среды проектирования.

*Ключевые слова:* блок АЭС, вывод из эксплуатации, демонтаж оборудования, технологический процесс, параметр демонтажной технологии, факторный массив, оптимизация, критерии оптимизации.

На основании анализа опыта создания и применения технологий демонтажа оборудования блоков АЭС в нашей стране и за рубежом, в том числе и собственного опыта в этой сфере деятельности, авторами работ [1, 2] были разработаны основные положения проблемно-ориентированной системы проектирования таких технологий. Основное назначение этой системы состоит в информационной и методической поддержке эксперта (специалиста в области демонтажных технологий) в решении технологических проблем ведения демонтажных работ на блоках АЭС, связанных [3 – 5]:

1) с обеспечением соответствия технологии демонтажа ограничениям и условиям проекта и технологического регламента вывода из эксплуатации блока в целом, в том числе технологии переработки радиоактивных отходов и утилизации материалов повторного ограниченного и неограниченного использования, получаемых при демонтаже;

2) с необходимостью адаптации технологии демонтажа к специфическим рабочим зонам в объемах зданий блоков АЭС, расположенным по помещениям, коридорам, различным отметкам уровня при неорганизованном и, как правило, стесненном для выполнения работ пространственном положении объектов воздействия;

3) с разнообразием и, во многих случаях, нетехнологичностью конструкций демонтируемого оборудования и его установки в помещениях с точки зрения производства демонтажных работ;

4) с фактором частичного разрушения штатных защитных барьеров радиационной безопасности и переноса большого количества радиоактивных веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии в ходе демонтажных работ;

5) с обеспечением радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды;

б) с существующими ограничениями в потребных для производства демонтажных работ ресурсах (экономических, дозовых, людских и др.).

Для решения данных проблем в указанной проблемно-ориентированной системе проектирования предложены:

- модель и правила организации пространства проектирования демонтажной технологии и принципиальная схема принятия в нем технологических решений;
- массив факторов, данных и сведений, используемых в процессе проектирования, упорядоченный в структурах представления;
- критерии принятия технологических решений и правило их применения.

Как видно из приведенного перечня, технологическая составляющая процесса демонтажных работ представлена в рассматриваемой системе проектирования только возможностью использования принципиальной схемы и критериев принятия технологических решений. Очевидно, что для формирования оптимального технологического процесса демонтажа этого не вполне достаточно. Поэтому возникла необходимость в совершенствовании указанной системы проектирования.

По мнению авторов настоящей работы, для совершенствования системы проектирования в направлении принятия оптимальных решений при разработке технологических процессов демонтажа оборудования может быть полезным применение богатого опыта технологического проектирования в машиностроении. Базовая установка данного опыта исходит из сущности самого понятия «технологический процесс», который формально можно охарактеризовать как процесс качественного и количественного изменения объектов производства, действующий в среде определенных условий, требований и ограничений.

Постановка задачи оптимизации технологического процесса в машиностроении [6] универсальна, она предусматривает наличие трех элементов: математической модели процесса, функции цели и метода оптимизации (оптимизационного алгоритма). Данная постановка задачи оптимизации справедлива и для проектирования демонтажных технологий.

Математическая модель и функции цели описывают все существенные для проектирования связи технических, технологических и организационных ограничений в искомым решениях. При обычном проектировании это нормативные таблицы, графики, номограммы, функциональные зависимости, они разрабатываются экспериментально или теоретически. Таким образом, математическая модель процесса представляет собой системное изложение в математической форме результатов и рекомендаций теории и практики оптимизируемого процесса.

Следуя данным представлениям можно построить алгоритм выбора оптимального значения параметра демонтажной технологии (рисунок 1), из сочетания которых формируется технологический процесс.

Факторный массив, используемый в матрицах отношений алгоритма, распределен по известным группам [2, 3]:

- 1) составляющие демонтажных работ (94 позиции);
- 2) факторы действия технологии (6 видов, 195 факторов);
- 3) данные по среде действия и объектам воздействия технологии (9 классов объектов, 145 экземпляров отношений);
- 4) граничные условия и условия безопасности (3 класса объектов, 75 экземпляров отношений).

В представленном алгоритме (рисунок 1), в процедурах 3, 8, 12, принятие технологических решений производится экспертом с использованием ряда критериев, представляющих как количественные, так и качественные (балльные) оценки. По результатам анализа основных методов формирования интегральных критериев [7, 8] и

условий применения критериев в системе разработки монтажных технологий [2, 3] принят вариант сравнения альтернатив по векторному критерию эффективности. Он сводится к задаче принятия решения со скалярным критерием и переводом остальных количественных критериев в разряд ограничений (граничных условий) при предварительном ранжировании альтернатив по качественным критериям, оцениваемым в лингвистической или балльной форме («да», «лучше», ..., «+», 1, «нет», «хуже», ..., «-», 0).

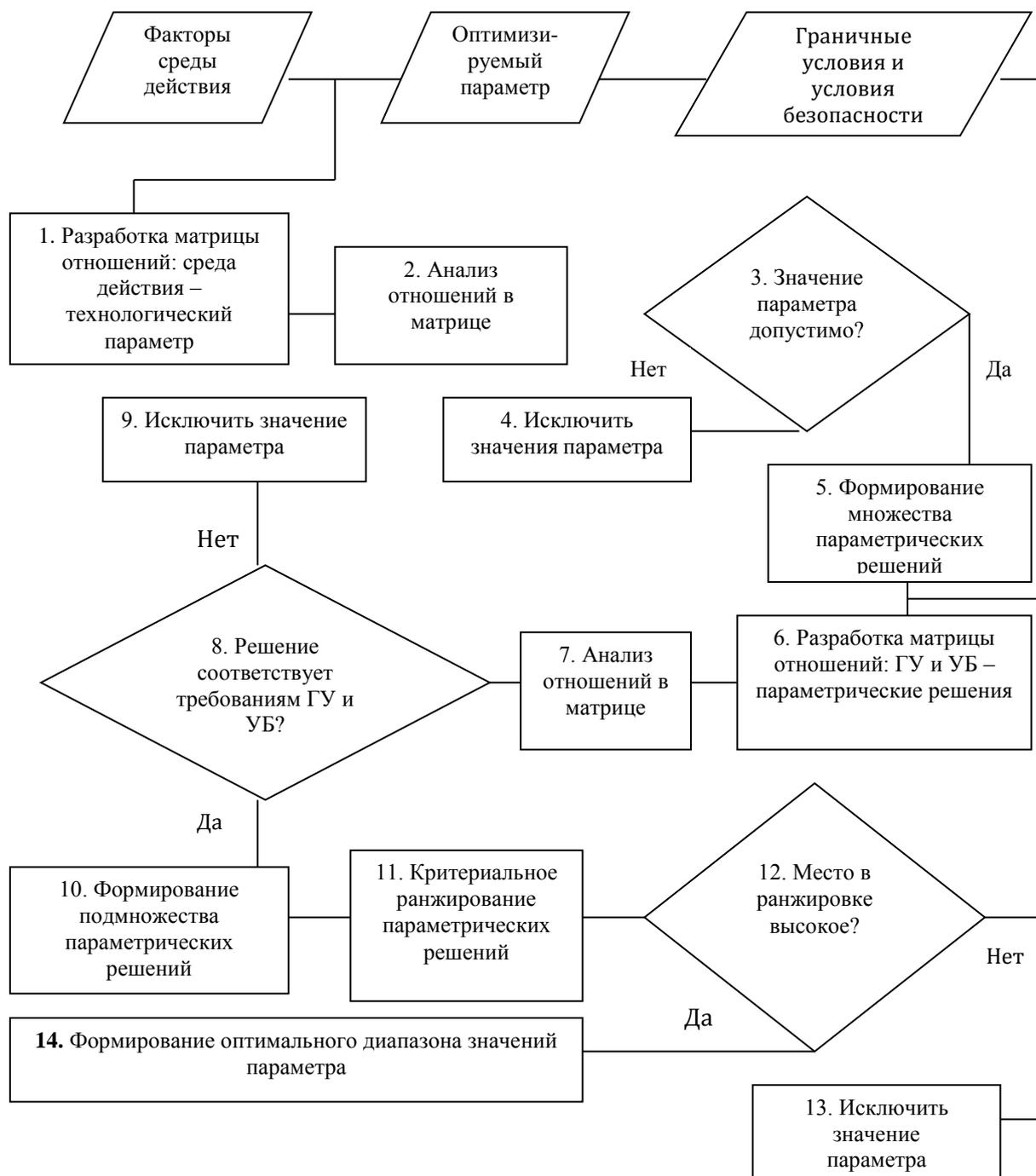


Рис. 1. Алгоритм выбора оптимального значения параметра монтажной технологии

Качественные критерии использованы, например, при принятии технологических решений и выборе средств технологического оснащения в технических предложениях

по технологии демонтажных работ на верхней плите реактора АМБ-100 блока №1 Белоярской АЭС и в подреакторном помещении при высоком уровне радиационного фона [9]. Другая часть критериев-ограничений несет пороговые значения, например, приемлемая коллективная доза, сроки выполнения работ.

Каждая из рассматриваемых альтернатив проходит через систему критериев [2, 3], один из которых  $g_k$  принимается в качестве интегрального и присваивает альтернативам соответствующее значение эффективности  $E$ , а остальные учитываются в виде ограничений, определяющих область допустимых альтернатив:

$$E = g_k; \quad g_i \geq g_i^{(0)}, \quad i = 1, 2, \dots, l;$$

$$g_i \leq g_i^{(0)}, \quad i = l+1, l+2, \dots, n; \quad i \neq k,$$

где  $g^{(0)} = (g_1^{(0)}, g_2^{(0)}, \dots, g_n^{(0)})$  – вектор, определяющий допустимые значения по всем критериям. Каждая из рассматриваемых альтернатив технологического решения проходит через систему критериев-ограничений, определяющих область допустимых альтернатив [2, 3]

В схеме применения критериев-ограничений последовательно формируются списки решений первого, второго и т.д. отборов. Подавляющее большинство технологических решений может быть принято экспертным методом на основе качественных и пороговых оценок.

В трудной для принятия решения ситуации альтернативы проходят ранжирование по степени предпочтительности на основании минимизации интегрального критерия  $S_E$ , построенного путем аддитивного преобразования частных критериев  $S_T$  – технологической себестоимости и  $S_R$  – величины экономического ущерба, вызванного облучением в коллективной эффективной дозе 1 чел·Зв, отнесенных к показателям произведенной работы (массе демонтированного оборудования, длине пути перемещения и др.) [2, 3]:

$$S_E = S_T + S_R = \sum (C_{Ti} + C_R R_{\gamma i}) T_i, \text{ руб/т.}$$

Здесь:

- $C_{Ti}$ , руб/(чел·ч) – технологическая себестоимость единицы трудоемкости выполнения  $i$ -го приема, операции, группы операций, процесса;
- $T_i$ , чел·ч/т – трудоемкость выполнения  $i$ -го приема, операции, группы операций, процесса, отнесенная к показателю произведенной работы;
- $C_R$ , руб/чел·Зв – денежный эквивалент стоимости 1 чел·Зв облучения персонала;
- $R_{\gamma i}$ , Зв/ч – мощность дозы  $\gamma$ -излучения в рабочей зоне при выполнении  $i$ -го приема, операции, группы операций, процесса.

Снижение затрат на демонтажные работы за счет уменьшения радиационного фона в рабочих зонах достигается в ходе проведения подготовительных и вспомогательных работ (дезактивация, установка защитных экранов, подавление вторичных радиоактивных отходов и др.). Связанные с этим ресурсные затраты также распределяются по обеим составляющим и при минимизации критерия  $S_E$  этот фактор учитывается.

В целом влияние составляющей технологической себестоимости  $S_T$  преобладающее в экономических затратах, поэтому необходимо стремиться к минимизации ее величины, обеспечивая тем самым, чтобы принятые технологические решения оставались экономически приемлемыми и обеспечивали соблюдение условий безопасного производства работ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система проектирования технологии демонтажа оборудования блоков АЭС при их выводе из эксплуатации, усовершенствованная использованием опыта проектирования машиностроительных технологий, позволяет реализовать выбор и обоснование оптимальных значений параметров демонтажной технологии. Для решения данной задачи система обеспечивает информационную и методическую поддержку эксперта – разработчика технологического процесса демонтажных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Былкин, Б.К. и др.* Проблемно-ориентированная система проектирования технологии демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блоков АЭС [Текст] / Б.К. Былкин, А.И. Берела // Атомная энергия. – 2000. – Т. 89. – Вып. 3. – С. 189–196.
2. *Берела, А.И.* Разработка и внедрение проблемно-ориентированной системы проектирования технологии демонтажа оборудования блоков АЭС при их выводе из эксплуатации : автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / А.И. Берела. – М., 2001. – 22 с.
3. *Берела, А.И. и др.* Оптимизационные аспекты проектирования технологического процесса демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блоков атомных станций [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, В.А. Шапошников // Тяжелое машиностроение. – 2004. – №6. – С. 9–14.
4. Разработка в проекте атомной станции вопросов демонтажа оборудования на стадии вывода энергоблока из эксплуатации [Текст] / Б.К. Былкин, А.И. Берела, И.И. Копытов // Теплоэнергетика. – 2006. – №9. – С. 68–72.
5. *Былкин, Б.К. и др.* Разработка технологических процессов демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации атомных станций [Электронный ресурс] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин, Б.К. Былкин // Инженерный вестник Дона: сетевой журн. – 2013. – №2. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734> – 25.08.2013.
6. *Корчак, С.Н. и др.* Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: учеб. для вузов по спец. «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» [Текст] / С.Н. Корчак, А.А. Кошин, А.Г. Ракович, Б.И. Синицын; под общ. ред. С. Н. Корчака. – М. : Машиностроение, 1988. – 352 с.
7. Введение в системный анализ: учеб. пособие для вузов [Текст]. – М. : Высш. шк., 1989. – 367 с.
8. *Денисов, А.А. и др.* Теория больших систем управления: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 288 с.
9. *Берела, А.И. и др.* Технологическое оборудование, применяемое в работах по выводу из эксплуатации блоков АЭС [Текст] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №1(6). – С. 58–66.

## Parameters Meaning Selection of Equipment Desoldering Technological Process of Removed from Operation NPS-blocks

**A.I. Berela\*<sup>1</sup>, B.K. Bylkin<sup>2</sup>, S.A. Tomilin\*\*<sup>1</sup>, A.G. Fedotov\*\*\*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», 73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360,*

*\*e-mail: berelaleks@yandex.ru ; \*\*e-mail: SATomilin@mephi.ru ; \*\*\*e-mail: AGFedotov@mephi.ru*

<sup>2</sup> *National Research Centre “Kurchatov’s Institute”, 1 Akademika Kurchatova St., Moscow, 123182 e-mail: bylkin@base1.dhtp.kiae.ru*

**Abstract** – The article considers the questions and gives the algorithm of parameters meaning selection of technological process of equipment desoldering, removed from operation NPS-blocks, which is based on the process of technological projecting in machine industry. This material is for use of specialists, designing desoldering technology in conditions of wide factorial massive of projecting environment.

**Keywords:** NPS-block, operation removal, equipment desoldering, technological process, desoldering technology parameter, factorial massive, optimization, optimization criterion.

УДК 621.311.25

## **ЗАЩИТА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ АППАРАТУРЫ И ЕЁ ЦЕПЕЙ ОТ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

© 2013 г. **О.В. Фоменко, А.В. Пашковский**

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

Поступила в редакцию 24.07.2013 г.

В статье рассмотрены основные виды электромагнитных воздействий различного происхождения, их влияние на работу микропроцессорной аппаратуры и предложены варианты их снижения.

*Ключевые слова:* электромагнитная совместимость, микропроцессорная аппаратура, электромагнитная обстановка, заземляющие устройства.

Одним из перспективных направлений развития технологий в области микропроцессорной техники за последние десятилетия является автоматизация технологических процессов в различных отраслях промышленности, включая и энергетику. Основными вопросами реконструкции или модернизации электрических станций (ЭС) и подстанций (ПС) в настоящее время является именно использование электротехнических установок и оборудования, в основе работы которых имеют место микропроцессорные (МП) устройства. Именно они подвержены влиянию электромагнитных полей. Известно, что электромагнитное поле включает в себя две составляющие – электрическую и магнитную, каждая из которых может быть как высокочастотной, так и низкочастотной. Если повышенное электрическое поле свойственно бытовой и офисной технике, то магнитное поле сопровождает проводники, поэтому источниками его становятся воздушные и кабельные линии, трансформаторные подстанции, и т.п. В сравнительном аспекте воздействие магнитного поля оказывается существенно опаснее электрического. Поскольку объекты электроэнергетики должны быть оснащены автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУ ТП), а коммерциализация энергосбережения предусматривает внедрение в отрасль автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), то все это связано с установкой именно МП устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) вместо электромеханических. Подобные замены дают возможность оценить не только плюсы МП устройств, но и выявить их подверженность различным электромагнитным воздействиям. Вместе с этим актуален вопрос об оценке электромагнитной обстановки (ЭМО) объектов отрасли не только с точки зрения воздействия на персонал и окружающую среду, но и с точки зрения взаимного влияния устройств и аппаратов на нормальные режимы работы друг друга – их электромагнитной совместимости (ЭМС). Согласно [3], ЭМС – это способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной ЭМО и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам. Существующие в настоящее время Методические указания по определению

ЭМО [3] довольно подробно рассматривают методы оценки ЭМО в части прямых методов. Во многих случаях проблемы ЭМС объясняются следующими обстоятельствами:

а) недоработкой проектных решений, касающихся соблюдения условий ЭМС различных энергообъектов. Это имеет место, как при строительстве новых объектов, так и реконструкции действующих в период до середины 90-х годов;

б) непредусмотренными отклонениями при реализации проекта и при последующих модернизациях и реконструкциях энергообъекта (например, прокладка дополнительных электрических цепей с целью организации резервного питания от объектов с большим уровнем помех);

в) нарушениями технологии вследствие проведения как строительных, так и монтажных работ. Чаще всего это ведет к возникновению серьезных дефектов при монтаже ЗУ;

г) физический и моральный износ защитных устройства (например, наличие коррозии в контактах цепей может значительно ухудшить ЭМО на энергообъекте);

д) повреждениями ЗУ, связанных с производством земляных работ, реконструкцией энергообъекта и др.

В настоящее время в решении вопросов ЭМС существует два основных подхода:

1) Плановый контроль за состоянием МП устройств с целью обеспечения ее высокой устойчивостью, в первую очередь, к электромагнитным помехам различного происхождения.

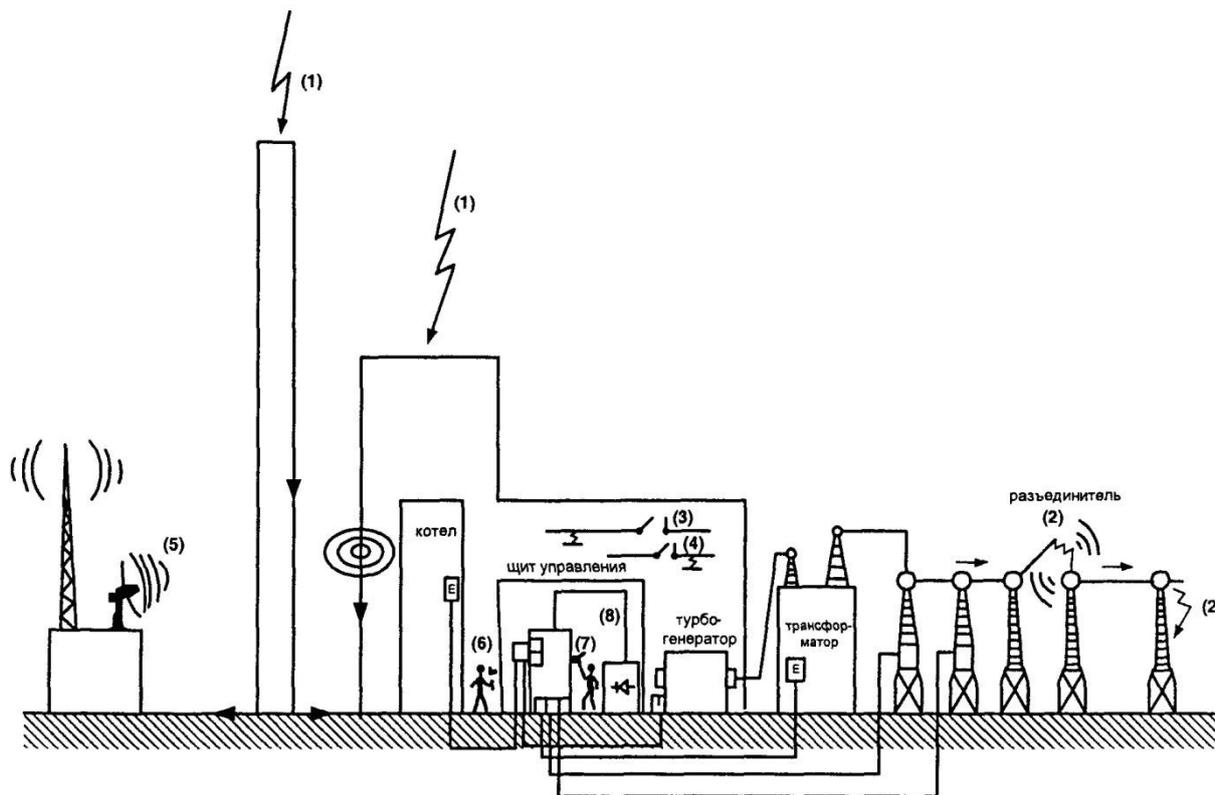
2) Профессиональная оценка ЭМС технических средств, в частности МП устройств, а также ЭМО с целью проведения комплекса мероприятий по улучшению ЭМС и ЭМО на энергообъектах.

При этом необходимо учитывать, что для различных объектов энергосистемы фактические параметры ЭМО существенно различаются. Поскольку в действующих стандартах и технических условиях приводятся теоретические значения ЭМО, характерные для исправного силового оборудования или МП устройств, то для принятия оптимальных решений связанных с проблемами ЭМС принципиально грамотное сочетание не только обоих подходов, но и учет особенностей конкретной ЭС либо ПС.

С целью защиты МП аппаратуры и ее цепей от внешних электромагнитных воздействий различного происхождения была рассмотрена система оценки магнитных полей промышленной частоты на действующем объекте, в частности на Волгодонской ТЭЦ. Основные виды помех на ТЭЦ представлены на рисунке 1. Представленные источники помех (поз.1-8) имеют различную природу, а именно: 1 – является помехой естественного происхождения, 2-4-помехи искусственного происхождения, 5-8-имеют двойную природу происхождения в зависимости от источника помехи.

Природой возникновения естественных помех являются грозовые разряды и геомагнитные явления. Возникновение искусственных помех обусловлено работой электрооборудования (генераторов, двигателей), воздушных и кабельных линий, силовых установок (трансформаторов, реакторов), а также электронных и МП устройств, используемых для управления и защиты.

Отмеченное выше преобладание магнитного поля как источника помех искусственного происхождения позволяет проводить именно комплексную оценку его влияния на МП устройства (на рисунке это соответствует поз.2). Непосредственные измерения напряженности магнитных полей частотой 50 Гц были проведены в нормальных режимах при помощи измерителя магнитного поля типа ИПМ-50/200/400, входящего в комплект КДЗ-1 в местах установки устройств АСТУ на РУ высокого напряжения вдоль трассы прокладки кабелей.



**Рис. 1.** Источники электромагнитных воздействий на ЭС и ПС: 1 – удар молнии; 2 – переключения и короткие замыкания (КЗ) в сети высокого напряжения; 3 – переключения и КЗ в сети среднего напряжения (СН); 4 – переключения и КЗ в сети низкого напряжения (НН); 5 – внешние источники радиочастотных излучений; 6 – внутренние источники радиочастотных излучений; 7 – разряды статического электричества; 8 – источники кондуктивных помех по цепям питания

Анализировался режим однофазного короткого замыкания на шинах высокого напряжения. Приближенные оценки уровня напряженности магнитных полей определялись расчетным путем по формуле:

$$H = I_{кз} / 2\pi r,$$

где  $r$  – расстояние до шин, по которым проходит ток однофазного короткого замыкания  $I_{кз}$ .

На основании результатов замеров и расчетов был составлен протокол (табл.), который дает документально подтвержденные данные по ЭМО объекта.

На основании представленного протокола (таблица 1) можно сделать заключение о соответствии или несоответствии условий работы кабелей и аппаратов допустимым значениям, прописанным в нормативно-технической документации: для исследуемого участка, при однофазном КЗ на ОРУ-110 кВ напряжения промышленной частоты, воздействующие на контрольные кабели от оборудования ОРУ до РЦ 110 кВ, и токи по экранам кабелей превышают допустимые уровни. При однофазном КЗ на ОРУ-110кВ может иметь место как повреждение этих кабелей, так и вынос высокого потенциала с ОРУ в машзал по кабелям с гальваническими связями между ними.

**Таблица 1.** Протокол «Воздействие токов и напряжений промышленной частоты на контрольные кабели»

№ кабеля	Трасса	Место воздействия	Напряжение на кабеле кВ	Ток в экране кабеля, А	Время воздействия, с	Допустимое значение $U_{50Гц}$ , кВ	Допустимое значение $I_{50Гц}$ , А	Выводы	Рекомендации
ОРУ 110 кВ (ток КЗ 11,9 кА)									
-	ОРУ-110 кВ-РЩ 110 кВ	Оборудование ОРУ-110	3,2	1150	0,1	1	230	Напряжения и токи выше нормы	См. заключение

Таким образом, комплексная оценка уровней электромагнитных полей с целью корректной оценки ЭМО позволяет разработать и успешно осуществить ряд защитных мероприятий. В частности, по результатам проведенного обследования ЭМО может появиться необходимость выполнить следующие мероприятия:

- а) оптимизацию системы защитных заземляющих устройств;
- б) обеспечение прокладки вторичных цепей в соответствии с требованиями ЭМС;
- в) экранирование чувствительной электронной аппаратуры;
- г) модернизацию систем питания.

**Вывод:** Поскольку сегодня цифровая аппаратура управления, защиты, сигнализации и связи становится критически важным элементом систем управления и обеспечения безопасности, работы по ее защите от помех становятся неотъемлемой частью комплекса работ по обеспечению надежной и безопасной работы объекта в целом. Это значит, что на существующих, реконструируемых и находящихся в эксплуатации объектах электроэнергетики, нефтегазового комплекса, атомной энергетики, промышленности, транспорта, связи требуется проведение специальных работ, направленных на диагностику ЭМО и обеспечение защиты от помех систем управления, сигнализации, РЗА и связи на базе цифровой аппаратуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шваб, А. Электромагнитная совместимость: [Текст] / А. Шваб; пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора; под ред. И.П. Кужекина. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 480 с.
2. Дьяков, А.Ф. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике [Текст] / А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов и др.; под ред. А.Ф. Дьякова. - М. : Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
3. СО 34.35.311-2004 (РАО ЕЭС России). Методические указания по определению электромагнитной обстановки на электрических станциях и подстанциях [Текст]. – [Б.и.], 2004.

### **Microprocessor Equipment and its Chains Protection against Natural and Artificial External Electromagnetic Influence**

**O.V. Fomenko\*, A.V. Pashkovskiy\*\***

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

**Abstract** – The article describes the main types of electromagnetic influences of different origin, their impact on the microprocessor equipment operation and suggests reducing measures.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, microprocessor equipment, electromagnetic situation, grounding devices(appliances).

**СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ  
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС**

УДК 159.9:62

**ДИСТАНЦИОННЫЕ И НЕКОНТАКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
РЕГИСТРАЦИИ БИОПАРАМЕТРОВ ОПЕРАТИВНОГО  
ПЕРСОНАЛА КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ  
ФАКТОРОМ И ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС**

© 2013 г. М.В. Алюшин\*, А.В. Алюшин\*, Л.О. Андрияшина\*\*,  
Л.В. Колобашкина\*, В.В. Пшенин\*\*\*

\*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва.

\*\*ОАО «Концерн Росэнергоатом», Москва.

\*\*\*Институт промышленных ядерных технологий НИЯУ МИФИ, Москва.

Поступила в редакцию 30.06.2013 г.

Представлены описание и результаты предварительных испытаний разрабатываемого в НИЯУ МИФИ программно-аппаратного комплекса (ПАК) для контроля функционального состояния оперативного персонала АЭС на основе пассивных неконтактных и дистанционных технологий регистрации биопараметров с помощью акустических, оптических, газоаналитических датчиков и специализированного программного обеспечения. Формируемая с помощью ПАК база персональных данных, полученных при периодическом обследовании персонала в лабораториях психофизиологического обеспечения (ЛПФО) АЭС и в процессе учебно-тренировочных занятий на полномасштабных тренажерах с моделированием внештатных и аварийных ситуаций на энергоблоке обеспечивает возможность эффективного управления человеческим фактором, повышение качества и безопасности эксплуатации АЭС.

*Ключевые слова:* неконтактные технологии, человеческий фактор, оперативный персонал АЭС.

Опубликованные в разных странах результаты анализа аварий на АЭС «Three Mile Island», Чернобыльской АЭС и недавней аварии на АЭС «Fukushima» однозначно указывают на человеческий фактор (ЧФ) как одну из основных причин, определивших характер их протекания и тяжесть последствий. Совокупность индивидуальных физиологических и психологических возможностей и ограничений составляет основу ЧФ и наряду с профессиональными навыками определяет действия операторов в экстремальных ситуациях. Созданные в начале 80-х годов на всех отечественных АЭС ЛПФО проводят первичный отбор, периодические обследования персонала и осуществляют психолого-педагогическое сопровождение обучения персонала в учебно-тренировочных пунктах АЭС. При периодических обследованиях персонала с помощью контактных датчиков регистрации физиологических параметров определяется общее состояние организма, а для оценки функционального состояния центральной нервной системы используется набор компьютеризированных тестов.

Описанный подход в значительной степени способствует повышению «надежности ЧФ» [1], являясь при этом только косвенным способом оценки индивидуальных психологических характеристик оператора АЭС. Качественно другие возможности обеспечивает применение бесконтактных и дистанционных технологий регистрации биопараметров для контроля функционального состояния операторов при проведении учебно-тренировочных занятий на полномасштабных тренажерах (ПМТ) с

моделированием нарушений условий нормальной эксплуатации и аварийных ситуаций.

Такие технологии, интенсивно развивающиеся в последние годы, позволяют контролировать функциональное состояние оператора по многим параметрам в on-line режиме при различных психологических нагрузках, обусловленных последовательностью исходных событий и отказов в сценарии занятия на ПМТ.

Структура, характеристики и результаты предварительных испытаний ПАК, включающего в себя акустические (инфразвук, звук), оптические (излучение инфракрасного и видимого диапазонов) и газоаналитические каналы дистанционной регистрации биопараметров представлены ниже. Необходимо отметить, что регистрация биопараметров в процессе занятий на ПМТ в условиях интенсивных перемещений операторов, наличия акустических, тепловых и оптических помех является сложной технической задачей и требует создания высокопроизводительных интеллектуальных средств обработки «зашумленных» сигналов. Результаты ранее выполненных НИЯУ МИФИ таких разработок представлены в публикациях [2-4].

Разрабатываемый ПАК включает в себя следующие компоненты, размещаемые в помещениях различных служб АЭС (рис.1):

– ПАК для контроля психофизиологического состояния оперативного персонала при приеме на работу и периодическом медицинском обследовании (ПАК-ЛПФО, его внешний вид представлен на рисунке 1а;

– ПАК для контроля психофизиологического состояния оперативного персонала при предсменном контроле или перед началом учебно-тренировочных занятий (ПАК-ПСК), внешний вид комплекса аналогичен представленному на рисунке 1а;

– ПАК для контроля психофизиологического состояния оперативного персонала в процессе тренировочных занятий на ПМТ (ПАК-ПМТ, схема размещения датчиков комплекса на модели БЩУ представлена на рисунке 1б, средства обработки результатов измерений размещаются отдельно в одном из помещений УТЦ).



1 – персональный компьютер с ПО для тестирования операторов АЭС, 2 – тестовая графическая оболочка

а)



1 – размещение детекторов в резервных приборных посадочных местах модели БЩУ, 2 – размещение детекторов в оборудовании на рабочей панели, 3 – размещение детекторов в свободных ячейках модели БЩУ

б)

а – ПАК-ЛПФО (ПАК-ПСК),

б – варианты размещения детекторов ПАК-ПМТ на модели БЩУ УТЦ Балаковской АЭС [5].

**Рис. 1.** Компоновка различных конфигураций ПАК

Перечисленные выше компоненты ПАК функционируют независимо и обеспечивают формирование и поддержание локальных баз персональных данных. Связь указанных компонентов осуществляется через общую базу данных. Оценки текущего психофизиологического состояния оператора, степени психологической готовности к действиям в аварийных ситуациях и подготовка рекомендаций по управлению персоналом осуществляются на основе автоматизированного анализа всей совокупности персональных данных, с использованием методики обобщенной оценки психофизиологического состояния.

ПАК-ЛПФО и ПАК-ПСК имеют идентичную структуру, разрабатываются на единой основе и различаются номенклатурой каналов регистрации биопараметров оператора. Последнее обусловлено жесткими временными ограничениями на предсменный контроль (2-3 мин.). Совместное использование ПАК-ПСК и ПАК-ЛПФО обеспечивает наиболее представительные характеристики «исходного» состояния оператора перед началом занятий, использующиеся в методике обобщенной оценки психофизиологического состояния, описание первого варианта которой представлено ниже.

Предварительные испытания макетного образца ПАК-ПМТ были проведены в процессе учебно-тренировочных занятий на ПМТ Балаковской АЭС. Структурная схема макетного образца ПАК-ПМТ представлена на рисунке 2.

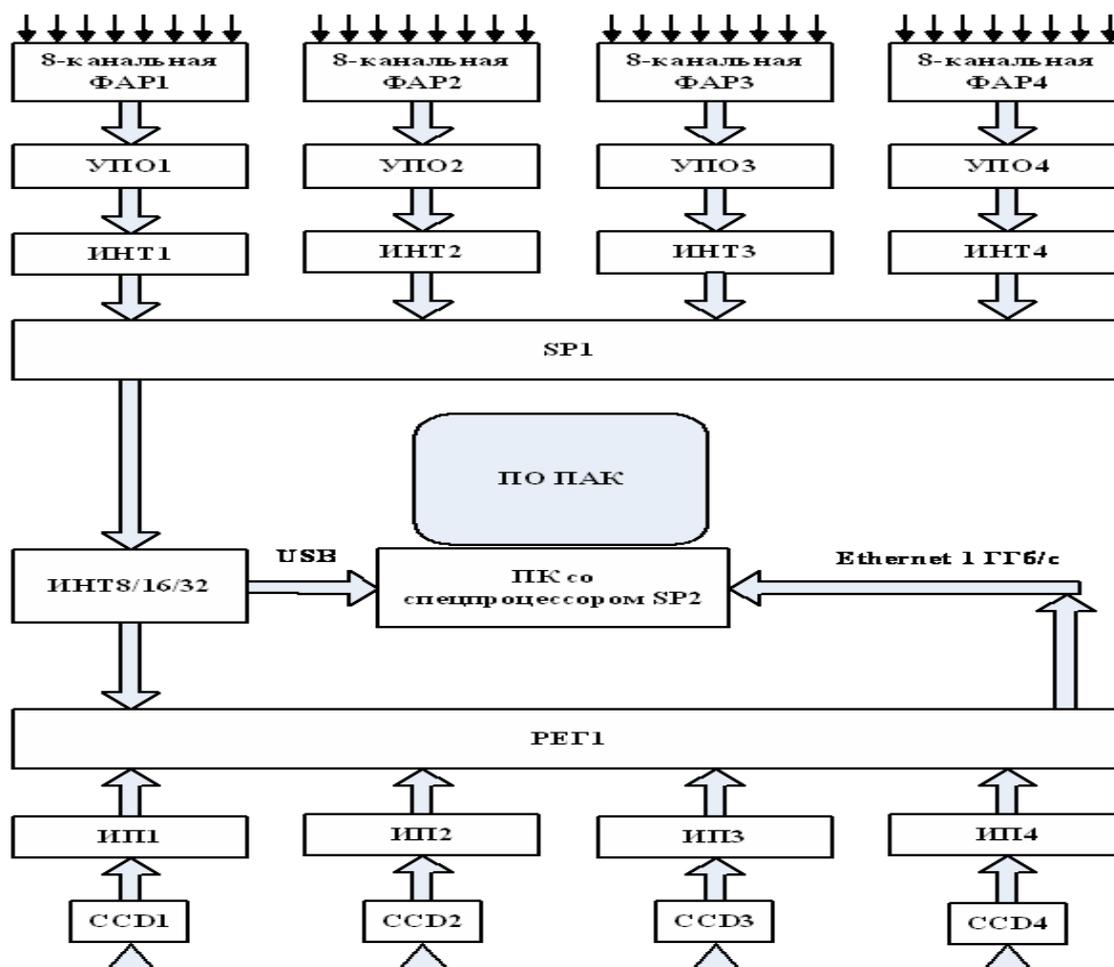


Рис. 2. Структурная схема опытного образца ПАК-ПМТ

В качестве акустических датчиков использовались 4 фазированных акустических

решетки (ФАР) из 8-ми элементов каждая. Временная фильтрация и аналого-цифровое преобразование акустического сигнала ФАР осуществляются в устройствах предварительной обработки (УПО1 – УПО4) сигналов.

Пространственная фильтрация акустических сигналов и формирование диаграммы направленности с максимумом, направленным на источник акустической информации, осуществлялась с помощью специализированного процессора SP1. Передача данных от ФАР к спецпроцессору SP1 реализована с помощью интерфейсов ИНТ1 – ИНТ4. Анализ речевых данных, оценка эмоционального состояния оператора выполнялась с использованием персонального компьютера (ПК) со специализированным процессором (SP2). Связь ПК с SP1 организована через USB-интерфейс и мост ИНТ 8/16/32.

Съемка изображения лица оператора осуществлялась 3-мя видеокамерами видимого диапазона (CCD1 – CCD3) и одной камерой инфракрасного диапазона (CCD4) с соответствующими источниками питания ИП1 – ИП4.

Локальная база видео и акустических данных реализована на регистраторе Рег. 1. Обмен данными между Рег. 1 и ПК реализован на основе интерфейса Ethernet.

Для оценки психофизиологического состояния оператора использовалось специальное программное обеспечение и данные анализа параметров сердечно-сосудистой системы, параметры движения глаз, зрачковая реакция, термометрические параметры, параметры дыхания, параметры голоса, фотоплезмограмма, кожно-гальваническая реакция.

Для повышения достоверности определения указанных выше биопараметров оператора, работающего на БЦУ ПМТ и, как правило, совершающего интенсивные движения по залу ПМТ в процессе проведения учебных занятий, для их определения использовались данные, получаемые с помощью различных технологий регистрации. Так, например, частота пульса оператора определялась по данным акустического, оптического и инфракрасного каналов регистрации. Технологии, которые используются в опытном образце ПАК ПМТ для определения биопараметров оператора представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Определение биопараметров с помощью оптической, инфракрасной и акустической технологий

Объект наблюдения	Основные биопараметры тестируемого оператора, определяемые с помощью опытного образца ПАК ПМТ	Оптические технологии видимого диапазона	Оптические технологии инфракрасного диапазона	Акустические технологии
1. Система дыхания	1.1. Частота дыхания	+	+	+
	1.2. Глубина дыхания	–	+	+
	1.3. Равномерность дыхания	+	+	+
	1.4. Верхнее/нижнее дыхание	+	+	+
2. Сердечно-сосудистая система	2.1. Частота пульса	+	+	+
	2.2. Артериальное давление	–	+	–
	2.3. Равномерность пульса	–	+	+
	2.4. ФПГ	–	+	–
	2.5. Температура участков лица	–	+	–
3. Периферическая нервная система	3.1. КГР	–	+	–
	3.2. «Зрачковая» реакция	+	–	–
	3.3. Уровень микротремора в голосе	–	–	+
	3.4. Уровень тремора участков лица	+	+	–

Обработка временных зависимостей перечисленных в таблице 1 биопараметров позволяет оценить изменения психофизиологического состояния оператора в зависимости от сложности решаемых им в процессе занятия задач. При обработке данных, полученных в процессе занятий на ПМТ, для обобщенной оценки психофизиологического состояния  $k$ -го оператора использовалась нормированная безразмерная интегральная характеристика  $G_k$ , определяемая следующим образом:

$$G_k = \sum_j B_j \cdot G_{jk}, j = 1, 2, 3, \quad (1)$$

где  $B_j$  ( $0 < B_j < 1$ ) – значимость частной характеристики  $G_{jk}$  для определения характеристики  $G_k$ ;

$G_{jk}$  – частная характеристика, определяющая психоэмоциональное состояние оператора на основе данных, полученных с помощью только одной технологии регистрации биопараметров;

$j$  – номер используемой технологии регистрации биопараметров оператора ( $j=1$  – оптические технологии видимого диапазона,  $j=2$  – оптические технологии инфракрасного диапазона,  $j=3$  – акустические технологии).

Частные характеристики  $G_{jk}$  в формуле (1) определяются с учетом индивидуальных особенностей каждого из операторов:

$$G_{jk} = \sum_i A_{ijk} \left( (P_{ijk} - P_{0ijk}) / P_{0ijk} \right), \quad (2)$$

где  $P_{ijk}$  –  $i$ -ый биопараметр  $j$ -го объекта наблюдения (табл.1) для  $k$ -го оператора;

$P_{0ijk}$  –  $i$ -ый биопараметр  $j$ -го объекта наблюдения, взятый из базы персональных данных для  $k$ -го оператора (для его нормального состояния);

$A_{ijk}$  – значимость параметра  $P_{ij}$  для определения частной характеристики  $G_{jk}$ , взятая из базы персональных данных.

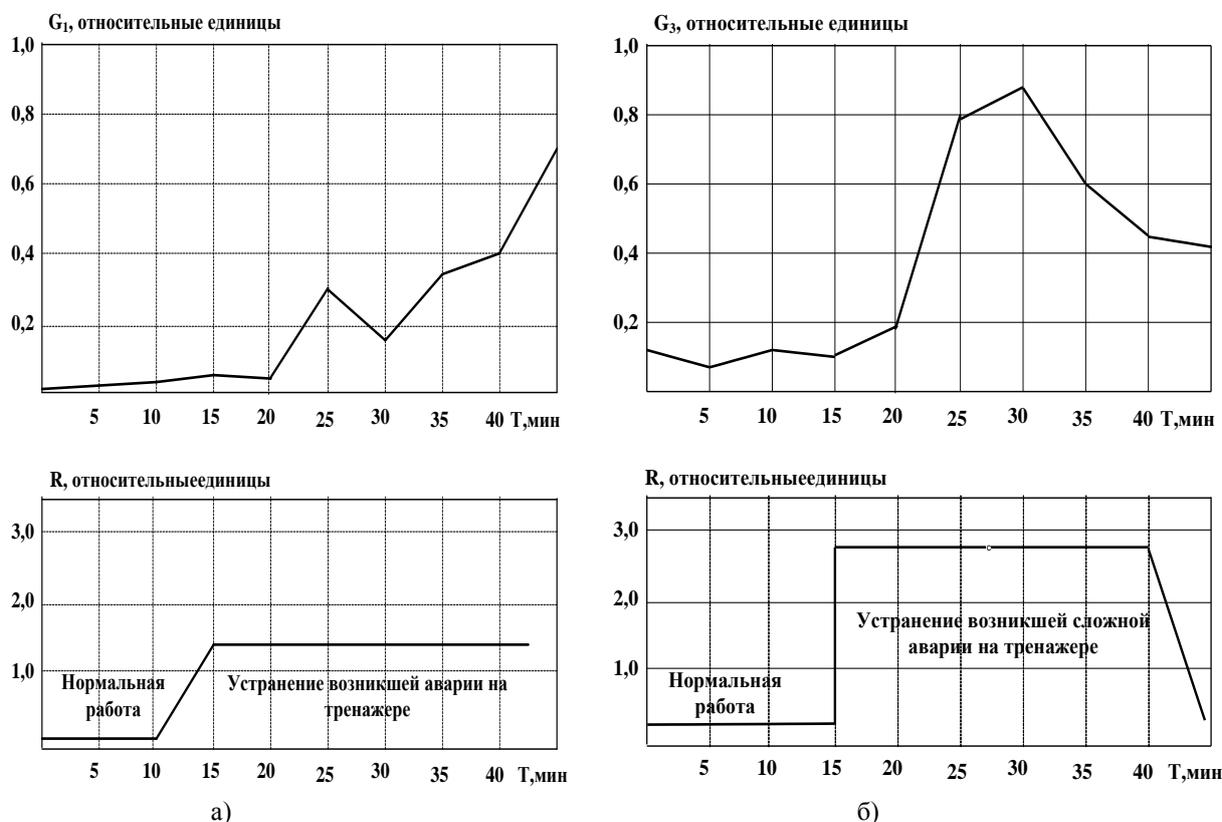
Поскольку на момент проведения испытаний макетного образца база персональных данных, содержащая значения регистрируемых параметров при периодических обследованиях и предсменном контроле отсутствовала в качестве  $P_{0ijk}$  использовались значения биопараметров, измеренные в начале занятий, когда операторы решали простые задачи управления энергоблоком в штатном режиме.

На рисунке 3а приведена временная зависимость определенного соотношением (1) безразмерного параметра  $G_k$  для одного из операторов ( $k=1$ ) при выполнении задания, связанного с устранением единичного отказа оборудования после непродолжительного периода работы в штатном режиме. Временная зависимость параметра сложности решаемой задачи  $R$ , экспертно определенного в относительных единицах по отношению к штатному режиму эксплуатации представлена на том же рисунке ниже.

На рисунке 3б представлены аналогичные зависимости для второго оператора при выполнении им более сложного ( $R=2,8$ ) учебного задания, связанного с наложением нескольких отказов оборудования.

Представленные на рисунке 3 данные демонстрируют однозначную зависимость психофизиологического состояния оператора от сложности решаемых им в процессе учебно-тренировочного занятия задач. При этом зависимости  $G_k$  от времени достаточно плавные, что обеспечивает возможность регистрации биопараметров с относительно

большим временным шагом и существенно упрощает решение проблем, связанных с перемещением оператора и временной потерей сигнала некоторых датчиков. Полученные зависимости  $G_k$  также однозначно свидетельствуют о различном уровне профессиональной подготовки первого и второго операторов.



а – первый оператор; б – второй оператор.

Рис. 3. Мониторинг состояния операторов в процессе занятий на ПМТ

Так, первый оператор ( $k = 1$ ) при выполнении им тестового задания относительно невысокой сложности  $R = 1.4$ , по-видимому, не смог полностью решить поставленную задачу, о чем свидетельствует постоянное нарастание напряженности его состояния ( $G_k > 0.7$ ,  $T = 45$  мин).

Второй оператор ( $k = 2$ ) при решении более сложного тестового задания ( $R = 2.8$ ) вначале испытал сильный стресс ( $G_k > 0.8$ ,  $T = 30$  мин), но затем по мере успешного выполнения поставленной задачи успокоился плавно перешел в спокойное состояние, близкое к тому в котором он находился в начале занятия.

Временная зависимость частной характеристики психофизиологического состояния  $G_{2k}$ , измеряемой с помощью канала регистрации инфракрасного излучения представлена на рисунке 4. Для оценки текущего состояния оператора (значения функции  $G_{2k}$ ) в данном случае были использованы следующие биопараметры (см. табл. 1), которые представлены в относительных по отношению к нормальному (в начале занятия) состоянию оператора:

- параметр 1.1 – частота дыхания (изображен синим цветом);
- параметр 2.1 – частота пульса (изображен красным цветом);
- параметр 3.4 – уровень тремора участков лица (изображен зеленым цветом).



- 1 – начало тестирования в момент времени  $T_0$ ;  
 2, 3, 4 и 5 – соответственно моменты времени  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  и  $T_4$ ;  
 6 – момент времени завершения тестирования  $T_5$

Рис. 4. Оценка текущего состояния оператора

Центр приведенной круговой диаграммы соответствует моменту времени начала регистрации биопараметров ( $T_0$ ). Периметр круговой диаграммы соответствует моменту времени окончания регистрации биопараметров ( $T_5$ ). Ширина сектора определенного цвета на данном расстоянии от центра пропорциональна величине регистрируемого биопараметра в соответствующий момент времени.

На рисунке 5 показан механизм формирования итоговой обобщенной оценки текущего психоэмоционального состояния тестируемого  $k$ -го оператора  $G_k$  (1) на основе частных оценок  $G_{1k}$ ,  $G_{2k}$  и  $G_{3k}$  (2), получаемых с помощью соответственно оптических технологий и акустических технологий.

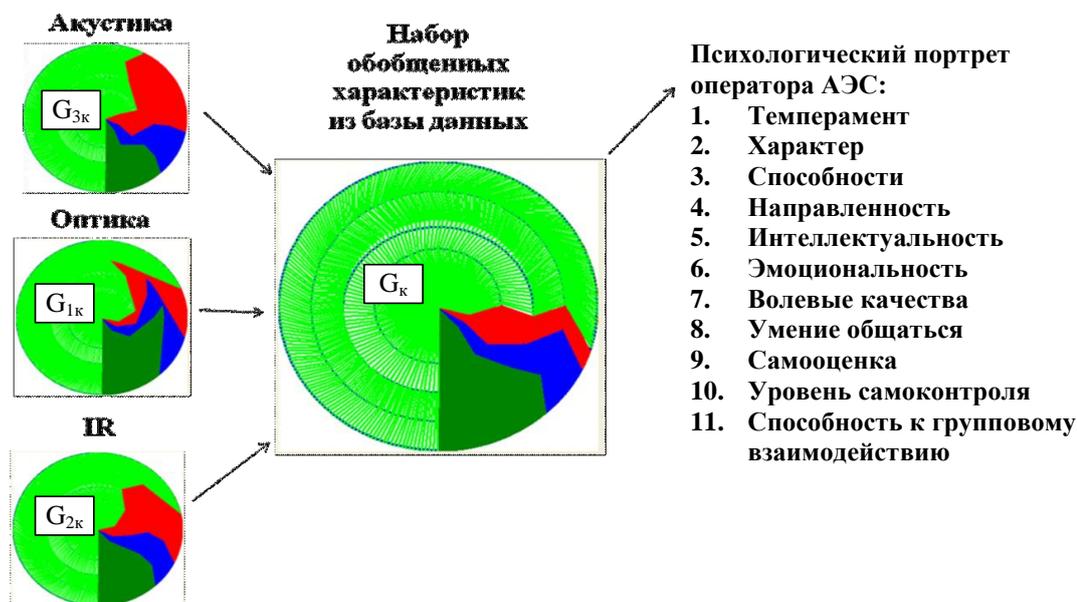


Рис. 5. Вклад оценок, полученных с помощью оптических  $G_{1k}$ ,  $G_{2k}$  и акустической  $G_{3k}$  технологий, в формирование итоговой интегральной оценки  $G_k$  текущего психоэмоционального состояния тестируемого оператора

Приведенные выше результаты испытаний макетного образца ПАК-ПМТ демонстрируют широкие возможности бесконтактных и дистанционных технологий регистрации биопараметров для оценки психофизиологических характеристик операторов АЭС и других опасных производств в процессе учебно-тренировочных занятий на тренажерах, в условиях, максимально приближенных к реальным условиям работы на энергоблоке. Полученные в процессе таких занятий объективные данные в сочетании с данными периодического обследования персонала в ЛПФО могут обеспечить возможность объективной комплексной оценки результатов занятий и готовности операторов к действиям в аварийных ситуациях, планированию занятий с точки зрения психологических нагрузок, выработке обоснованных решений по управлению персоналом и, в конечном счете, повышению надежности человеческого фактора.

## ВЫВОДЫ

На основе результатов лабораторных исследований, проведенных в НИЯУ МИФИ и натурных испытаний на ПМТ Балаковской АЭС выбраны детекторы для оптических (видимый и инфракрасный диапазоны) акустического и инфракрасного каналов бесконтактной регистрации биопараметров оператора. Разработано математическое обеспечение для обработки результатов измерений, выполняющихся в условиях оптических, акустических и инфракрасных помех. Предложена модель обобщенной оценки психофизиологического состояния оператора по результатам бесконтактной регистрации биопараметров.

Продемонстрирована высокая информативность бесконтактно регистрируемого набора биопараметров и широкие возможности разрабатываемого программно-аппаратного комплекса, позволяющего производить объективную оценку психофизиологического состояния оператора в условиях, максимально приближенных к реальным условиям работы на БЦУ, стрессоустойчивости, степени готовности к действиям в аварийных ситуациях и вырабатывать на основе этих оценок обоснованные решения по управлению оперативным персоналом.

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс может найти применение в УТЦ и ЛПФО АЭС и службах психофизиологического обеспечения других опасных производств, использующих тренажеры для подготовки оперативного персонала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Человеческий фактор. В 6-ти томах [Текст] / Под ред. Г. Салвенди : пер. с англ. Том 3. Моделирование деятельности, профессиональное обучение и отбор операторов. – М. : Изд-во Мир, 1991. – 488 с.
2. *Алюшин, М.В. и др.* Информационные технологии принятия решений в условиях конфликта. Часть II. Оптимальное поведение и психоэмоциональное состояние [Текст] / М.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина, – М. : НИЯУ МИФИ, 2010. – 160 с.
3. *Алюшин, М.В. и др.* Интерфейсные модули для макетирования систем сбора и обработки данных с реконфигурируемой структурой [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина и др. // Естественные и технические науки. – 2011. – №4. – С. 440.
4. *Алюшин, М.В. и др.* Реконфигурируемая шина для создания высокопроизводительных систем обработки данных со структурой, управляемой потоком данных [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина и др. // Естественные и технические науки. – 2011. – №4. – С. 444.
5. Разбирая архивы. Надоработанный отчетик о посещении Балаковской АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://ulis-aka-janek.livejournal.com/370444.html> – 21.04.2013.
6. *Алюшин, М.В. и др.* 3U и 6U модули цифровой обработки данных для макетирования систем с реконфигурируемой структурой [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина и др. // Естественные и технические науки, 2011, №4. – С.452.

## **Distant and noncontact technologies for registration of operating personnel bio parameters as a mean of human factor control and NPP security improvement**

**M.V. Alyushin\*, A.V. Alyushin\*, L.O. Andryushina\*\*,  
L.V. Kolobashkina\*, V.V. Pshenin\*\*\***

\* *National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse 31, Moscow, Russia 115409  
e-mail: MVAlyushin@mephi.ru*

\*\* *JSC «Concern Rosenergoatom», Moscow, Russia 347388  
e-mail: andryushina-lo@rosenergoatom.ru*

\*\*\* *Institute of the Industrial Nuclear Technologies NRNU MEPhI, Moscow, Russia*

**Abstract** – Description and results of pretests of software and hardware complex (SHC) developed by NRNU MEPhI for NPP operational staff current state monitoring on the basis of the noncontact and distant technologies of bio parameters registration with the help of acoustical, optical and infrared analytical sensors are presented. SHC data base received during personnel periodical survey in the laboratory of NPP psycho-physiological maintenance and in the process of training with full-scale simulator provides an opportunity to forecast and control staff behavior in the case of nonstandard or failure situations, minimize the influence of so-called “human factor”, improve the quality and security level of NPP operating.

*Keywords:* noncontact technologies, human factor, NPP operational staff.

**СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ  
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС**

УДК 339.9:621.039.54

**РАЗВИТИЕ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ РОССИИ  
НА РЫНКЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

© 2013 г. Н.А. Ефименко, И.А. Ухалина

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

Поступила в редакцию 16.08.2013 г.

В статье рассматриваются перспективы развития российских внешнеэкономических отношений на рынке урана, возможности обеспечения последующей экономической отдачи в результате инвестирования в урановую добывающую промышленность стран СНГ.

*Ключевые слова:* урановый рынок, Россия, страны СНГ, внешнеэкономические отношения.

В условиях роста потребления электроэнергии и пересмотра подходов к ядерной энергетике в ряде стран мира, глобальный спрос на атомную энергию по прогнозам МАГАТЭ к 2030 г. вырастет на 66% (по отношению к 2008 г.).

Россия является одним из крупнейших участников мирового рынка атомной энергетике, так как обладает всей ядерной технологической цепочкой (ЯТЦ), начиная от переработки урана и заканчивая строительством атомных электростанций, конкурировать с «Росатомом» может французская AREVA, обладающая всей цепочкой ЯТЦ.

Россия имеет конкурентные преимущества в высокотехнологичном ядерном секторе мировой экономики, ей принадлежит более 43% мирового рынка по обогащению урана, 22% рынка конверсии, 12% рынка по поставке ядерного топлива и столько же – рынка строительства АЭС [1].

Расширение мирового энергетического рынка предполагает рост спроса на ядерное топливо, удовлетворение которого возможно из первичных источников – в результате его добычи и вторичных источников – резервных запасов государства и добывающих предприятий и компаний, переработки высокообогащенного оружейного урана (БОУ). В 2013 г. истекает срок контракта по поставке в США низкообогащенного урана для атомных станций, полученного из накопленного в Российской Федерации оружейного урана [2].

Наибольшую долю мировых поставок урана осуществляет Казахстан (36.5% мировых поставок из шахт в 2012 году), за которым следуют Канада (15%) и Австралия (12%), Россия занимает 5 место (6%) [3].

До 60% потребления ядерного топлива в России удовлетворяется из первичных источников. Россия располагает около 10% мировых разведанных запасов урана, рентабельных к разработке, плюс предполагаемые ресурсы - 487,000 тонн.

В 2009 году российские запасы урана выросли на 15%, в частности, за счет освоения Урала и Республики Калмыкия, на севере Каспийского моря. Основная уранодобывающая компания, Приаргунское производственное горно-химическое объединение, добывает 93% российского урана, обеспечивая одну треть потребности в сырье. В 2013 году правительство утвердило бюджет геологоразведочных работ на 14

млрд руб. (\$450 млн.) до 2020 года, главным образом на Дальнем Востоке и в Северной Сибири. Источники добычи урана методом подземного выщелачивания будут изыскиваться в Приуралье, Забайкалье и Калмыкии [4].

Однако потребности российского атомного энергетического комплекса в уране в совокупности с экспортными поставками могут увеличиться с настоящих 17-20 тыс. т до 36 тыс. т к 2020 г. В настоящее время Россия уже потребляет урана больше, чем составляет его добыча [5].

Удовлетворение растущих потребностей в ядерном топливе требует наличие новых источников сырья. Перспективным является проникновение России на урановые рынки стран ближнего зарубежья. Лидерами по запасам урана на территории СНГ являются Казахстан, Украина, Узбекистан.

На двух созданных в Казахстане совместных предприятиях к 2020 г. предполагается добыча пяти тысяч тонн урана. СП по добыче и обогащению урана «Заречное» в 2011 г. достигло объема производства продукции в 1000 тонн. Совместное российско-казахское предприятие «Акбастау» по добыче урана с запасами в 84 тыс. тонн в 2015 г. предполагает выход на проектную мощность – 3000 тонн [6].

По сравнению с российскими месторождениями, наличие более развитой инфраструктуры и меньшая себестоимость добычи сырья при большем содержании урана в руде определяет выгодность российско-казахского сотрудничества.

Наличие ряда казахских урановых месторождений не занятых иностранными инвесторами предопределяет возможность дальнейшего сотрудничества двух стран в этой области.

Высокая конкуренция в отношении доступа к казахскому урану среди западных и азиатских компаний потребовали углубления российско-казахских отношений, выродившихся в создании объединенной российско-казахстанской компании в области гражданской ядерной энергетики и формирования, тем самым, ЯТЦ.

В отсутствие атомной промышленности в Узбекистане, при наличии сорока урановых месторождений с общими разведанными ресурсами в сто одиннадцать тысяч тонн, он является вторым государством в СНГ по запасам урана. Стране остро требуются иностранные инвестиции в разработку урановых месторождений. Конкурентами на рынке добычи урана являются Япония, подписавшая в 2011 г. десятилетний контракт на закупку урана для коммунальной сферы, Южная Корея и США, на долю последних приходится около 85% контроля экспорта. Однако в 2013 г. заканчивается срок действия договора об эксклюзивных правах на владение и поставку узбекского урана на международный рынок американской компанией «Nukem Inc», что дает возможность закрепления России на казахском урановом рынке.

Украина имеет 17 открытых урановых месторождений, при этом большинство из них с низким содержанием урана. Объем производства на рудниках в 2012 г. составил 960 тонн – 2% мирового производства [7]. Высокие затраты на импортные нефть и газ не позволяет государству в должной мере производить инвестиции в добычу урана. Иностранные инвесторы не стремятся на рынок Украины из-за неблагоприятной бизнес-среды.

Определенные политические трудности и сложности добычи не отвергают перспективу российского сотрудничества в геологоразведке и добыче урана. Украина не обладает всей цепочкой ядерного топливного цикла, включающего добычу урановой руды и извлечение урана, обогащение урана, фабрикацию топлива для АЭС, переработку отработанного ядерного топлива. Технология обогащения охраняется международными нормами, поскольку позволяет создавать высокообогащенные оружейные материалы. Мировая доля России в этом секторе составляет 40%, что предопределяет обоюдные интересы стран в создании совместных предприятий по

обогащению урана.

На территории Украины имеются иностранные конкуренты для России – компания Westinghouse Electric Company (США) в 2011–2015 гг. поставит не менее 630 (тепловыделяющих сборок) ТВС для поэтапной замены российского топлива минимум на 3 энергоблоках, поэтому начавшееся в 2012г. строительство российско-украинского завода ядерного топлива, будет способствовать российской стратегии развития атомного сектора страны [8].

Поиск новых источников энергии, разработка новых месторождений давно уже стали насущной проблемой в современном мире энергопотребления. Развитие ядерной энергетики, как наиболее перспективной отрасли, позволяет удовлетворить основные потребности России в энергии. Богатая на месторождения урана Россия уже сегодня нуждается в расширении объемов добычи. Аналогичные проблемы стоят и перед другими развитыми странами с высокой, и все более возрастающей, долей потребления энергии. Поэтому, от того «в чьих руках» окажутся перспективные для разработки месторождения урана, зависит повышение уровня благосостояния страны.

Инвестирование в урановую добывающую промышленность стран СНГ позволит обеспечить экономическую отдачу и диверсифицировать внешнеэкономическую деятельность России. Наиболее привлекательными с точки зрения расширения сотрудничества в области добычи и обогащения ядерного топлива являются Казахстан, Узбекистан и Украина. Традиционно сложившиеся партнерские отношения во многих областях экономики с этими странами позволяют надеяться на перспективное сотрудничество. Развитая инфраструктура и близость к России стран определяет перспективность и эффективность этих отношений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сотрудничество России и Казахстана в атомно-энергетическом комплексе [Текст]. – Алматы, 2011. – С. 36.
2. Совместное заявление сопредседателей Рабочей группы по ядерной энергетике и ядерной безопасности в рамках двусторонней Российско-Американской Президентской Комиссии (27 июня 2013 г.) [Электронный ресурс] // Посольство Соединенных штатов Москва – Россия: официальный сайт. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://russian.moscow.usembassy.gov/st-20130627277787.html> – 10.08.2013.
3. Uranium production figures, 2002-2012 July 2013 [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/Uranium-production-figures/> – 12.07.2013.
4. Red book's 2011 [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: URL: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/> – 12.07.2013.
5. Никулин, А.А. Ядерный «ренессанс» в странах БИКС [Электронный ресурс] / А.А. Никулин // Российский институт стратегических исследований: официальный сайт. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://www.riss.ru/index.php/analitika/1690-yadernyj-renessans-v-stranakh-briks#.UgzNpitZTuo> – 12.07.2013.
6. Старчак, М. Вопросы снабжения ураном в отношениях России со странами СНГ [Электронный ресурс] / М. Старчак // Центр стратегических оценок и прогнозов: сайт автономной некоммерческой организации. – 2011. – Режим доступа: URL: <http://www.csef.ru/index.php/ru/component/csef/project/-/-/?id=1976> – 12.07.2013.
7. WNA Market Report data 2013 [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/> – 14.07.2013.
8. Скоблинская, Е. Началось строительство российско-украинского завода ядерного топлива [Электронный ресурс] / Е. Скоблинская // Деловой Петербург: сетевой журн. – 2012. – Режим доступа: URL: [http://www.dp.ru/a/2012/10/04/Nachalos\\_stroitelstvo\\_ro/](http://www.dp.ru/a/2012/10/04/Nachalos_stroitelstvo_ro/) – 15.07.2013.

## **Development of External Economic Relations of Russia at Nuclear Fuel Market**

**N.A. Efimenko\*, I.A. Ukhalina\*\***

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360  
\* e-mail: A2919@yandex.ru; \*\* e-mail: uhalina@yandex.ru*

**Abstract** – The article considers the prospects of development of external economic relations in the uranium market. It also considers the possibilities of further economic insurance returns from investments in uranium mining industry of the CIS countries.

*Keywords:* uranium market, Russia, CIS countries, foreign economic relations.

**СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ  
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС**

УДК 621.039:006.1

**К ВОПРОСУ ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ**

© 2013 г. В.А. Руденко, Н.Н. Подрезов, Г.А. Доблер, Н.В. Абросимова

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

Поступила в редакцию 05.10.2013 г.

В статье раскрываются основные направления актуализации действующих профессиональных стандартов, исследуются вопросы модернизации внутренней структуры и содержания ранее разработанных и утвержденных профессиональных стандартов, дается неоднозначная оценка механизма правового регулирования уровня образования и Национальной рамки квалификаций, необходимость отражения которого продиктована совершенствованием современного законодательства Российской Федерации.

*Ключевые слова:* атомная энергетика, макет профессионального стандарта, актуализация профессионального стандарта, компетенция, уровни квалификаций, обобщенная трудовая функция, трудовое действие.

Необходимость актуализации действующих профессиональных стандартов продиктована, прежде всего, изменением государственных приоритетов в системе правовой регламентации их разработки, утверждения и применения. В частности, в апреле 2013 года были изданы приказы Министерства труда и социального развития РФ, регламентирующие новые подходы в определении макета профессионального стандарта с учетом утвержденных уровней квалификации.

Разработка ныне действующих профессиональных стандартов в свое время была вызвана изменением технологии управления производством, возрастанием роли научно-технического прогресса в производственной деятельности, повышением требований к уровню квалификации и компетенциям работников, а также изменением содержания труда. Однако, в настоящее время, в связи с изменением действующего законодательства Российской Федерации, назрела насущная необходимость пересмотра их правового статуса.

Активное участие в разработке новых профессиональных стандартов и их актуализации принимает федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) и его филиалы, в частности, Волгодонский инженерно-технический институт.

В настоящее время ведется работа по актуализации следующих профессиональных стандартов:

- 1) Специалист в области теплоэнергетики.
- 2) Специалист в области электроэнергетики.
- 3) Специалист в области тепловой автоматики и измерений.
- 4) Специалист в области радиационной безопасности атомной станции.
- 5) Специалист по обращению с радиоактивными отходами и отработанным ядерным топливом.
- 6) Физик.

7) Химик.

Актуализация действующих профессиональных стандартов не ставит своей целью их полную переработку, так как содержательный аспект трудовых функций и умений во многом отвечает требованиям действительности. Вместе с тем, в указанных стандартах с учетом новых требований, не выделены обобщенные трудовые функции, не отражены уровни квалификаций в соответствии с национальной рамкой квалификации и уровни образования согласно новому Закону об образовании.

В этой связи, представляется крайне необходимым, выработать единые требования к актуализации действующих профессиональных стандартов, унифицировать указанные требования для всех разработчиков и создать механизм системного подхода к отражению переработанной информации с учетом современных нормативных требований.

Несомненно, что у разработчиков профессиональных стандартов накопился определенный опыт по их созданию и представлению в Экспертном совете при Минтруде, поэтому при актуализации действующих профессиональных стандартов учитывается специфика единообразного отражения новых требований. Так, трудовые действия и умения должны корреспондировать друг другу, но, ни в коей мере, не дублировать содержательный контент. Если речь идет об умении специалиста в области электроэнергетики «выявлять и устранять неисправности в работе обслуживаемого оборудования», то трудовое действие будет выглядеть следующим образом: «организует осмотр электрооборудования, ликвидацию дефектов и повреждений».

Схематично соотношение обобщенной трудовой функции, трудовой функции и трудовых действий специалиста в области электроэнергетики представлено на рисунке 1.

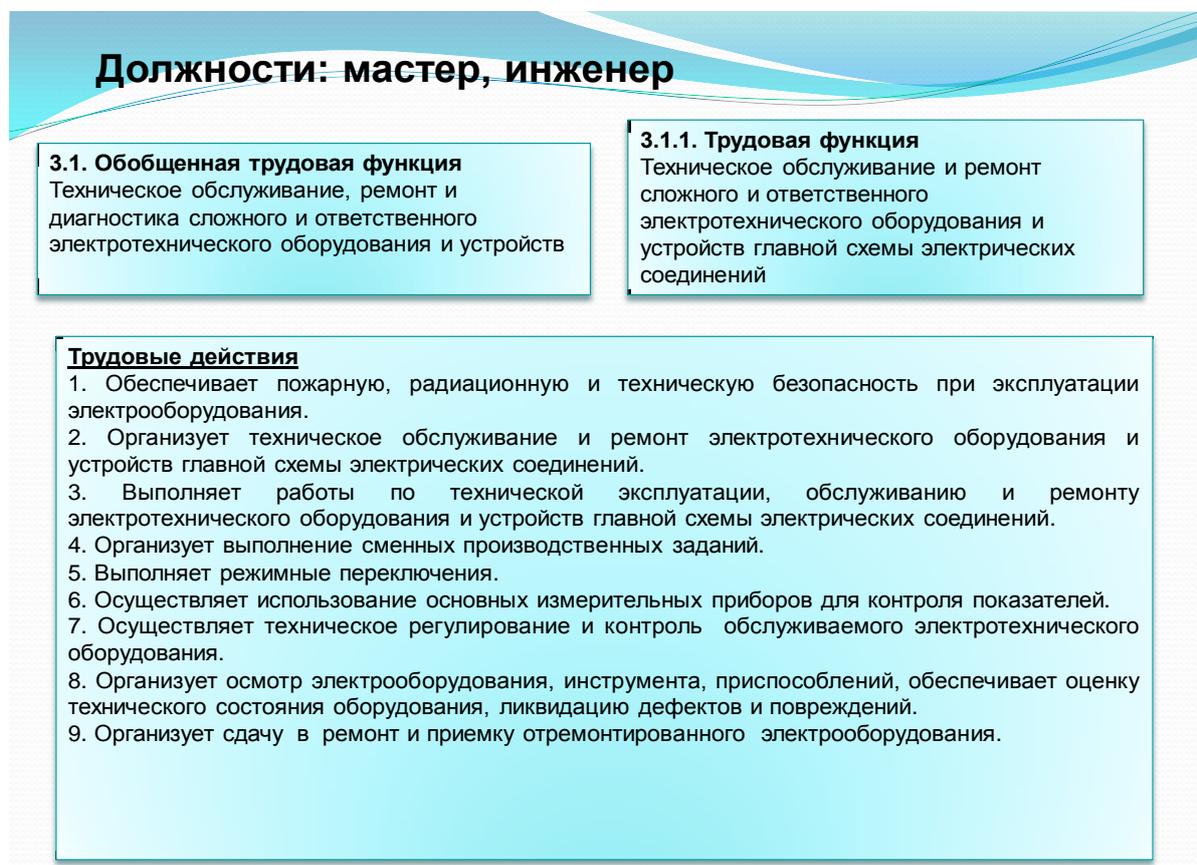


Рис. 1. Схема соотношения элементов профстандарта

Важно помнить, что при описании трудовых действий, необходимо использовать оценочные характеристики, например, «организует сдачу в ремонт и приемку отремонтированного оборудования». Кроме того, употребление глаголов типа «проводить», «выполнять», «производить» и др. должно опираться, прежде всего, на смысловую нагрузку осуществляемого действия.

Как и при разработке профессиональных стандартов, их актуализация, то есть пересмотр, обновление, требует взвешенного подхода при анализе должностных инструкций, а также требований ЕТКС и ЕКС. Посредством детального изучения данных документов предстоит из умений, заложенных в действующие стандарты, выделить обобщенные трудовые функции и трудовые действия. Причем корреляция умений и трудовых действий должна быть обоснованной с точки зрения содержательной наполненности перерабатываемого профессионального стандарта.

Указанные в стандартах требования к уровню подготовки специалистов, с одной стороны, не должны иметь чрезвычайно жестких рамок, чтобы облегчить трудоустройство специалистов, а с другой стороны – замещение ведущих должностей, (например, старший мастер, ведущий инженер) не должно допускаться без предъявления требований к стажу работы, практически со студенческой скамьи.

Интересным представляется вопрос об унификации уровней квалификации в рамках сходных должностей как внутри отрасли атомной энергетики, так и в других отраслях экономики. Должность инженера, например, должна соответствовать 5-му уровню квалификации вне зависимости от конкретной производственной среды или в целом от отраслевой принадлежности, с перспективой карьерного роста на вышестоящие уровни – ведущего инженера, главного инженера и т.д.

Весьма важным, как и при создании профессиональных стандартов, является мнение экспертов, непосредственно осуществляющих либо контролирующих виды работ, заявленных в профессиональных стандартах, требующих актуализации. Актуализируемые профессиональные стандарты, в настоящее время, проходят процедуру обсуждения посредством проведения круглых столов с участием представителей ведущих специалистов работодателя (ОАО «Концерн Росэнергоатом»), широкого круга общественных организаций (профсоюзы, Ядерное общество России), специалистов по заявленному спектру деятельности АЭС (в том числе, представителей учебно-тренировочных пунктов и центров), профильных учебных заведений и др.

В рамках актуализации профессиональных стандартов, проводится анкетирование специалистов, по интересующим разработчиков вопросам, что помогает сконцентрироваться на истинном трудовом потенциале конкретной профессии, отсекая невостребованные умения в той или иной области.

Процедура актуализации профессиональных стандартов сопровождается неизменным информированием общественности о ходе проведения работы, о поступающих замечаниях и их оценке при помощи средств массовой информации, интернет-ресурсов, вебинаров.

Завершающим этапом актуализации профессиональных стандартов является проведение экспертизы в профессиональном сообществе по соответствующим направлениям деятельности, одобрение профессиональных стандартов Экспертным советом при Минтруде России и оформление их в виде нормативного правового акта – приказа Минтруда России.

## To the Question of Actualization of Functioning Professional Standards

V.A. Roudenko, N.N. Podrezov, G.A. Dobler, N.V. Abrosimova

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

**Abstract** – The article describes the main ways of actualization of functioning professional standards, it also examines the questions of modernization of internal structure and the content of professional standards which were designed and established earlier. The authors give complex estimation of judicial regulation mechanism of leveled education and National frame of qualification the necessity of which is caused by improving of modern Russian legislation.

*Keywords:* nuclear power engineering, professional standard model, professional standard actualization, competence, qualification levels, generalized labour function, labour functioning.

УДК: 001.124

## О ПРИРОДЕ ВОЛНОВОЙ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

© 2013 г. В.Ф. Савельев, Н.В. Корнетова, А.В. Савельев

*Московский государственный индустриальный университет, Москва*

Поступила в редакцию 15.06.2013 г.

Представлены элементы волновой модели и примеры «катастрофической» неустойчивости материалов, соединений и конструкций.

*Ключевые слова:* волновые явления, мониторинг, надёжность, АЭС, гигантские волны, экология.

Гигантские волны (ГВ) ныне обрушились повсюду и регистрируются везде: от человеческих сердец и сосудов до, казалось бы, косных и считающихся поныне пассивными твёрдых тел, жидкостей, газов и плазмы, техносферы, земной коры, атмо-, гидро-, био- и геосферы в целом, близкого и дальнего космоса. Яркие примеры: вдруг, «ниоткуда» взявшийся, в июне 2008 года ураган в Западной Европе и «запредельное искривление» (волнистость) железнодорожного полотна со сходом 13 и 14 вагонов (пассажирского и товарного поездов) в Амурской области 12 и 20 июня, и 4-х вагонов московского метро 25 июня. В августе – грузинский конфликт, затем – экономический кризис. Всё говорит о том, что вот уже которое десятилетие (а то и столетие) на «теоретически гладкой дороге к вершинам прогресса» мы регулярно наталкиваемся на, порою уже, жестокие и зловещие предупреждающие «дорожные знаки». И эти, своего рода, «лежачие полицейские» игнорируются нами как случайные явления. Но «стихия» (и т.п. наши трагические заблуждения) – волны не случайные (но всё чаще – гигантские), чему и посвящена монография [1].

Главная беда в том, что взявшая более 300 лет назад из рук религии штурвал цивилизации, наука оказалась ещё более слепым поводом, чем духовная власть, отринувшая разум. Потеря духовных ориентиров страшнее, ибо мимикрировавший в 90-е годы «государственный научный атеизм» и есть фундамент наших поражений в технике и жизни в целом.

Возобладавшее в естественно-научной парадигме в XIX - XX вв. феноменологическое, чисто рационально-материалистическое и либерально-позитивистское течение «неуклонного прогрессизма» (дурной бесконечности потребительства), всякие отклонения от этого, ставшего уже суперрелигиозным, догмата, сразу объявляет «делом случая»: ошибкой, погрешностью, шумом, фоном, патологией, чрезвычайным (происшествием, ситуацией), аномалией, флуктуацией, кризисом, катастрофой, стихией и т.д. А то и вовсе – лженаукой. Так, сопровождающие любое исследование колебания всех параметров, свойств и состояний более полувека сокрываются фактически их сглаживанием (выравниванием) в ходе обязательной «обработки результатов эксперимента». Такой (своего рода «гулаговской») зачисткой всего яркого, индивидуального был нанесён (и наносится ныне) страшный и невосполнимый урон не только уникальной и неповторимой (вопреки научным постулатам и теории случая) опытной базе и в целом науке и технике. Самые передовые ее творцы подвергались не только насмешкам, остракизму или замалчиванию, в угоду «прогрессивным» западным истинам в последней инстанции и их носителям. Включая и Маркса, Энгельса с вольтерьянцами и картезианцами всех времен (начиная с Демокрита - Левкиппа и прочих столпов научного атеизма). Но волны, пульсации, ритмы и циклы ныне пробиваются ростками истины из-под расстрельных и каторжных могильных плит русских гениев-космистов Н.Д. Кондратьева, А.Л. Чижевского и др.

Отец современных естественных (физико-математических и т.п.) наук, картины мира и офизиченного бытия – всеразделяющий атомизм Демокрита – из философских теорий через

тысячелетия воссиял в учениях Ньютона, Дальтона и их последователей – основателей классической и постклассической физики «мира из частиц и пустоты» (вакуума и адекватных изошрённых вариаций этого «ничто»).

Но «разделить» всё и вся (в теории, а через систему пропаганды «Образование – культура – СМИ» и в головах, всей жизни) – ещё не достаточно. Надо осуществить подмену Высшего, Идеала, Абсолюта, что успешно решено внедрением в самые гениальные умы «априори» (аксиоматически, бездоказательно) «случая, бога-изобретателя», который и морочит голову который век всему человечеству, превратив научное предвидение в гадательный, по сути, вероятностный прогноз.

Не случайно, видимо, и то, что на планете уже более века высшее отличие – от изобретателя динамита, Нобеля. И «взрыв» СССР со всей мировой системой, а также экологически безопасных (по заверениям проектантов) АЭС, складов боеприпасов, теракты всех уровней и несчетное т.п., – всё это неумолимое эхо от самого главного взрыва – научно-идеологического, антидуховного – Большого взрыва (БВ) вселенной. Динамит тут «отдыхает». Не зря, один из авторов этой западной гипотезы и модели – физик Смут. И это, похоже, не случайно, ибо в XX в. страшнее «смуты» не изобретено, чем БВ (коему лучше звать «Большой вымысел»). Один из бардов в 2006г. по «Радио России» так и заявил, что любит взрывы и всё взрывное, т.к. и вся Вселенная родилась при взрыве. Вот он «взрывной» эффект в цепи воспитания, восходящей от научной «фабрики атеизма». Когда отдельные каналы ТВ отдаются не столько науке и образованию, сколько культуре тела, то и национальная или государственная идея роняется ниже пояса, плитуса – под ноги, на землю, в грязь...Ее символом становится футбольный мяч или теннисный шарик, которые тоже являются овеществлённым эхом «великой идеи» Большого взрыва первичного «атома», моделируемого со времён Демокрита как раз «твердым шариком» (уловленным гением Булгакова в «Собачьем сердце» через имя главного героя).

Говоря о фундаменте идеологии прогресса и либерализма в XX в., стоит вспомнить, что в рационально-позитивистском русле лежат и интерпретации физических открытий тех времен. Открытия электрона и радиоактивности, по сути, погребли идею неделимых частиц. Но выводы были сделаны совсем иные и набиравшая силу «волновая механика» уступила место «квантовой» и компромиссу де Бройлевой «волны – частицы». Знаменательное открытие «на кончике пера» Дираком первой «античастицы» – позитрона – выплеснулось затем сотнями и тысячами парных антиподов микромира. Казалось бы, диалектика и волновая концепция Гераклита с последователями, включая русских космистов, подтверждаются на всех уровнях мироздания. Но волновая диалектичная картина несёт коренную идею континуальности, единства и рушит мир, выстроенный на идефикс атомизированной разделённости, конечности, случайности и однозначности.

В русле позитивизма и прогрессизма лежит и главное утверждение (Дэвис и др.) о практическом отсутствии во «вселенском» БВ-острове антивещества ( $\sim 10^{-9}$ , что естественно, ничтожно) в общем объёме видимого горизонта ( $\sim 10^{10}$  -  $10^{11}$  световых лет). Таким образом, всё возвращается на круги своя: всё «положительно» (позитивно), стабильно, устойчиво развивается по экспоненциальному закону неуклонного (пусть по спирали, но восходящего) прогресса.

О колоссальных ошибках (до десятков и сотен порядков!) современной "точной" науки (и многом другом нетривиальном) тоже можно прочесть в монографии [1]. Но об одном эпизоде нашей нынешней "научно-сверхрисковой" жизни следует упомянуть. 12 июня 2008г. в Амурской области сошли с ж.-д. полотна и перевернулись 13 пассажирских вагонов поезда №326. Выводы Госкомиссии о причинах крушения вызывают не только сильные сомнения, но и серьезнейшие опасения за будущую безопасность нашей всё более катастрофичной техносферы.

Уже более полувека ведётся цикл работ по изучению всеобщего явления нестабильности, начатый научной школой сварщиков академиков Николаева Г.А. и Сагалева В.М. в МВТУ. Более 20 лет студентам-сварщикам МГИУ преподаётся лекционно-лабораторный курс по этой тематике, где на элементарном примере сварной балки показана, не учитываемая современной теорией и практикой расчета и проектирования, скрытая опасность разрушения опорных узлов крепления балки и её опрокидывания. При этом чётко доказывается (в курсовом

проектировании) лабораторным мониторингом самопроизвольная волновая нестабильность (автовибрация) длины балки, соизмеримая и, зачастую, существенно превышающая колебания её геометрии (похожие данные получены в 70-е гг. А. Груздом в ИЭС им. Патона на балочных узлах АЭС) от пресловутого температурного фактора, «обвинённого» госкомиссией. Ведь озвученная в СМИ температура (30°C) для Амурской области летом является недалекой от «нормальной» (средней). Ясно, что при проектировании давался «запас» по температурной перегрузке бесстыковых рельсовых путей, а потому причина резкого удлинения и потери устойчивости (искривления) лежит в скрытой и неконтролируемой поныне автовибрации твердых (и любых других) тел. С другой стороны, настораживает и то обстоятельство, что, по словам депутата Государственной Думы Г. Райкова (в одной из программ ТВ), сегодня (по экономическим соображениям!) резко снижены «запасы» прочности конструкционных материалов. Вот они корни современного российского «канчелизма», когда выгода затмевает всё, доводя нас до полного игнорирования самой науки, а с нею и практики с безопасностью. Потому не исключено, что и «температурный запас» в наихудших железнодорожных проектах опущен ниже «плинтуса». Судя по цифре «+30°C», его просто нет.

К началу XXI в. на Земле безоговорочно властвует монополярная, так называемая «естественно-научная» картина мира (парадигма, мировоззрение), которая непрерывно (от рождения) формирует наш взгляд на мир, ценностные ориентиры, смысл жизни и поведенческие основы и правила, мораль и этику существования. Последние после «эпохи Просвещения» принято считать и называть «светскими», что и закреплено, в частности, в Конституции РФ. Однако, «светское» – это вовсе не «атеистическое» и даже не «научно-атеистическое» или «научное», а лишь «нецерковное» (гражданское и т.п.). «Естественно-научное» в океане «атомизированных (разделённых) дисциплин» занимает весьма узкое пространство (физика, математика, химия и т.п.). Причем, некогда «точные и фундаментальные», теперь эти науки стали именоваться более скромно, в силу ряда важнейших открытий XX в., поднявших роль биологии, эволюции, самоорганизации (синергетики) и т.д. [1]. Начиная с революционных идей К. Гёделя, Н.Д. Кондратьева, В.И. Вернадского, А.Л. Чижевского, Л.С. Франка, И.Р. Пригожина (Нобелевского Лауреата), А. Бергсона, Дж. Лайтхилла, И.Н. Яницкого и многих др.

Одним из главных показателей надёжности (и безопасности) является сохраняемость, а по сути – нестабильность всех свойств, параметров, состояний и служебных характеристик во времени. Нестабильность имеет чётко выраженный волновой характер, нерегулярность и сингулярность, достигающую катастрофического уровня, когда латентные, воистину гигантские параметрические волны в твёрдых телах могут смести, как цунами, все заложенные в проект запасы прочности, безопасности и т.п. охранительные нормативы. Запредельные амплитуды (скачки) усугубляются принципиальной непредсказуемостью стандартными вероятностными методами. Даже в условиях мониторинга в реальном масштабе времени, необходимо обеспечение его непрерывности, во избежание потери предвестников и самих сингулярностей [1,2].

Трагедия Фукусимы обострила поутихший за четверть века драматизм восприятия аварии на ЧАЭС. Не случайно, видимо, японцы ужесточили требования к безопасности АЭС. Всё это на фоне нередких нештатных ситуаций, аварий и катастроф, включая информацию СМИ, с мнением специалистов о том, что до сих пор мы не достаточно хорошо знаем, что из себя представляет на самом деле ядерный взрыв (ещё с закрытых информационных времён 60-70х годов поныне живуча легенда о том, что при испытаниях фактическая мощность взрывов была намного выше расчётной), – согласуется со всем изложенным выше и нашими исследованиями [1,2].

Макродефект массы, открытый нами в 1988 году [1], может при сборке деталей достигать на магнитном сплаве и обычной стали более 0,25%, что соизмеримо с давно известными ядерными эффектами. Но самое главное здесь то, что величина макродефекта меняется во времени также волнообразно, со скачками, скрытыми, как правило, при дискретном мониторинге. Поскольку при этом волновой характер, в силу своей обратимости, во многом маскирует имевшие место сингулярности. Неучёт этого феномена и может являться причиной аварий и катастроф (в т.ч. на АЭС, ГЭС, складах боеприпасов и т.д.), из-за отрицания единства волновой природы всего и вся во Вселенной [1].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савельев, В.Ф.* Волновая синергетика Единства – всенестабильность [Текст] / В.Ф. Савельев. – Казань: Отечество, 2007. – 648 с.
2. *Савельев, В.Ф.* Безопасность АЭС в свете волновой модели неустойчивости [Текст] / В.Ф. Савельев // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №2-3(4). – С. 13–17.

**About the nature of wave reliability and safety of nuclear power plant****V.F. Savelyev, N.V. Kornetova, A.V. Savelyev**

*Moscow State Industrial University  
16 Avtozavodskaya St., Moscow, Russia 115280  
e-mail: savel-ev@mail.ru*

**Abstract** – The elements of wave model and examples of "catastrophic" instability of materials, connections and designs are presented.

*Keywords:* wave phenomena, monitoring, reliability, nuclear power plant, huge waves, ecology.

---

---

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА 3, 2013**

Абросимова Н.В.	82	Медведев Ю.Ю.	37
Алюшин А.В.	69	Мецлер А.А.	37
Алюшин М.В.	69	Наффаа Х.М.	9
Андреева Е.А.	42	Пашковский А.В.	64
Андрюшина Л.О.	69	Подрезов Н.Н.	82
Балашевский А.С.	9	Пшенин В.В.	69
Бейсуг О.И.	26	Руденко В.А.	82
Берела А.И.	60	Савельев А.В.	86
Былкин Б.К.	60	Савельев В.Ф.	86
Виниченко М.Ю.	42	Сальникова М.С.	5
Горская О.И.	5	Сапельников В.М.	19
Гуляев М.В.	19	Томилин С.А.	37, 60
Дроговозова Л.А.	42	Ухалина И.А.	78
Доблер Г.А.	82	Федотов А.Г.	60
Ефименко Н.А.	78	Фоменко О.В.	64
Кобзев Р.А.	31	Чернова Н.М.	31
Колобашкина Л.В.	69	Шаврак Е.И.	19
Корнетова Н.В.	86	Шарапа А.В.	42
Кривин В.В.	42	Шевелев Д.В.	9
Литвинова Т.А.	37	Якубенко И.А.	51

## AUTHOR INDEX OF VOL. 3, 2013

Abrosimova N.V.	82	Kornetova N.V.	86
Alyushin A.V.	69	Krivin V.V.	42
Alyushin M.V.	69	Litvinova T.A.	37
Andreeva E.A.	42	Medvedev Yu.Yu.	37
Andryushina L.O.	69	Metzler A.A.	37
Balashkevskiy A.S.	9	Naffaa Kh.M.	9
Beisug O. I.	26	Pashkovskiy A.V.	64
Berela A.I.	60	Podrezov N.N.	82
Bylkin B.K.	60	Pshenin V.V.	69
Chernova N.M.	31	Roudenko V.A.	82
Dobler G.A.	82	Salnikova M.S.	5
Drogovozova L.A.	42	Sapelnikov V.M.	19
Efimenko N.A.	78	Savelyev A.V.	86
Fedotov A.G.	60	Savelyev V.F.	86
Fomenko O.V.	64	Sharapa A.V.	42
Gorskaya O.I.	5	Shavrak E.I.	19
Gylaev M.V.	19	Shevielov D.V.	9
Jakubenko I.A.	51	Tomilin S.A.	37, 60
Kobzev R.A.	31	Ukhalina I.A.	78
Kolobashkina L.V.	69	Vinichenko M.Y.	42

## 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 (не больше 20 источников) и рисунки (не более 7).

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 1,5 интервала, шрифтом Times New Roman размером 14 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).

б) 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».

**ВНИМАНИЕ!** В случае расхождения бумажной и электронной версий Издательство руководствуется бумажной версией.

### ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ:

*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://voennoepravo.ru/node/2149> – 19.02.2011.

Комплект документов отправляется в редакцию журнала по адресу:  
347360, Россия, Ростовская область, г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94. Редакция  
журнала «Глобальная ядерная безопасность».

E-mail: [oni-viti@mephi.ru](mailto:oni-viti@mephi.ru)

Тел.: 8(8639)222717.

**ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**№ 3(8) 2013**

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

Сдано в набор 13.11.2013 г.

Компьютерная вёрстка Вишнёва М.М.

Корректор Вишнёва М.М. ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ

Подписано к печати 08.11.2013 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м<sup>2</sup>. Объем 7.14 усл.печ.л.

Гарнитура «Times New Roman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ