

ISSN 2305-414X

# ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Выпуск посвящен 60-летию атомной энергетики**



**Научно-практический журнал**

**№ 2 (11) 2014**

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

## ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 2(11) 2014

Основан в ноябре 2011 г.  
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» –10647  
Выходит 4 раза в год  
ISSN2305-414X

### 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),  
С.М. Бурдаков (к-т техн. наук, доц.), 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 2, 2014

<b>ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b>	
Методы радиационного контроля радиоактивного загрязнения окружающей среды с помощью беспилотных радиоуправляемых средств и особенности их пилотирования <i>А.П. Елохин, Д.А. Лабашев</i> .....	5
Плазменная утилизация и иммобилизация отходов переработки отработавшего ядерного топлива <i>А.Г. Каренгин, О.Д. Подгорная, Е.Э. Шлотгауэр</i> .....	21
Усиление сейсмических воздействий в оборудовании АЭС с ВВЭР-1000 <i>К.Н. Проскураков, Е.Е. Ефименко</i> .....	29
Применение технологии переработки донного ила Цимлянского водохранилища для решения проблемы его заиления <i>М.В. Гуляев, О.И. Горская</i> .....	36
Повышение биоразнообразия древесных культур в насаждениях общего пользования тридцатикилометровой зоны РоАЭС <i>С.А. Богоровская</i> .....	39
<b>ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС</b>	
Повышение квалификации специалистов строительных организаций-членов СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ» в ВИТИ НИЯУ МИФИ <i>В.С. Опекунов, В.А. Руденко, Ю.В. Заяров, Ю.И. Пимшин, А.В. Стамбулко</i> .....	44
Экспертная система для мониторинга действий обучаемого на тренажере сварщика <i>В.В. Кривин, И.О. Ишигов, В.А. Толстов</i> .....	49
Исследование параметров дугового разряда с комбинированной системой питания <i>С.М. Бурдаков, В.М. Козловцев</i> .....	54
Численное моделирование теплообмена в ТВС реактора ВВЭР-СКД <i>Д.С. Грузинцев, А.С. Шелегов</i> .....	59
Теоретические основы построения математической модели гидроэлектрического поляризационного преобразователя расхода жидкости в открытых каналах <i>Г.М. Садчикова</i> .....	64
Технологические особенности односторонней дуговой сварки трубопроводов, эксплуатируемых в системе городского хозяйства <i>Ю.В. Доронин, П.С. Кузнецов, В.Н. Бродягин, Ф.Е. Дорошенко</i> .....	71
<b>ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС</b>	
Диагностика ЭПА – опыт работы Нововоронежской АЭС <i>М.Т. Слепов, Н.П. Сысов</i> .....	79
Диагностирование оборудования АЭС с использованием фазово-плоскостного метода <i>Е.А. Абидова, О.В. Малик, Д.С. Гавриленко</i> .....	86
Диагностика дизель-генератора 15Д-100 по показателям вибрации <i>О.Ю. Пугачева, А.К. Пугачёв, В.И. Соловьёв, Е.А. Абидова</i> .....	91
Особенности управления технологическими параметрами системы компенсации давления АЭС с реактором ВВЭР-1000 <i>А.А. Тямалов, Я.А. Дубченко</i> .....	98
<b>СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС</b>	
Профессиональные стандарты в атомной энергетике: понятие, система, перспективы <i>Н.В. Абросимова</i> .....	104
Образовательный модуль для подготовки специалистов по производству демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС <i>А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, И.А. Якубенко</i> .....	111
Психологическая поддержка работников, как часть системы обеспечения профессиональной надежности персонала Ростовской АЭС <i>А.Д. Речкина</i> .....	120
Развитие профессиональной компетентности студентов технических вузов средствами математики <i>А.И. Замыслова</i> .....	125
Формирование сценариев развития топливно-энергетических рынков <i>И.А. Прядко</i> .....	131
Мотивационная составляющая личности в культуре безопасности <i>Н.П. Василенко, В.А. Руденко</i> .....	135
Авторский указатель номера 2, 2014.....	142

Сдано в набор 20.06.2014 г.  
Усл. печ. л. 16,06  
Тираж 300 экз.

Подписано к печати 25.06.2014 г.  
Уч.-изд. л.11,10

Формат 84 x 108/16  
Печ. л.10,38

---

---

## CONTENTS

---

---

Number 2, 2014

---

---

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

Environmental Radioactive Contamination Radiation Control Methods by Means of Unmanned Aircraft (Drones) and Their Piloting Aspects <i>A.P. Elokhin, D.A. Labashev</i> .....	5
Plasma Utilization and Waste Reprocessing Immobilization of Spent Nuclear Fuel <i>A.G. Karegin, O.D. Podgornaya, E.E. Shlotgauer</i> .....	21
Seismic Loadings Amplification in Equipment of Nuclear Power Plant with VVER-1000 <i>K.N. Proskuryakov, E.E. Efymenko</i> .....	29
The Application of Reprocessing Technology of Tzimlaynsk Water-reservoir Ground Sludge for the Solution of its Sedimentation <i>M.V. Gulayev, O.I. Gorskay</i> .....	36
Wood Biodiversity Increase of Cultures in Public Plantings of the Thirty-Kilometers Zone of the Rostov Nuclear Power Plant <i>S.A. Bogorovskaya</i> .....	39

---

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

Skills Development Building of Member Organizations SRO NP "SOYUZATOMSTROY" in VETI MEPHI <i>V.S. Opekyinov, V.A. Roudenko, Y.V. Zayarov, Y.I. Pimshin, A.V. Stambylko</i> .....	44
The Monitoring Expert System the of Training Welder Action <i>V.V. Krivin, I.O. Ishigov, V.A. Tolstov</i> .....	49
The Arc Category Parameters Research with Combined Power Supply System <i>S.M. Burdakov, V.M. Kozlovstev</i> .....	54
Numerical Simulation of Heat Transfer Characteristics of SCWR Fuel Assembly <i>D.S. Grusintsev, A.S. Shelegov</i> .....	59
Theoretical Foundations of Mathematical Modeling of Hydro-Electric Polarization of the Converter of Liquid Flow in Open Channels <i>G.M. Sadchikova</i> .....	64
Comparative Characteristics of the Weld Form, Obtained in Welding Butt Joints of Pipes Use of Tapes and Methods «Hot and Cold» Phases <i>Y.V. Doronin, P.S. Kuznetsov, V.N. Brodjagin, F.E. Doroshenko</i> .....	71

---

### NPP EXPLOITATION

Experience of the Novovoronezhskaya NPP at Diagnostics of EDF <i>M.T. Slepov, N.P. Sysoyev</i> .....	79
The Nuclear Power Plant Equipment Diagnosis with the use of the Phase and Plane Method <i>E.A. Abidova, O.V. Malik, D.S. Gavrilenko</i> .....	86
15D-100 Diesel Generator Diagnostics on Vibration Indicators <i>O.J. Pugachyova, A.K. Pugachyov, V.I. Soloviev, E.A. Abidova</i> .....	91
Features of Management in Technological Parameters of Pressurizer System of the Nuclear Power Plant with the VVER-1000 Reactor <i>A.A. Tyamalov, Y.A. Dubchenko</i> .....	98

---

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

Professional Standards in Nuclear Power Engineering: the Concept, System, Prospects <i>N.V. Abrosimova</i> .....	104
Educational Component for Preparation of Specialists of Dismantling Works during NPP Blocks Exploitation Withdrawal <i>A.I. Berela, S.A. Tomilin, A.G. Fedotov, I.A. Jakubenko</i> .....	111
Psychophysiological Support of Employees as a Part of the Professional Reliability Assurance System of Rostov NPP's Personnel <i>A.D. Rechkina</i> .....	120
The Development of Students Professional Competence in Technical Institutes of Higher Education by Means of Mathematics <i>A.I. Zamyslova</i> .....	125
Script Development Creating of Fuel and Energy Markets <i>I.A. Pryadko</i> .....	131
Individual's Motivational Component in Safety Culture <i>N.P. Vasilenko, V.A. Roudenko</i> .....	135

---

Author Index of vol. 2, 2014.....	142
-----------------------------------	-----

---

---

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 504:621.039.586:614.876

**МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНОГО  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ  
БЕСПИЛОТНЫХ РАДИОУПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ  
И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПИЛОТИРОВАНИЯ**

© 2014 г. А.П. Елохин, Д.А. Лабашев

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

Анализ работы автоматизированных систем радиационного контроля окружающей среды (АСКРО) показал, что методы контроля, осуществляемого подобными системами, а также приборное обеспечение, широко используемые в настоящее время, в ряде случаев не дают возможности получить информацию в режиме реального времени (on-line).

В рассматриваемой работе для решения подобных задач предлагается метод, основанный на использовании совокупности хаотически распределенных в трехмерном пространстве беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) «роя», несущих на себе комплекс оборудования, которое может быть использовано для решения ряда исследовательских задач.

Показывается, что для выполнения исследовательской задачи движение аппаратов указанного «роя» следует упорядочить, после чего переходить к решению поставленной задачи. С этой целью на каждый БПЛА устанавливаются излучатель электромагнитного поля с диаграммой направленности в  $4\pi$  и детектор. Это оборудование наряду со специальным программным обеспечением позволяет предотвратить аварийную ситуацию, связанную со столкновением носителей.

Аналогичное оборудование может быть установлено и на пилотируемую авиационную технику с целью предотвращения подобных аварийных ситуаций.

*Ключевые слова:* радиационный контроль; радиоактивное загрязнение окружающей среды; беспилотный летательный аппарат (БПЛА); излучатель электромагнитного поля; диаграмма направленности излучения; детектор электромагнитного поля; колебательный контур, резонансная частота.

Поступила в редакцию 18.05.2014 г.

Эксплуатация атомных электростанций, различных производств, связанных с использованием и переработкой радиоактивных веществ, хранилищ радиоактивных отходов и т.д. сопровождается, к сожалению, радиационными авариями, которые, в ряде случаев, приводят к радиоактивному загрязнению окружающей среды – воздушного бассейна, подстилающей поверхности и водных акваторий или их донной поверхности, создавая определённые проблемы в экологии, а также для персонала и населения.

В связи с чем в проекте каждой АЭС предусмотрена система радиационного контроля (СРК), обеспечивающая измерение значений контролируемых параметров, характеризующих радиационное состояние АЭС и окружающей среды при всех режимах работы АЭС, проектных и запроектных авариях, а также при ее выводе из эксплуатации [1].

Радиационный контроль газоаerosольных выбросов в окружающую среду и жидких сбросов АЭС, а также мониторинг окружающей среды, осуществляемый оптимизированным числом детекторов фотонного излучения [2-5], производится с

помощью технических средств АСКРО и включает в себя:

- контроль мощности дозы гамма-излучения и годовой дозы на местности;
- контроль метеопараметров;
- контроль загрязнения атмосферного воздуха, почвы, растительности, воды открытых водоемов;
- контроль загрязнения продуктов питания и кормов местного производства.

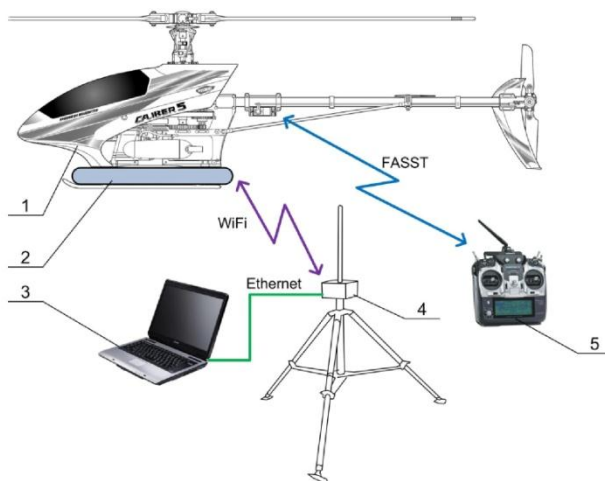
Следует отметить, что методы радиационного контроля, осуществляемого системой АСКРО, а также приборное обеспечение, широко используемые в настоящее время [6], в ряде случаев не дают возможности получить информацию в режиме реального времени (on-line). Это касается, например, контроля радиационных характеристик газоаerosольной радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере при выбросах с АЭС (при штатной работе и в режиме ППР), оценки уровней радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, оказавшейся в зоне радиоактивного загрязнения, т.е. ее объемной и поверхностной активности, традиционно определяемых аспирационным методом (объемную активность) и методом отбора проб, и т.д.

В работах [7,8] для решения аналогичных задач были предложены беспилотный радиоуправляемый дозиметрический комплекс (БДК), внедрение которого, в отличие от системы АСКРО и ее приборного обеспечения, позволит при малой погрешности измерений, характерной для метода отбора проб, существенно повысить оперативность радиационного контроля, его надежность, уменьшить риск принятия неверного решения и, в конечном итоге, оптимизировать принятие решений. Указанный комплекс позволяет решить такие задачи, как, например, измерение мощности выброса газоаerosольной радиоактивной примеси, выбрасываемой в атмосферу из вентиляционных труб АЭС, как в штатном, так и в режиме планово-предупредительных ремонтов (ППР).



**Рис. 1.** Общий вид беспилотного дозиметрического комплекса на базе беспилотного радиоуправляемого летательного аппарата (БПЛА) вертикального взлета и посадки JR GSR 260Z (производства Японии). На аппарате имеются видеокамера, детектор гамма-излучения, гамма-спектрометр (ксеноновый гамма-спектрометр).

БДК представляет собой радиоуправляемый беспилотный летательный аппарат (БПЛА) [9], на который навешивается дозиметрическая аппаратура – гамма-детектор, гамма-спектрометр, видеокамера, лазерный дальномер, устройство фиксирования координат – GPS и устройство передачи информации по радиоканалу. Наземное оборудование представляет собой приемное устройство, информация с которого, включая видеоизображение и показания результатов наблюдений, поступает на монитор, а также пульт управления. Общий вид БДК приведен на рисунке 1, а принципиальная схема управления – на рисунке 2.



**Рис. 2.** Принципиальная схема управления БДК. 1 –БПЛА; 2 – дозиметрическое оборудование; 3 – монитор для представления результатов измерений и видеонаблюдений; 4 – антенна; 5 – пульт управления

Работа комплекса основана на измерении спектра фотонного излучения и мощности дозы, создаваемой излучением радионуклидов, распространяющихся в атмосфере в виде ИРГ и аэрозолей. Спектр гамма-излучения измеряют ксеноновым или любым другим гамма-спектрометром с высоким разрешением по энергии фотонов, не требующим охлаждения жидким азотом, приведенном на рисунке 3. Мощность дозы измеряют штатным датчиком типа (БДМГ-200) с диапазоном измерения от 0,1 мкЗв/ч до 0,1 Зв/ч.

После обработки приборного спектра получают амплитудное распределение семейства “монолиний”, каждая из которых характеризуется амплитудой  $A(E_i)$  по шкале амплитуд и энергией по шкале энергий. Амплитудное распределение обработанного спектра характеризуется также и полушириной пика  $\Delta E_i$ , измеряемой на его полувысоте.

Результаты измерений спектра фотонного излучения и мощности дозы позволяют определить объемную активность газоаэрозольной радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере, и поверхностную активность подстилающей поверхности, например в следе радиоактивного облака. В последнем случае необходимо измерение высоты, с которой осуществляется сканирование радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности. Расчет объемной активности осуществляется по формуле:

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

- где  $D'_R(x_0, y_0, z_0)$  – значение мощности дозы, регистрируемой гамма-детектором;
- $x, y, z$  – координаты точки наблюдения;
- $E_i$  – энергия фотонов;
- $\beta(E_i)$  – энергетическая чувствительность гамма-детектора;
- $\mu(E_i), \mu_a(E_i)$  – коэффициенты линейного ослабления и передачи энергии фотонного излучения соответственно;
- $\nu(E_i)$  – квантовый выход фотонов с энергией  $E_i$ ;
- $p_i$  – парциальный (весовой) вклад активности  $i$  – го радионуклида в общую объемную активность;



- $a_i, b_i$  – безразмерные параметры формулы Бергера, зависящие от энергии гамма-излучения и описывающей фактор накопления в гомогенной бесконечной среде (воздухе);
- $R$  – радиус сферы, равный пробегу гамма-кванта с энергией  $E_\gamma = 1,0$  МэВ в воздухе.

Метод определения поверхностной активности радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности в следе радиоактивного облака не имеет принципиальных отличий от метода оценки объемной активности и также осуществляется БДК, но требует дополнительных технических средств, обеспечивающих измерения высоты сканирования, в виде лазерного дальномера, определения ее оптимальной величины и оценки эффективного радиуса сканирования. Эти вопросы были решены в работах [10,11], в которых было получено, что оптимальная высота сканирования составляет 60м, а эффективная площадь сканирования определяется площадью круга, радиус которого определяется соотношением  $R_{эф} \approx 3h_D$ , где  $h_D$  – высота сканирования (высота полета БДК, на которой осуществляют наблюдение подстилающей поверхности). Величина поверхностной активности  $i$ -го радионуклида  $\chi(p_i)$  подстилающей поверхности, загрязненной радиоактивными аэрозолями, может быть вычислена по следующей формуле, в которой  $m = 3$ .

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

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

- $x_0, y_0$  – координаты точки наблюдения;
- $E_1(\mu(E_i) h_D)$  – специальная функция;
- $\psi(E_i)$  – поправочная функция.

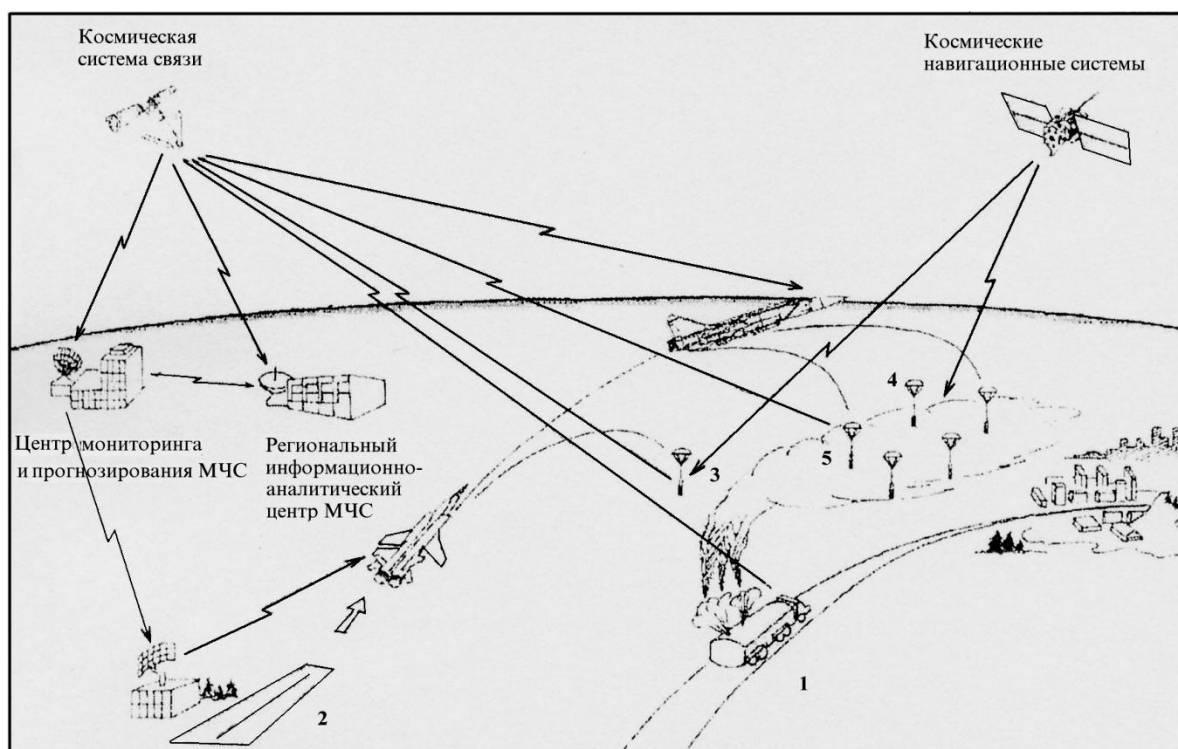
Таким образом, преимущество предлагаемого метода состоит в том, что в его рамках осуществляется локальный дистанционный контроль газоаэрозольной радиоактивной примеси, распространяющейся в воздухе и оседающих на подстилающую поверхность при выбросах с АЭС и других ОИАЭ, как при радиационных авариях, так и при их штатной работе, с передачей информации по радиоканалу в режиме on-line на экран монитора ноутбука независимо от существующих систем АСКРО. В последнем случае может проводиться даже анализ выбросов из вентиляционных труб ОИАЭ. В отличие от стационарных систем радиационного контроля, например, систем АСКРО, оснащенных датчиками, регистрирующими в венттрубе АЭС долгоживущие, короткоживущие радионуклиды, и инертные радиоактивные газы, в основе которых лежат аспирационные методы, а также специальными датчиками, разработанными для регистрации йода, система измерения, реализуемая в предлагаемом методе, определяет весь радионуклидный состав выброса до его выпадения на подстилающую поверхность, а также на подстилающей поверхности в следе радиоактивного облака. Кроме того, используя дистанционный способ управления носителем, существует реальная возможность определения объемной активности радиоактивной газоаэрозольной примеси в процессе ее переноса в атмосфере, что невозможно осуществить всем приборным парком стационарной системы АСКРО в режиме on-line или провести эти измерения лишь



после того, как радиоактивные аэрозоли осядут на землю. Дополнительным плюсом для предлагаемого метода может служить и возможность визуального осмотра места аварии, где отсутствуют датчики системы контроля и системы видеонаблюдений, поскольку беспилотный дозиметрический комплекс (БДК) содержит видеокамеру, работающую в режиме on-line.

Подобные БПЛА, в настоящее время, получают широкое внедрение для решения военно-технических задач, задач МЧС, находят применение в различных отраслях народного хозяйства, например, в нефтяной и газовой, осуществляя дистанционный контроль трубопроводов и газопроводов. Однако, подобное оборудование, предназначенное для применения в области радиационного контроля радиационно-опасных объектов полностью отсутствует, хотя события в Чернобыле и на АЭС Фукусима 1 в Японии наглядно показали, что ряд вопросов, связанных с подобными авариями, при наличии такого оборудования мог бы быть решен значительно проще и намного безопаснее для исполнителей.

С другой стороны, при решении вопроса радиационного контроля окружающей среды, рассмотренного в работе [12] и осуществляемого в рамках конверсии многофункционального авиационно-ракетного комплекса на базе самолета МИГ-31, рассматривалась возможность его использования, как динамической системы радиационного мониторинга при различных состояниях устойчивости атмосферы (см. рис. 3).



**Рис. 3.** Схема применения авиационно-ракетного комплекса на базе самолета МИГ-31 для решения задач оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом в атмосферу химически опасных и радиоактивных веществ. 1 – транспорт с радиоактивными или опасными химическими веществами; 2 – взлетная полоса истребителя; 3, 4, 5 – измерительные зонды радиационных характеристик радиоактивного облака, выбрасываемые с самолета и передающие данные измерений по космической связи [12]

Таким образом, решение подобных задач целесообразно искать в другом ключе, а, именно, путем использования совокупности управляемых малых летательных

аппаратов (радиоуправляемых моделей), несущих на себе облегченный комплекс дозиметрического и спектрометрического оборудования вкупе с базовым пилотируемым носителем, т.е. своеобразной «Авиаматкой», например, вертолетом типа Ми-8. В качестве малых летательных аппаратов могут выступать радиоуправляемые модели вертолетов или самолетов, способных нести полезную нагрузку весом от полукилограмма до трех килограммов с продолжительностью полета на крейсерской скорости ~ 70 км/час не менее полчаса.

Один из возможных сценариев использования подобных аппаратов может состоять в следующем. После передачи «Авиаматке», минимальная скорость которой должна быть сравнима с максимальной скоростью БПЛА, чтобы забрать последние к себе на борт в воздухе, координат центра масс радиоактивного облака, покидающего зону, контролируемую системой АСКРО, «Авиаматка» выбрасывает «десант» в виде малых летательных аппаратов (рис. 2 а, б), наводя их на интересующую исследователей область радиоактивного или химического, из состава АХОВ\*, облака. После проведения соответствующих измерений в радиоактивном облаке эти аппараты можно вернуть на «Авиаматку» или отослать на наземную базу, если последняя находится в пределах полетного времени (достаточности горючего) аппарата. Очевидно, что возмущением, которое образуется от пропеллера или лопастей малого летательного аппарата, можно пренебречь, если речь идет об измерении мощности дозы внешнего облучения. Обработка данных, полученных малым летательным аппаратом, при соответствующем математическом обеспечении позволит скорректировать радиационные характеристики радиоактивного облака. Преимущество подобных технологий перед технологией использования авиационно-ракетного комплекса на базе самолета МИГ-31, состоящее, именно, в применении малых летательных аппаратов для уточнения характеристик окружающей среды, в том числе и радиационных характеристик радиоактивного облака, возникающего в условиях радиационных аварий на ОИАЭ, включая и АЭС, очевидны и определяются их низкой стоимостью, мобильностью и возможностью их многократного использования даже в одном рейсе «Авиаматки».

Вместе с тем, использование подобной совокупности роботизированных БПЛА ставит ряд задач, требующих незамедлительного их решения при внедрении в народное хозяйство указанных разработок. К этим задачам относятся:

1) Разработка метода и специальной аппаратуры, исключающей возможность столкновения носителей в воздухе при их движении к намеченной пилотом цели и при решении исследовательских задач.

2) Разработка метода управления совокупностью хаотически распределенных в трехмерном пространстве БПЛА, т.е. своеобразным «роем», с выделенным (назначенным) в этом «рое» лидером, обеспечивающим упорядоченное движение «роя» к намеченной пилотом цели для дальнейшего решения исследовательских задач.

Первая задача связана с особенностью перемещения БПЛА в воздухе, например, полетом в строе или при создании строя. При этом следует иметь в виду, что полет строем – это не только линейные или образующие плоскость распределения носителей в пространстве, но это, в том числе, и трехмерные распределения носителей. До тех пор, пока перемещение носителей в пространстве не является самосогласованным (несамосогласованные структуры, в настоящем понимании, – это структуры (БПЛА) движение которых не зависит друг от друга), велика вероятность их критического сближения, при котором может возникнуть аварийная ситуация, развитие которой может привести к столкновению БПЛА и их поломке без возможности восстановления.

---

\* АХОВ - аварийно химические опасные вещества

Поэтому в рамках решения этой задачи должно быть разработано устройство или система оповещения, которая должна устанавливаться на каждом из носителей, позволяющая проводить диагностику расстояний между соседними носителями, фиксировать их сближение на критическое расстояние, определять скорость их относительного движения и осуществлять действия, предотвращающие их дальнейшее сближение. При этих условиях пилотируемый «рой» сможет быть упорядочен, движение носителей в нем будет безопасным, и, в дальнейшем, приведен к намеченной пилотом цели для решения тех или иных задач.

К сожалению, подобная проблема характерна не только для рассматриваемого в настоящей работе «роя» БПЛА, но и для пилотируемых вертолетов и самолетов в разных странах. В таблице 1 приведен далеко не полный список авиационных аварий в СССР, России и других странах, связанный со столкновением вертолетов и самолетов в воздухе, сопровождающиеся гибелью их экипажей и пассажиров [13].

Совершенно очевидно, что если бы на пилотируемой авиационной технике была бы установлена автоматизированная система диагностики расстояний между соседними носителями с оповещением пилотов, таких крупных потерь можно было бы избежать.

Вторая задача связана с тем, что в выбрасываемом “Авиаматкой” десанте БПЛА носители первоначально будут распределены в пространстве хаотически или, в лучшем случае, их распределение будет являться слабоупорядоченным, а для решения исследовательской задачи их предварительно следует собрать, построить, т.е. упорядочить и дальше вести для решения исследовательских задач. Не вызывает сомнений, что эта задача должна решаться с помощью одного пилота, а не нескольких, которые могли бы управлять (пилотировать) каждым БПЛА отдельно.

**Таблица 1.** – Катастрофы пилотируемых летательных аппаратов в России и мире, [13]

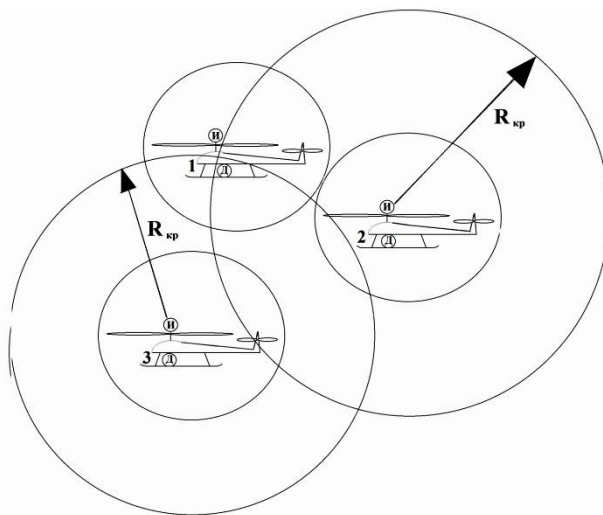
Страна	Дата катастрофы	Жертвы	Описание трагедии
1	2	3	4
СССР	18.01.1935	Погибло 11 человек экипажа самолета и 38 (по другим данным – 50) пассажиров-ударников.	Истребитель врезался в выполнявший демонстрационный полёт с передовиками производства восьмимоторный самолёт-гигант АНТ-20 «Максим Горький». Основная статья: <i>АНТ-20</i> . Материал из Википедии – свободной энциклопедии
Россия	3.06.1993	Пилот самолета – имитатора цели погиб, пилот второй машины катапультировался.	Столкновение самолетов МиГ-29 в полете (один из самолетов имитировал цель) на догонном курсе при отработке ночного перехвата скоростной воздушной цели.
	24.07.1993	Пилоты катапультировались, выписаны из госпиталя через 2 дня. Зрители не пострадали.	Столкновение в воздухе МиГ-29 на встречных курсах при выполнении двойной петли из-за нерасчетного сближения в нижней точке в завершении комплекса высшего пилотажа на авиашоу в честь 75-летия британских ВВС.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
	4.03.1996	Пилоты катапультировались, получив незначительные травмы. Ущерба на земле от падения самолетов нет.	Столкновение в воздухе МиГ-29 через несколько минут после взлета при выполнении учебно-тренировочного полета.
	21.03.2007	Жертв нет, летчики катапультировались.	В ходе проведения плановых полетов столкнулись два истребителя МиГ-29. РИА Новости <a href="http://ria.ru/spravka/20121012/772846765.html#ixzz2nXrDTJQM">http://ria.ru/spravka/20121012/772846765.html#ixzz2nXrDTJQM</a>
	16.08.2009	Погиб командир "Русских витязей" гвардии полковник Игорь Ткаченко, еще двое летчиков пострадали. В результате катастрофы пострадали также четыре человека, находившиеся на земле: один из самолетов упал на территорию дачного поселка, в результате чего сгорели три дома. С сильными ожогами были госпитализированы двое мужчин и одна женщина, которая впоследствии скончалась в больнице.	В ходе подготовки к авиасалону МАКС-2009 произошла авиакатастрофа, в которой столкнулись истребитель Су-27 и спарка (двухместный самолет) Су-27УБ из состава пилотажной группы "Русские витязи". РИА Новости <a href="http://ria.ru/spravka/20121012/772846765.html#ixzz2nXojwwbj">http://ria.ru/spravka/20121012/772846765.html#ixzz2nXojwwbj</a>
	6.08.2010	Экипаж самолета катапультировался. Никто из местных жителей не пострадал.	При выполнении плановых полетов потерпел аварию штурмовик Су-25 УБ. Причиной катастрофы стала ошибка летчика, связанная с выполнением группового полета, в ходе которого произошло столкновение летевших парой самолетов. РИА Новости <a href="http://ria.ru/spravka/20121012/772846765.html#ixzz2nXnV8FQg">http://ria.ru/spravka/20121012/772846765.html#ixzz2nXnV8FQg</a>
	17.09.2012	Два человека пострадали.	Во время учебного полета на аэродроме столкнулись два учебных вертолета Ми-8Т RA-22719.
Индия	30.08.2012	Погибли пять человек, еще трое пострадали.	Столкнулись два вертолета Ми-17 ВВС. <a href="http://meta.kz/other/729623-v-indii-pri-stolknovenii-vertoletov-mi-17-pogibli-5-chelovek.html">http://meta.kz/other/729623-v-indii-pri-stolknovenii-vertoletov-mi-17-pogibli-5-chelovek.html</a>
Ирак	22.03.2003	Погибли семь человек.	Столкновение двух вертолетов Sea King ASaC.7.
	15.11.2003	Погибли семнадцать человек.	Столкновение в воздухе УН-60L Black Hawk.
	30.03.2004	Жертв нет.	Столкновение в воздухе АН-1W Super Cobra.
	16.10.2004	Жертв нет.	Столкновение в воздухе ОН-58D Kiowa.
	26.12.2005	Погибли два человека.	Столкновение АН-64D Apache с другим вертолетом (не пострадал).
	15.04.2007	Погибли два человека.	Столкновение в воздухе Aérospatiale Puma.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Финляндия	13.11.2013	Оба пилота катапультировались. В результате один погиб, второй госпитализирован.	Столкновение двух самолетов в воздухе. Передает АПА со ссылкой на «Интерфакс», сообщение пресс-службы ВВС Финляндии



**Рис. 4.** Принципиальная схема обнаружения соседних носителей БПЛА.  
 $R_{кр}$  – критический радиус сближения БПЛА

Физический смысл предлагаемого метода диагностики расстояния между носителями, иллюстрация которого приведена на рисунке 4, состоит в следующем.

На каждом носителе устанавливается источник излучения и детектор. Этот альянс, выполняющий функцию «сторожа» позволит обнаружить любой соседний носитель, который может приблизиться на критическое расстояние, в результате чего дальнейшее сближение носителей может привести их к столкновению. Роль подобного «сторожа» могла бы быть выполнена следующими приборными комплексами:

- 1) Лазерным дальномером.
- 2) Радаром РЛС.
- 3) Использованием оборудования ультразвукового оповещения.
- 4) Путем использования источника «И» электромагнитного поля с диаграммой направленности в 4-пи и детектора «Д» напряженности магнитного поля.

Требование излучения в 4-пи геометрию обусловлено тем, что столкновение носителей, как показано на рисунке 3, может произойти при любом их расположении, а потому каждый носитель должен «чувствовать» соседа независимо от того, с какой стороны тот находится. Именно эта причина не позволяет воспользоваться для этих целей дальномером на основе лазера. Радар не пригоден для этой цели по причине ограничения веса оборудования. Шумовые помехи, возникающие при полете БПЛА, накладывают ограничения на использование ультразвуковых датчиков и детекторов. Поэтому для решения рассматриваемой задачи остановимся на оборудовании пункта 4. При этом, детектором регистрируется напряженность магнитного поля, как излучаемая источником собственного носителя, например, носителя (1), так и напряженность магнитного поля соседнего носителя (2), приближающегося к первому. Если детектор (см. рис.4), например, носителя (1) «почувствует» возмущение измеряемой им напряженности магнитного поля, то это будет означать, что к нему подходит какой-либо другой носитель, например (2) и/или (3), и он, по заранее разработанному

алгоритму, принимает решение, заложенное в программе, и, действуя в соответствии с ним, предотвращает дальнейшее сближение летательных аппаратов и возможную аварию при их столкновении. В случае пилотируемой авиационной техники, срабатывание детектора будет оповещать пилота об опасном сближении летательных аппаратов. Таким образом, носитель (1) может «почувствовать» присутствие носителей (2) и/или (3), если при измерении напряженности магнитного поля, регистрируемой собственным детектором  $H_{изм}$ , будет выполняться неравенство:

$$H_{изм} \geq H_{соб} + H_{кр}, \quad (1)$$

где  $H_{соб}$  – значение напряженности магнитного поля собственного излучателя электромагнитного поля носителя (1);

$H_{кр}$  – значение напряженности магнитного поля, создаваемого электромагнитным полем соседнего носителя (2) и/или (3), приблизившегося к первому на критическое расстояние  $R_{кр}$ , соответствующее критической чувствительности детектора по напряженности магнитного поля, величина которого ( $R_{кр}$ ) должна составлять не менее двух наибольших длин носителя или диаметров его несущего винта.

Из рисунка 4 следует, что носитель (1) может «чувствовать» носители (2) и (3), в силу выполнения условия (1), но носители (2) и (3) не могут «чувствовать» друг друга, поскольку расстояние между ними может быть больше  $R_{кр}$ . Излучатель электромагнитного поля и датчики должны быть малогабаритными и небольшого веса.

В качестве излучателя электромагнитного поля может быть использован элементарный электрический вибратор совместно с генератором тока, вид которого приведен на рисунке 4. Элементарным электрическим вибратором называют прямолинейный излучатель, длина которого много меньше длины волны возбуждаемого поля ( $L \ll \lambda$ ), а модуль и фаза линейной плотности электрического тока распределены по длине вибратора равномерно [14]. Реализовать на практике распределение тока, близкое к равномерному, можно с помощью *диполя Герца*, представляющего собой два металлических шара, соединенных тонким проводом, к разрезу провода подсоединен, например, с помощью двухпроводной линии, источник э.д.с. Длина диполя много меньше длины волны излучаемого поля. Если напряжение в разрезе, создаваемое с помощью источника э.д.с., менять во времени по гармоническому закону, то заряды  $q^3(t)$  на шарах также будут изменяться во времени по гармоническому закону. Распределение модуля и фазы электрического тока по длине диполя из-за малой его длины является близким к равномерному. Длина разреза  $\Delta$  намного меньше длины диполя  $L$ , и поэтому можно считать, что провод непрерывен. Таким образом, диполь Герца является физической моделью элементарного электрического вибратора.

Если расположить вибратор вертикально и направить ось  $Z$  вдоль оси вибратора (см. рис. 5), то магнитное поле излучателя, как показано в [14], будет иметь только одну составляющую  $H_\phi$ , а его напряженность определяется формулой:

$$H_\phi = \frac{ikR}{4\pi} \sin(\theta) \int_{-L/2}^{L/2} I^3(z') \frac{\exp(-ikR_{pq})}{R_{pq}^2} \left( 1 + \frac{1}{ikR_{pq}} \right) dz', \quad (2)$$

где  $i$  – мнимая единица;

$k$  – коэффициент распространения электромагнитного излучения ( $k = 2\pi/\lambda$ ),  $\lambda$  – длина волны;

$I^3(z') = I_0^3 L f(z')$ ,  $I_0^3$  – амплитуда тока;  
 $f(z')$  – его линейная плотность распределения;

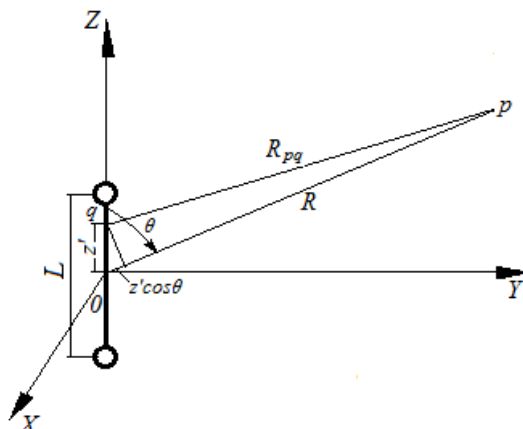


Рис. 5. Иллюстрация к вопросу определения электромагнитного поля элементарного электрического вибратора

$R_{pq} = [R^2 - 2z(z') + (z')^2]^{1/2}$ ,  $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  – расстояние от начала координат до точки наблюдения  $p$ ;

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

$z'$  – координата точки интегрирования  $q(0,0,z')$  области  $[-L/2, L/2]$ ;

$\theta$  – угол между осью вибратора (осью  $Z$ ) и радиусом  $R$ .

Если линейный размер  $L$  вибратора устремить к нулю, то он превращается в точечный вибратор, ток которого при  $z' \rightarrow 0$  можно представить в виде  $I^3(z) = I_0^3 L \delta(z - 0)$ , а напряженность магнитного поля, создаваемого таким вибратором, определится выражением:

$$H_\varphi = \frac{ikI_0^3 L}{4\pi} \sin(\theta) \frac{\exp(-ikR)}{R} \left(1 + \frac{1}{ikR}\right). \tag{3}$$

действительная часть которого, согласно [14], и будет представлять величину магнитного поля, регистрируемого детектором.

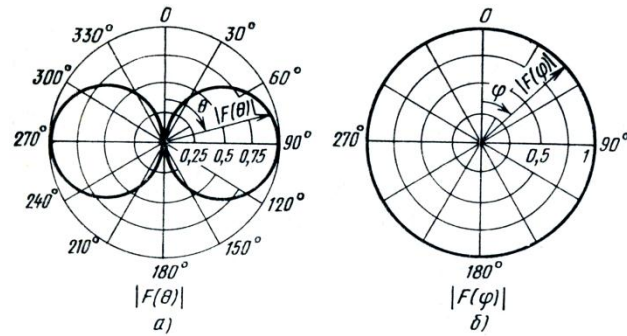
$$H_\varphi = \frac{I_0^3 L}{2\lambda R} \sin(\theta) \left[ \sin(kR) + \frac{\cos(kR)}{kR} \right]. \tag{4}$$

Поскольку функции  $\sin(kR)$  и  $\cos(kR)$  при  $R \rightarrow \infty$  ограничены, то вторым членом в квадратных скобках формулы (4) можно пренебречь, что, в конечном итоге, дает:

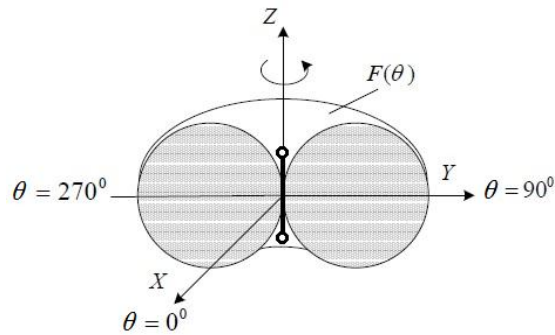
$$H_\varphi(R) = I_0^3 L \frac{\sin(kR)}{2\lambda R} \sin(\theta). \tag{5}$$

Из (5) следует, что  $H_\varphi(R)$  имеет затухающий, но осциллирующий характер, а при  $R \rightarrow 0$  значение амплитуды магнитного поля будет определяться выражением  $I_0^3 L \pi \sin(\theta) / \lambda^2$ .

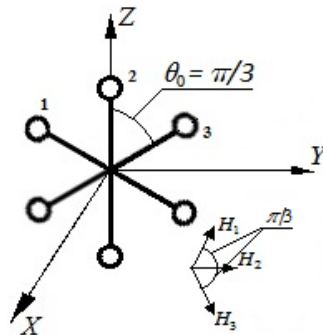




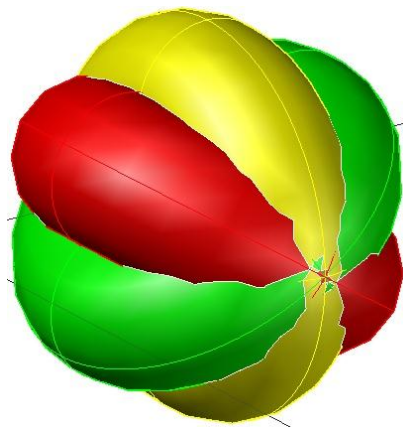
**Рис.6.** Диаграммы направленности излучения элементарного электрического вибратора в меридиональном (а) и в азимутальном (б) направлениях [14]



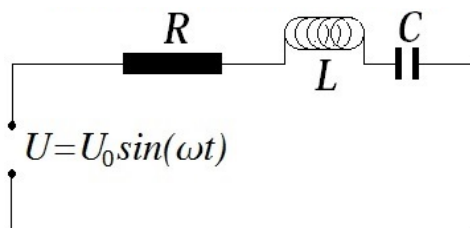
**Рис. 7.** Трехмерное представление диаграммы направленности магнитного поля элементарного электрического вибратора (разрез плоскостью YZ при  $x = 0$ )



**Рис. 8.** Совокупность элементарных электрических вибраторов, обеспечивающих излучение электромагнитного поля в геометрию близкую к  $4\pi$



**Рис. 9.** Трехмерное представление диаграммы направленности магнитного поля трех элементарных электрических вибратора, расположенных под углом  $\pi/3$  друг к другу



**Рис. 10.** Последовательный колебательный контур.  $U$  – напряжение в цепи;  $R$  – активное сопротивление;  $L$  – индуктивность соленоида;  $C$  – емкость конденсатора

Диаграмма направленности магнитного поля элементарного электрического вибратора представлена на рисунке 6 *а, б*. В меридиональном направлении зависимость магнитного поля определяется только  $\sin(\theta)$ , значение которого изменяется от 0 до  $2\pi$ . При этом максимальные значения магнитного поля будут иметь место при  $\theta = \pi/2$  и  $3\pi/2$ . При  $\theta = 0, \pi$  магнитное поле равно нулю, т.е. излучения в направлении оси вибратора не происходит (см. рис. 6 *а*). Из формулы (5) также следует, что магнитное поле не зависит от азимутального угла  $\varphi$ , что также отражается на рисунке 6 (*б*). В трехмерной геометрии диаграмма направленности будет представлять собой тор с внутренним радиусом, равным нулю, вид которого приведен на рисунке 7.

Отсутствие излучения электромагнитного поля в направлении  $\theta = 0$  и  $\pi$  говорит о том, что диаграмма направленности излучаемого электромагнитного поля элементарного электрического вибратора не отвечает требованию излучения в 4-пи, сформулированному выше. Выход из положения может быть найден путем использования трех излучателей, расположенных на одной оси под углом друг относительно друга на  $\pi/3$  (см. рис. 8). При этих условиях, учитывая, что диаграмма направленности электромагнитного поля любого из трех излучателей будет иметь вид, приведенный на рисунке 7, общая картина электромагнитного поля, излучаемого такой «мельницей», в силу выполнения принципа суперпозиции полей, создаваемых каждым вибратором, будет близка к  $4\pi$  (см. рис. 9), вектор напряженности суммарного магнитного поля – параллелен оси  $Y$ , а его величина при  $|H_1|=|H_2|=|H_3|$  и  $\theta = 0$ , согласно формуле (5), будет составлять  $H_z(R) = H_1(R) + 2H_2(R)\cos\theta_0 = 2H_1(R)$ . Излучение электромагнитного поля, представленной на рисунке 8 «мельницей», для «общения» между носителями должно осуществляться на разных частотах, чтобы не мешать друг другу. В качестве детектора электромагнитного поля можно использовать элементарную рамку, представляющую собой колебательную систему (простейшую колебательную цепь), в которой ее параметры (индуктивность  $L$  и емкость  $C$ ) подбираются таким образом, чтобы на возбуждающей частоте имел место резонанс. Это позволит выделить частоту, на которой идет связь с приближающимся носителем, уточнить его имя (первый, второй или третий и т.д.) и передать на него управляющий сигнал для выполнения тех или иных действий, записанных в программе.

Действительно, используя законы Кирхгофа, нетрудно записать уравнение, описывающее напряжение в цепи последовательного колебательного контура, приведенного на рисунке 10. Если приложенная ЭДС изменяется по закону  $U=U_0\sin(\omega t)$ , а  $R, L, C$  – активное сопротивление, индуктивность соленоида и емкость конденсатора соответственно, ограниченное решение величины тока в цепи описывается выражением:

$$i(t) = -U_0 \frac{\omega}{L\sqrt{b^2 + 4d}} \frac{\left[ \omega \sin(\omega t) - \left( \frac{b}{2} + \sqrt{b^2 + 4d}/2 \right) \cos(\omega t) \right]}{\left[ \omega^2 + \left( \frac{b}{2} + \sqrt{b^2 + 4d}/2 \right)^2 \right]} + C_1 \exp \left[ \left( \frac{b}{2} - \frac{\sqrt{b^2 + 4d}}{2} \right) t \right] +$$

$$+ U_0 \frac{\omega}{L\sqrt{b^2 + 4d}} \frac{\left[ \omega \sin(\omega t) + \left( -\frac{b}{2} + \sqrt{b^2 + 4d}/2 \right) \cos(\omega t) \right]}{\left[ \omega^2 + \left( -\frac{b}{2} + \sqrt{b^2 + 4d}/2 \right)^2 \right]}, \quad (8)$$

в котором в  $b = R/L$ ;  $d = 1/LC$ , а  $C_1$  определяется из условия  $i|_{t=0} = 0$ .

$$C_1 = U_0 \frac{\omega}{L\sqrt{b^2 + 4d}} \left[ \frac{-b/2 - \sqrt{b^2 + 4d}/2}{\left[ \omega^2 + \left( \frac{b}{2} + \sqrt{b^2 + 4d}/2 \right)^2 \right]} - \frac{-b/2 + \sqrt{b^2 + 4d}/2}{\left[ \omega^2 + \left( -\frac{b}{2} + \sqrt{b^2 + 4d}/2 \right)^2 \right]} \right]. \quad (9)$$

Выражение для резонансной частоты находят из условия:

$$\omega^2 - b\sqrt{b^2 + 4d}/2 = 0. \quad (10)$$

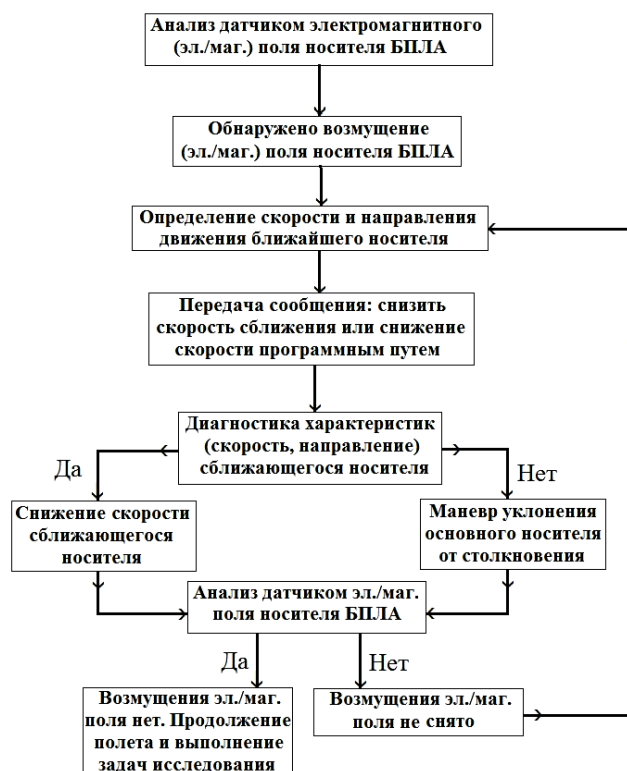
Распознавание имени приближающегося БПЛА устанавливается автоматически по заданной программе путем опроса каждого носителя на своей частоте.

Если рамку вращать вокруг собственной оси, то при определенном направлении, при котором нормаль к плоскости рамки окажется параллельной или антипараллельной вектору суммарного магнитного поля, создаваемого такой системой элементарных электрических вибраторов (см. рис. 8), ток, индуцированный в рамке, будет максимальным, а направление рамки (плоскость, в которой будет находиться рамка) будет указывать на дополнительный источник магнитного поля, что позволит определить направление, из которого может исходить потенциальная угроза столкновения для БПЛА.

Решение второй задачи, как отмечалось выше, сводится к разработке специального программного обеспечения, позволяющего предотвратить опасное сближение БПЛА, основываясь на информации, которую предоставляет система оповещения о столкновении, связанная с детектором электромагнитного поля. Решение этой задачи будет существенно отличаться в зависимости от того, какого вида носитель будет использоваться: будут ли это квадрокоптеры или БПЛА типа вертолета. Отличие будет определяться, в первую очередь, методом управления полетом: изменяется ли угол атаки несущего винта при движении вертолета вперед, или происходит асинхронное изменение скорости вращения пропеллеров на квадрокоптерах. На рисунке 11 представлена принципиальная блок-схема алгоритма программы, иллюстрирующая основную идею решения второй задачи.

Программа должна устанавливаться на каждом из носителей БПЛА и работать по мере обращения к ней до посадки. Перед каждым обращением к программе датчиком электромагнитного поля предварительно анализируется состояние поля на каждом из носителей. Если датчиком обнаружено возмущение, то дальнейший анализ осуществляется в соответствии с алгоритмом проверки, т.е. определяют скорость и направление движения, сближающегося носителя. В случае возникновения опасности столкновения с БПЛА, движущимся впереди, программа уменьшает скорость движения носителя или, если это не помогло, предпринимает маневр уклонения. Маневр уклонения, кроме того, зависит от скорости, направления движения "роя", а также от

взаимного расположения других БПЛА. Алгоритм, реализующий маневр уклонения, должен подбирать такое направление, при котором шанс помехи другим БПЛА сводится к минимуму.



**Рис. 11.** Принципиальная блок-схема алгоритма решения задачи специального программного обеспечения, позволяющего предотвратить опасное сближение БПЛА

Таким образом, несмотря на простоту предложенного метода самосогласования движения носителей при помощи размещения на последних излучателей и детекторов электромагнитного поля, а также соответствующего программного обеспечения, исключающих возможность столкновения носителей в воздухе при их движении к намеченной пилотом цели, задача предотвращения столкновения БПЛА в воздухе может быть успешно решена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций» (СП АС-03). СанПиН 2.6.1.24-03 [Текст]. – М.: Минздрав России, 2004.
2. Елохин, А.П., Рау, Д.Ф. Система контроля радиационной обстановки в зонах размещения объектов атомной промышленности. Патент РФ № 2042157 20.08.96 бюл. № 23.
3. Елохин, А.П. Принципы размещения датчиков мощности дозы вокруг АЭС [Текст] / А.П. Елохин // Атомная энергия. – 1994. – Т.76. – Вып. 3. – С. 188–193.
4. Елохин, А.П. и др. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население [Текст] / А.П. Елохин, М.В. Жилина, Д.Ф. Рау, Е.А. Иванов. – Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. РБ – 053 – 09. Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 июня 2010 г. – №465. – 79 с.
5. Елохин, А.П. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды [Текст] / А.П. Елохин : учебное пособие для студентов вузов. – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2012. – 316 с.

6. Горн, Л.С. и др. Ядерное приборостроение [Текст] / Л.С. Горн, А.А. Климашов, В.В. Матвеев, В.Т. Самосадный, Б.И. Хазанов, Д.Б. Хазанов, С.Б. Чебышов, И.В. Черкашин. – В 2-х тт. – Т. 1. – Приборы для ионизирующих излучений / Под редакцией С.Б. Чебышова. – М.: Восточный горизонт, 2005. – 447 с.
7. Елохин, А.П., Рау, Д.Ф., Пархома, П.А. Способ дистанционного определения концентрации радионуклидов в воздушном выбросе радиационно-опасных предприятий и устройство его осуществления. Заявка МПК G 01T 1/167, № 2006124100/28. Приор. от 06.07.2006. Патент РФ № 2299451, бюл. №14, от 07.12.2006, С. 604-605, ч. 3.
8. Елохин, А.П. и др. Применение беспилотного дозиметрического комплекса для определения концентрации радионуклидов в атмосфере в условиях радиационных аварий [Текст] / А.П. Елохин, В.А. Сафоненко, С.Е. Улин, В.В. Дмитренко, А.В. Пчелинцев, П.А. Пархома // Ядерные измерительно-информационные технологии (Nuclear Measurement & Information Technologies). – 2007. – №3(23). – С. 42–59.
9. Белорусские вертолеты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.indelauav.com> – 30.05.2014.
10. Елохин, А.П., Жилина, М.В., Рау, Д.Ф., Пархома, П.А. Способ дистанционного измерения загрязнения радионуклидами подстилающей поверхности в следе радиоактивного выброса радиационно-опасных предприятий и система для его осуществления. Заявка МПК G 01T 1/29 № 2009117759/28. Приор. от 26.06.2009. Патент РФ № 2388018, бюл. №12, от 27.04.2010.
11. Елохин, А.П. и др. Особенности сканирования подстилающей поверхности при помощи беспилотного дозиметрического комплекса [Текст] / А.П. Елохин, М.В. Жилина, П.А. Пархома // Атомная энергия. – 2009. – Т.107. – Вып. 2. – С. 103–112.
12. Елохин, А.П. Об эффективности использования авиационно-ракетного комплекса для оперативного мониторинга крупномасштабных экологических катастроф [Текст] / А.П. Елохин // Авиакосмическое приборостроение. – 2004. – №7 – С. 52–63.
13. Материал подготовлен на основе материалов РИА Новости и открытых источников. См.: РИА Новости [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://ria.ru/spravka/20121012/772846765.html#ixzz2nXtNnhBG> – 30.05.2014.
14. Марков, Г.Т. и др. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / Г.Т. Марков, Б.М. Петров, Г.П. Грудинская. – М.: «Советское радио», 1979. – 374 с.

## Environmental Radioactive Contamination Radiation Control Methods by Means of Unmanned Aircraft (Drones) and Their Piloting Aspects

**A.P. Elokhin, D.A. Labashev**

*National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Moscow, Russia 115409  
e-mail: [elokhin@yandex.ru](mailto:elokhin@yandex.ru)*

**Abstract** – The article tells about the analysis of the use of environmental radiation control automation systems (Automatic Control System of Radiation Dose Level – ACSRD) revealed that control methods performed by these systems along with current widely used instrumentation do not always allow obtaining information in the real time mode (on-line).

In this article, for solving this type of tasks, we propose a new method, based on application of a set ("swarm") of unmanned aircraft (drones) randomly distributed in three-dimensional space, carrying a complex of equipment, which can then be used to solve a number of research tasks.

It is shown, that to fulfill the research task, motion of the aircraft (drones) in the swarm should be arranged in some order. For this purpose, each drone is equipped with an electromagnetic generator with the directional radiation pattern in  $4\pi$  and a detector. This equipment as well as special software allows prevention of an emergency situation such as collision of the carriers.

Similar equipment can be installed on manned aircraft with a view to preventing accidents of the kind.

**Keywords:** radiation monitoring; environmental radioactive contamination; unmanned aircrafts; electromagnetic generator; directional radiation pattern; electromagnetic detector; oscillating circuit, tuned frequency.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 533.9 (075.8)

**ПЛАЗМЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

© 2014 г. А.Г. Каренгин, О.Д. Подгорная, Е.Э. Шлотгауэр

*Национальный исследовательский Томский политехнический институт,  
г. Томск, Томская область*

В данной работе рассмотрен вопрос плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива. Целью данной работы является определение и оценка процесса утилизации и иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива с применением плазменного оборудования в порошки оксидов металлов для дальнейшего хранения и использования. На основе термодинамического моделирования и экспериментальных исследований показана возможность такой переработки. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для разработки плазменной технологии и оборудования для утилизации и обезвреживания отходов переработки отработавшего ядерного топлива.

*Ключевые слова:* плазма, утилизация, иммобилизация, магнитная сепарация.

Поступила в редакцию 30.05.2014 г.

В настоящее время одной из проблем ядерной энергетики является обращение с радиоактивными отходами (РАО). Эта проблема широко обсуждается в правительственных, научных и общественных кругах многих стран в связи с необходимостью обеспечения безопасной жизни на Земле в условиях интенсивного развития атомной энергетики [1].

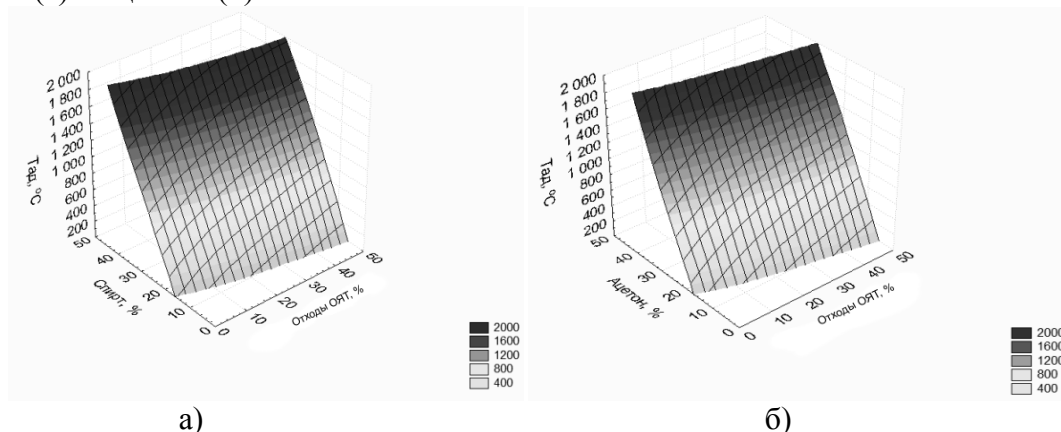
Целью переработки ОЯТ является извлечение делящихся нуклидов, образовавшихся при работе реактора АЭС. Кроме того, переработка ОЯТ является промежуточным этапом на пути удаления высокоактивных радионуклидов из сферы деятельности человека. Выделение из ОЯТ долгоживущих радионуклидов позволяет сделать продукты переработки менее опасными и заметно сократить их объем.

Концепция замкнутого ядерного топливного цикла предусматривает утилизацию всех видов радиоактивных отходов с получением отвержденных продуктов, пригодных для длительного хранения. Основная масса продуктов деления (более 99%) остается в водной фазе, которую направляют в хранилище высокоактивных жидких радиоактивных отходов (отходов переработки ОЯТ) [3]. В этих растворах присутствуют различные нерадиоактивные продукты распада, такие как молибден и РЗЭ, а также конструкционные материалы (цирконий, железо, никель, хром, марганец).

Существенное снижение энергозатрат на процесс утилизации отходов переработки ОЯТ может быть достигнуто при их плазменной переработке в виде оптимальных по составу водно-органических композиций (ВОК), имеющих высокую взаимную растворимость [5-8,11]. Как показали опыты по сжиганию жидких горючих отходов различных органических веществ, достаточное и полное их сгорание в камерах с небольшими потерями тепла в окружающую среду наблюдается у отходов, имеющих адиабатическую температуру горения не менее 1200 °С [12]:

$$t_{ад} = \frac{Q_n^p + C_{омх} \cdot t_{омх} + \alpha \cdot v^0 \cdot C_{ок} \cdot t_{ок}}{v \cdot C + \frac{W \cdot C_{H_2O}}{100} + \frac{A \cdot C_A}{100}},$$

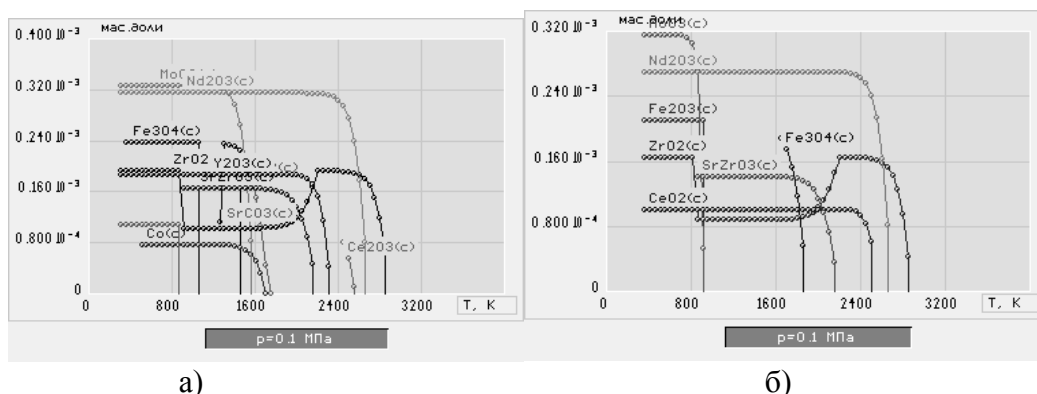
На рисунке 1 показано влияние содержания отходов переработки ОЯТ на адиабатическую температуру горения различных по составу ВОК на основе этилового спирта (а) и ацетона (б).



**Рис. 1.** Влияние содержания отходов переработки ОЯТ на адиабатическую температуру горения ВОК на основе этилового спирта (а) и ацетона (б)

Полученные зависимости позволяют определять оптимальные по составу водно-органические композиции, имеющие адиабатическую температуру горения  $\approx 1200$  °С и обеспечивающие эффективную и экологически безопасную утилизацию этих отходов. Так, массовая доля этилового спирта и ацетона для оптимальных по составу водно-органических композиций на основе отходов переработки ОЯТ составляет  $\approx 35\%$ .

На рисунке 2 представлены характерные равновесные составы основных конденсированных продуктов плазменной утилизации в воздушной плазме отходов переработки ОЯТ в виде оптимальных по составу водно-органических композиций на основе этилового спирта при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 65% (а) и 70% (б).



**Рис. 2.** Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ в воздушной плазме

При массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 65% (а) плазменная утилизация отходов переработки ОЯТ в виде оптимальной по составу водно-

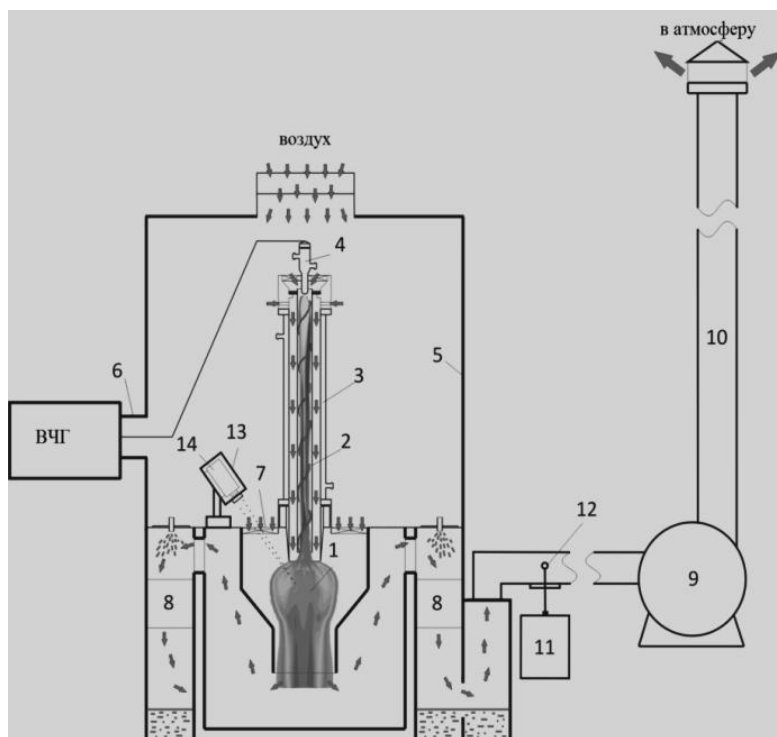


органической композиции приводит к образованию в конденсированной фазе оксидов различных металлов. При этом следует отметить, что при температурах до 1200 К образуется в конденсированной фазе магнитная окись железа  $Fe_3O_4(c)$ . Повышение массовой доли воздушного плазменного теплоносителя с 65% до 70% (б) приводит к образованию в конденсированной фазе немагнитной окиси железа  $Fe_2O_3(c)$ .

С учётом полученных результатов могут быть рекомендованы для процесса прямой плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ в воздушной плазме следующие оптимальные режимы:

- интервал рабочих температур (1200±100) К;
- состав ВОК (65% отходы переработки ОЯТ : 35% спирт);
- массовое отношение фаз (65% воздух : 35% ВОК).

На рисунке 3 представлена схема плазменного стенда «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01», на котором проведены исследования процесса плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ в воздушной плазме ВЧФ-разряда в виде различных по составу ВОК.



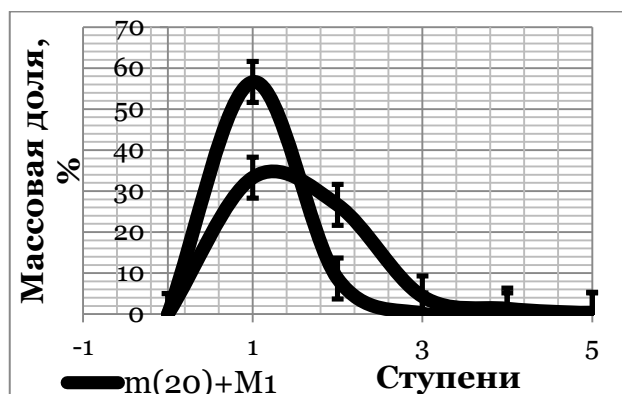
**Рис. 3.** Схема лабораторного плазменного стенда «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01»

1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – медный электрод, 5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод; 7 – импеллер реактора; 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4), 10 – воздуховод, 11 – газоанализатор «Quintox» КМ 9106, 12 – пробоотборник; 13 – защитный кожух пирометра, 14 – пирометр IPE 140/45, ВЧГ – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01.

Образующаяся в реакторе в процессе прямой плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ пыле-парогазовая смесь проходит через центробежно-барботажные аппараты узла мокрой очистки отходящих газов 8 (рис. 3) и образует водные суспензии из дисперсных твердых продуктов, включающих магнитную окись железа. Использование гравитационного осаждения является технологически самым простым и дешевым способом отделения порошков из водных суспензий, но его использование требует много времени для их осаждения, что неприемлемо в промышленных условиях.

Представляет интерес применение магнитного осаждения для извлечения из водных суспензий образующихся дисперсных твердых продуктов, включающих магнитную окись железа.

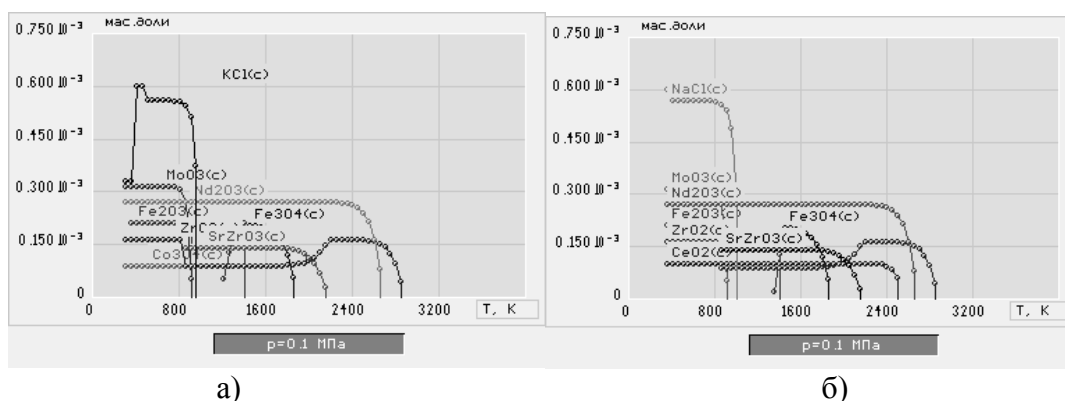
На рисунке 4 представлены характерные результаты исследований гравитационного и совместного гравитационного и магнитного осаждения из водных суспензий дисперсных твердых продуктов плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ, включающих магнитную окись железа (исходная концентрация 20 г/л).



**Рис. 4.** Сравнительная эффективность гравитационного и совместного гравитационного и магнитного осаждения из водных суспензий дисперсных твердых продуктов, включающих магнитную окись железа

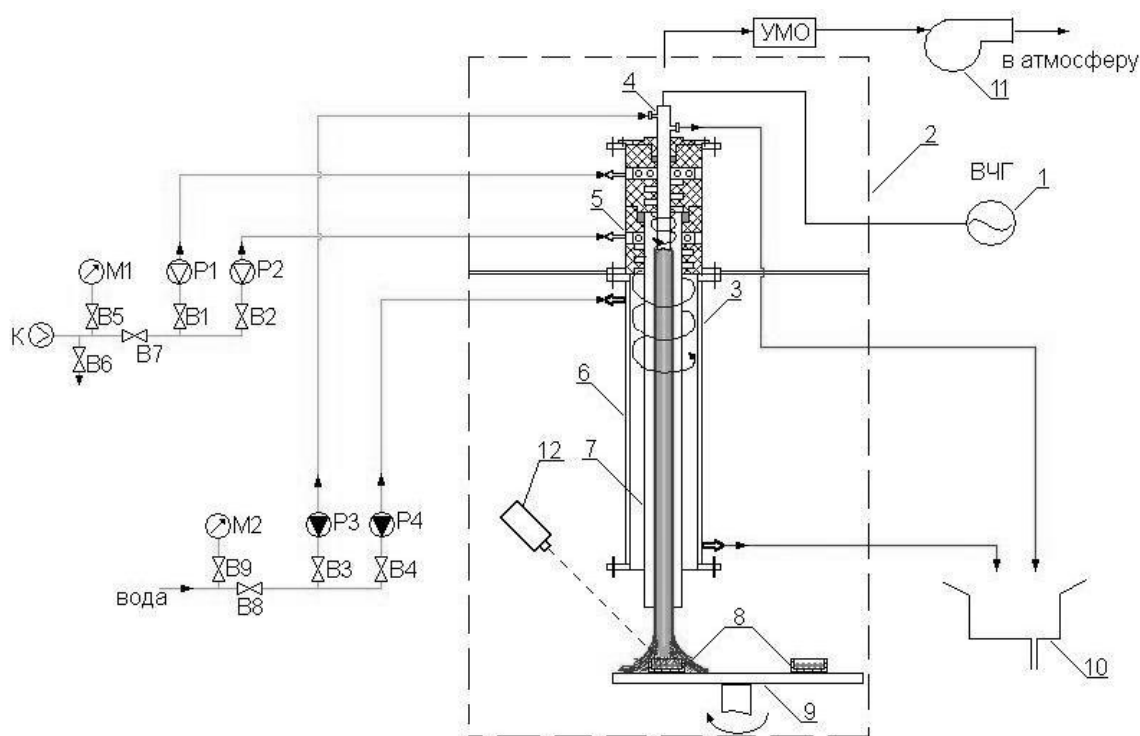
Для осаждения порошков из водных суспензий использовались магнит М1 (50x30x10 мм) из сплава Fe-Nd-B, имеющий магнитную индукцию 1,2 Тл. Из сравнительного анализа эффективности гравитационного и магнитного осаждения следует, что при равном исходном содержании в водной суспензии железосодержащих порошков (20 г/л), применение магнитного осаждения значительно увеличивает извлечение из водной суспензии порошков, включающих магнитную окись железа, по сравнению с обычным гравитационным осаждением. Это указывает на возможность применения магнитных сепараторов для эффективного извлечения из водных суспензий твердых продуктов плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ.

Далее был изучен процесс иммобилизации твердых дисперсных продуктов, полученных при плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ. На рисунке 5 представлены характерные равновесные составы конденсированных продуктов плазменной иммобилизации модельных отходов переработки ОЯТ в расплавах калия (а) и натрия (б) в условиях воздушной плазмы.



**Рис. 5.** Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной иммобилизации отходов переработки ОЯТ в расплавах хлорида калия (а) и натрия (б) в воздушной плазме

Из анализа равновесных составов следует, что плазменная иммобилизация отходов переработки ОЯТ в воздушной плазме приводит при температурах  $1050 \div 1100\text{K}$  к образованию в конденсированной фазе простых и сложных оксидов металлов ( $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SrZrO}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  и др.) и хлорида калия (а) или хлорида натрия (б) в виде расплава. Поэтому представляет интерес исследование процесса плазменной иммобилизации этих твердых дисперсных продуктов в расплавах хлоридов металлов, стойких к радиационному облучению. На рисунке 6 представлена схема лабораторного плазменного стенда.

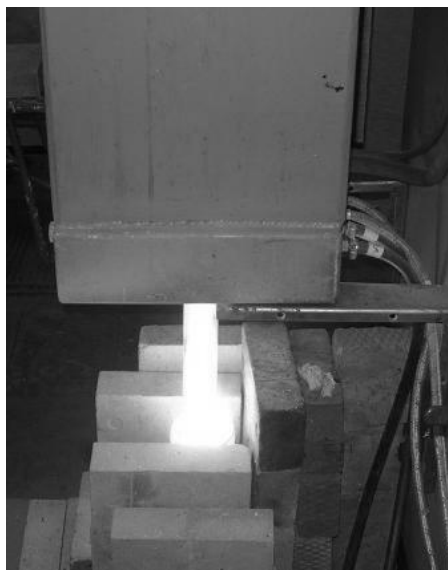


**Рис. 6.** Схема лабораторного плазменного стенда «Высокочастотный факельный плазмотрон на базе генератора ВЧГ8-60/13»:

1 – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13; 2 – технологический блок; 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – водоохлаждаемый медный электрод; 5 – узел ввода плазмообразующего и охлаждающего газа; 6 – водоохлаждаемый корпус плазмотрона; 7 – кварцевая разрядная камера; 8 – тигель; 9 – подставка; 10 – слив охлаждающей воды; 11 – вытяжной вентилятор; 12 – пирометр инфракрасный М90L; УМО – узел мокрой отчистки; К – компрессор; М1, М2 – манометры; Р1-Р4 – ротаметры; В1-В9 – вентили.

На высокочастотном факельном плазмотроне были проведены исследования процесса плазменной иммобилизации твердых дисперсных продуктов, полученных при плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ. Из полученных высокодисперсных порошков простых и сложных оксидов металлов в процессе плазменной утилизации оптимальных по составу диспергированных ВОК на основе модельных отходов переработки ОЯТ и хлоридов калия (или натрия) готовились пробы различного состава. Полученные пробы массой 100 г помещались в тигель 8 из кварцевого стекла ( $\text{Ø}=90$  мм и  $h=120$  мм), основной объём которого до  $h=90$  мм был заполнен асбестом и имел углубление по центру. Далее тигель помещался на подставку 9 под воздушную плазменную струю (рис.7), генерируемую ВЧФ-плазмотроном для осуществления процесса плазменной иммобилизации.

В процессе опытов с помощью переносного пирометра определялась температура нагретой поверхности образующегося расплава образцов.



**Рис. 7.** Плазменная иммобилизация модельных отходов переработки ОЯТ под воздушной плазменной струей ВЧФ-плазмотрона

В таблице 1 представлены характерные результаты плазменной иммобилизации твердых дисперсных продуктов в расплаве хлорида калия после плазменной утилизации модельных отходов переработки отработавшего ядерного топлива в расплаве хлорида калия под воздушной плазменной струей, генерируемой ВЧФ-плазмотроном.

**Таблица 1.** – Режимы плазменной иммобилизации модельных отходов переработки ОЯТ под воздушной плазменной струей ВЧФ-разряда

№ оп.	$T_{стр}, K$	$T_{про}, ^\circ C$	$m_{про}^H, Г$	$m_{про}^K, Г$	$t_{оп}, МИН$
1	3500	850	100,0	18,4	5
2	3500	860	100,0	14,6	10
3	3500	870	100,0	9,8	15
4	3500	900	100,0	4,7	20

При температуре поверхности образца менее  $750\ ^\circ C$  процесс плазменной иммобилизации модельных отходов переработки ОЯТ протекает с низкой интенсивностью. Дальнейшее повышение мощности воздушной плазменной струи приводит к повышению температуры нагретой поверхности образца до  $850\div 900\ ^\circ C$  и процесс плазменной иммобилизации протекает с высокой интенсивностью. Из анализа полученных результатов следует, что за первые 5 мин происходит испарение и унос более 80% от исходной массы пробы. Через 10 мин масса расплава хлорида калия снижается до 14,6 г (потери 85,4%), через 15 мин – до 9,8 г (потери 90,2%), через 20 мин – до 4,7 г (потери 95,3%). На рисунке 10 представлены характерные образцы продуктов плазменной иммобилизации модельных отходов переработки ОЯТ в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда.

В результате проведенных расчётов показателей горения различных водно-органических композиций на основе отходов переработки ОЯТ («отходы переработки ОЯТ – вода – этиловый спирт (ацетон)» и «отходы переработки ОЯТ – вода – этиловый

спирт(ацетон)-хлорид калия (хлорид натрия)» определены оптимальные по составу композиции, имеющие адиабатическую температуру горения  $\approx 1200$  °С и обеспечивающие экологически безопасную переработку таких отходов.

По результатам проведённых термодинамических расчётов равновесных составов продуктов плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки ОЯТ в виде оптимальных по составу водно-органических композиций в широком интервале температур (300÷4000 К) и массовых долей различных плазменных теплоносителей (20÷80%) определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные режимы.

На имеющемся лабораторном плазменном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01» (колебательная мощность до 60 кВт, рабочая частота 13,56 МГц) проведены экспериментальные исследования процесса плазменной утилизации водно-органических композиций на основе модельных отходов переработки ОЯТ в условиях неравновесной воздушной плазмы ВЧФ-разряда и определены оптимальные по составу композиции и режимы их плазменной утилизации с получением после «мокрой» очистки отходящих из плазменного реактора газов водных суспензий из порошков простых и сложных оксидов металлов, включающих магнитную окись железа. На имеющемся лабораторном плазменном стенде «Высокочастотный факельный плазмотрон на базе генератора ВЧГ8-60/13» проведены экспериментальные исследования процесса плазменной иммобилизации порошков простых и сложных оксидов металлов в расплавах хлоридов металлов, стойких к радиационному воздействию (КСl, NaCl и др.) в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда и определены оптимальные режимы процесса плазменной иммобилизации твёрдых продуктов плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ.

Результаты проведённых исследований могут быть использованы для создания оборудования и технологии плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки ОЯТ, что позволит существенно сократить объёмы отходов, повысить их устойчивость к механическим и химическим воздействиям и обеспечить режим нераспространения ядерных материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров, А.С. и др. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов [Текст] / А.С. Никифоров, В.В. Кулиниченко, М.И. Жихарев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
2. Скачек, М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС [Текст] / М.А. Скачек. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.
3. Туманов, Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее [Текст] / Ю.Н. Туманов. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.
4. Пантелеев, Ю.А. и др. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов [Текст] / Ю.А. Пантелеев, А.М. Александрук, С.А. Никитина, Е.Р. Петров, А.Б. Богородицкий, М.Г. Григорьева. – Л.: Труды Радиевого института им. В. Г. Хлопина, 2007. – Т. XII. – С. 124–147.
5. Каренгин, А.Г. и др. Моделирование процесса плазменной утилизации жидких радиоактивных отходов [Текст] / А.Г. Каренгин, О.Д. Шахматова // Вестник науки Сибири. – 2012. – №2. – С. 22–26.
6. Каренгин, А.Г. и др. Плазменное получение жаростойких пигментов двуокиси циркония [Текст] / А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин, А.Д. Побережников // Известия вузов. Физика. – т. 54. – 2011. – №11/2. – С. 369–372.
7. Власов, В.А. и др. Моделирование процесса плазменной утилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива [Текст] / В.А. Власов, А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин, О.Д. Шахматова // Известия вузов. Физика. – т. 55. – 2011. – №11/2. – С. 377–382.

## Plasma Utilization and Waste Reprocessing Immobilization of Spent Nuclear Fuel

A.G. Karengin\*, O.D. Podgornaya\*\*, E.E. Shlotgauer\*\*\*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk Polytechnic University (TPU)*

*30 Lenina, 10 building, Tomsk, Tomskaya region, Russia, 634050,*

*\* e-mail: karengin@tpu.ru ; \*\* e-mail: shahmatovaol@tpu.ru ; \*\*\* e-mail: shlotyara@mail.ru*

**Abstract** – This article describes the problem of utilization and waste reprocessing immobilization of spent nuclear fuel. The purpose of this work is the determination and evaluation of waste reprocessing of spent nuclear fuel recycling possibility with application of plasma equipment in powder of metal oxide for further conservation or use. The possibility of such recycling on the basis of thermodynamic modeling and experimental research is shown. Results of conducted research can be used for designing plasma technology and equipment for utilization and neutralization of waste reprocessing of spent nuclear fuel.

*Keywords:* plasma, utilization, immobilization, magnetic separation.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 550.34:621.311.25

**УСИЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
В ОБОРУДОВАНИИ АЭС С ВВЭР -1000**

© 2014 г. К.Н. Проскуряков, Е.Е. Ефименко

*«Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва*

Показано, что частоты вибраций основного оборудования АЭС с ВВЭР-1000 попадают в область частот в спектре отклика, соответствующую максимальным значениям амплитуды сейсмического воздействия. Представлены результаты анализа экспериментальных данных, из которых следует, что логарифмические декременты затухания колебаний в теплоносителе могут быть меньше нормируемых для обеспечения сейсмостойкости значений декрементов для оборудования и сооружений.

Обоснована целесообразность проведения натурных экспериментов, в условиях воздействия на энергоблок АЭС с ВВЭР, предназначенных для вывода из эксплуатации, искусственно создаваемых колебаний, имитирующих сейсмические и ударные воздействия.

*Ключевые слова:* логарифмический декремент, сейсмостойкость, частота, колебания, добротность, резонанс.

Поступила в редакцию 28.05.2014 г.

Максимальная интенсивность вибраций оборудования АЭС и элементов конструкций, а также пульсаций давления теплоносителя возникает при совпадении значений их собственных частот с частотой колебаний внешних воздействий вызванных землетрясением, взрывом или падением самолета.

При выполнении расчетов по оценке интенсивности вибраций в оборудовании и акустических колебаний в теплоносителе внешнее воздействие задается в виде графиков спектров отклика неконсервативной системы с одной степенью свободы в зависимости от частоты собственных колебаний и значения коэффициента рассеяния энергии [1]. При этом используются спектры отклика перемещений, скоростей и ускорений системы с одной степенью свободы. Наиболее часто применяются спектры ускорений.

На рисунке 1 представлен расчетный спектр отклика, соответствующий относительному демпфированию 2% [2]. В качестве расчетных принимались огибающие спектров отклика, построенных на основе 5 заданных Генпроектировщиком АЭС поэтажных акселерограмм на отметках + 22,36 м, + 28,5 м, + 30,4 м для горизонтального направления (кривая 1) и + 22,36 м, + 25,77 м для вертикального направления (кривая 2).

Результаты расчета частот собственных колебаний показали, что низшая собственная частота системы, для которой был получен этот спектр отклика, составляет 9,66 Гц, а в частотном диапазоне до 30 Гц находятся 13 собственных частот. Значения собственных частот отмечены на рисунке 1 штрихами на оси абсцисс. Эти результаты свидетельствуют о возможности усиления сейсмических воздействий на здание АЭС при их резонансе с собственными колебаниями давления и вибрациями в оборудовании АЭС с ВВЭР-1000. В первых экспериментах на Калининской АЭС [3] по совокупности амплитудных, фазовых, гармонических и многомерных авторегрессионных признаков,



полученных по сигналам ионизационных камер (ИК), датчиков пульсаций давления (ДПД) установлено следующее: для блока I КЛнАЭС в номинальных условиях, частоты приблизительно 0,6; 6,1; 8,6; 12,8; 14,5; 17,5 Гц являются низшими частотами акустических стоячих волн (АСВ) давления и на них происходят вынужденные вибрации внутрикорпусных устройств (ВКУ). Для серийных блоков ВВЭР-1000 частоты АСВ несколько отличаются и составляют ряд 0,6; 6,5; 9,2; 13,2; 15,5; 20,0 Гц.

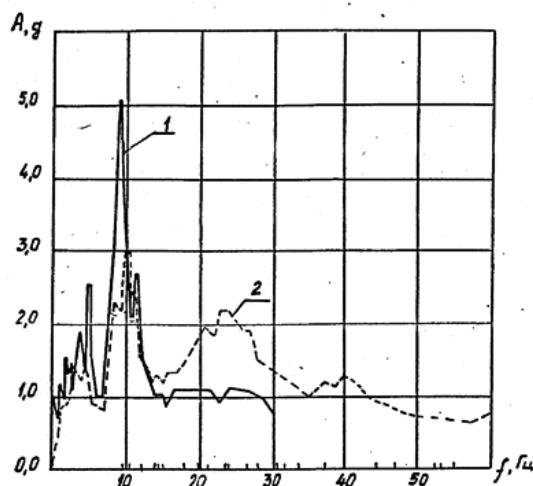


Рис. 1. Расчетные спектры отклика

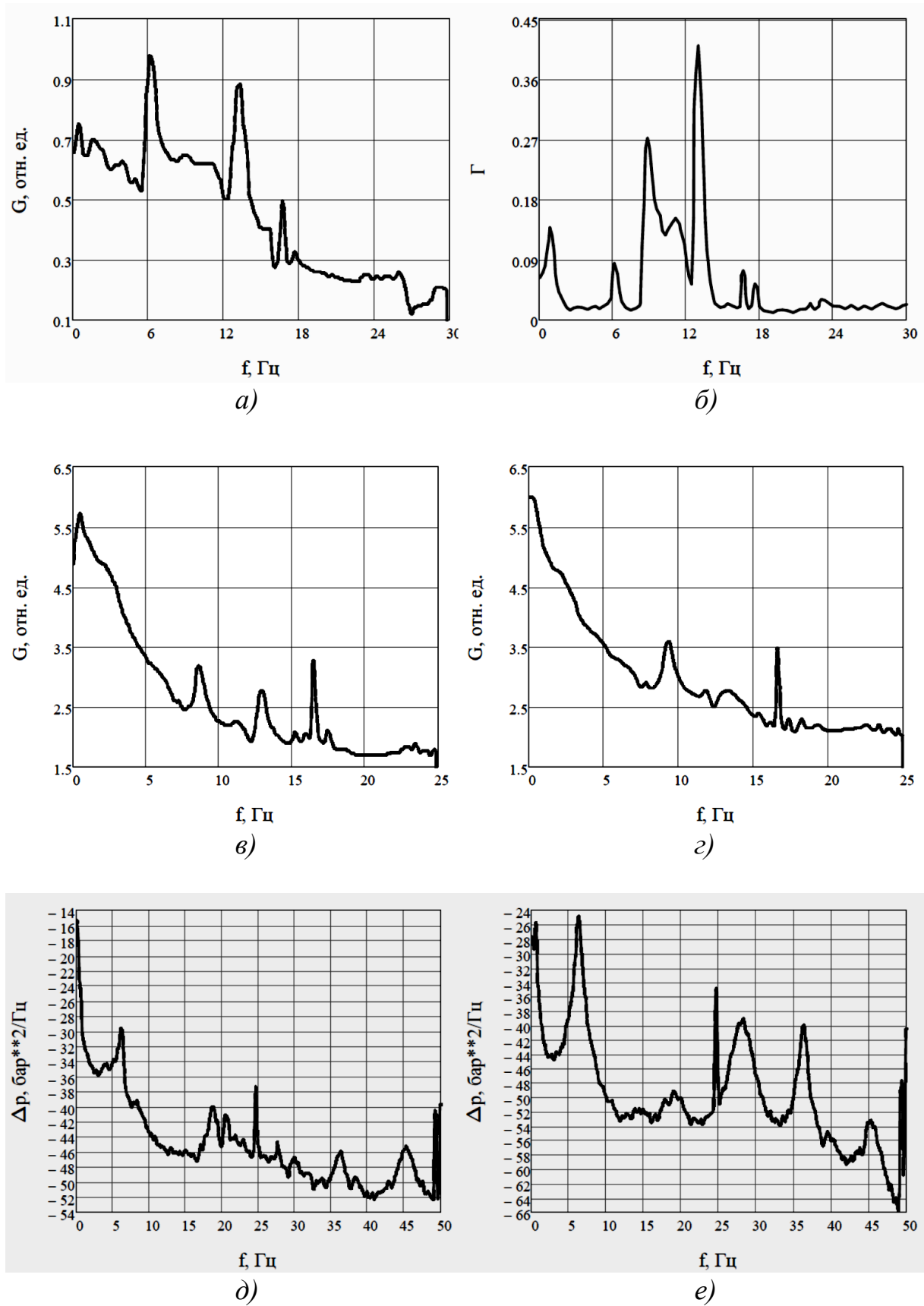
Подтверждением того, что все основные резонансы в спектральных характеристиках сигналов ИК порождены акустическими эффектами, является функция когерентности сигналов ДПД и ИК (рис. 2).

На рисунке 2 б) показана автоспектральная плотность мощности (АСПМ) сигналов от ИК Калининской АЭС, на рисунке 2 в) АСПМ сигналов от ИК Балаковской АЭС, а на рисунке 2 д) и е) АСПМ ДПД Кольской АЭС для горячей и холодной нитки соответственно. Динамическое воздействие пульсаций давления теплоносителя на конструкции и оборудование зависит не только от амплитуды колебаний, но и от их логарифмических декрементов затухания. Ввиду этого необходимо определить декременты затухания колебаний сооружений и оборудования при воздействии возмущений извне, и декрементов затухания АСВ, возникающих в самом оборудовании, т.е. непосредственно в теплоносителе. Нормативные значения логарифмических декрементов затухания колебаний сооружений и оборудования приведены в [4].

Величину логарифмического декремента можно определить по АСПМ, т.е. зависимости амплитуды колебаний от частоты. Согласно [5] декремент для каждого пика на АСПМ рассчитывается следующим образом:

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

где  $\alpha = \frac{A}{A_p}$  и  $\Delta f = f_2 - f_1$ . Здесь  $A_p$  – амплитуда пика,  $A$  – произвольная величина ( $A < A_p$ ),  $f_1$  и  $f_2$  – значения частоты при  $\Delta p = A$  (см. рис. 3).



**Рис. 2.** Мгновенная АСПМ сигнала ДПД (а), мгновенная когерентность сигналов ИК-ДПД (б), АСПМ Калининской АЭС ИК (блок 1) (в), АСПМ Балаковской АЭС ИК (блок 3) (г), АСПМ Кольской АЭС ДПД (горячая нитка) (д), АСПМ Кольской АЭС ДПД (холодная нитка) (е)

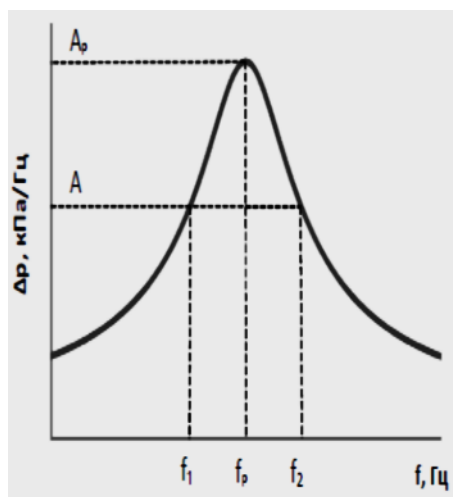


Рис. 3. Определение логарифмического декремента по резонансной кривой

В таблице 1 приведены результаты расчета логарифмических декрементов затухания колебаний сигнала от ИК для АЭС с ВВЭР-1000 (I блока Калининской и III блока Балаковской АЭС) и от ДПД ВВЭР-440 Кольской АЭС (горячая и холодная нитки).

Как видно из таблицы 1 колебания, вызванные внешним воздействием (например, работой насоса – частота 16,6 Гц для ВВЭР-1000 и 25 Гц для ВВЭР-440) имеют логарифмический декремент затухания в несколько раз меньший, чем логарифмические декременты затухания колебаний АСВ, и, следовательно, имеют большую добротность. Логарифмические декременты указаны в долях от значения критического декремента, равного  $2\pi$ , т. е.  $\delta = \frac{\Delta}{2\pi}$ .

Добротность системы Q показывает во сколько раз увеличивается амплитуда колебания при резонансе по сравнению с отклонением системы от положения равновесия под действием постоянной силы, т.е. в случае если частота вынуждающей силы  $f=0$ . В случае резонанса усиление таких колебаний будет значительным.

В работе [6] показано, что частота 9,277 Гц соответствуют вертикальной форме колебаний корпуса реактора и что эта частота зависит от температуры охлаждающей среды. Приведены также результаты расчета собственной частоты, равной 10,1 Гц, поперечных колебаний топливных сборок (третья форма), корпуса реактора, металлоконструкций верхнего блока и собственной частоты, равной 13,1 Гц вертикальных колебаний топливных сборок, корпуса реактора, металлоконструкций верхнего блока.

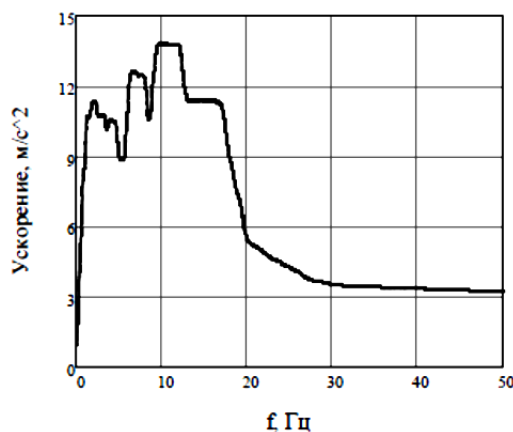
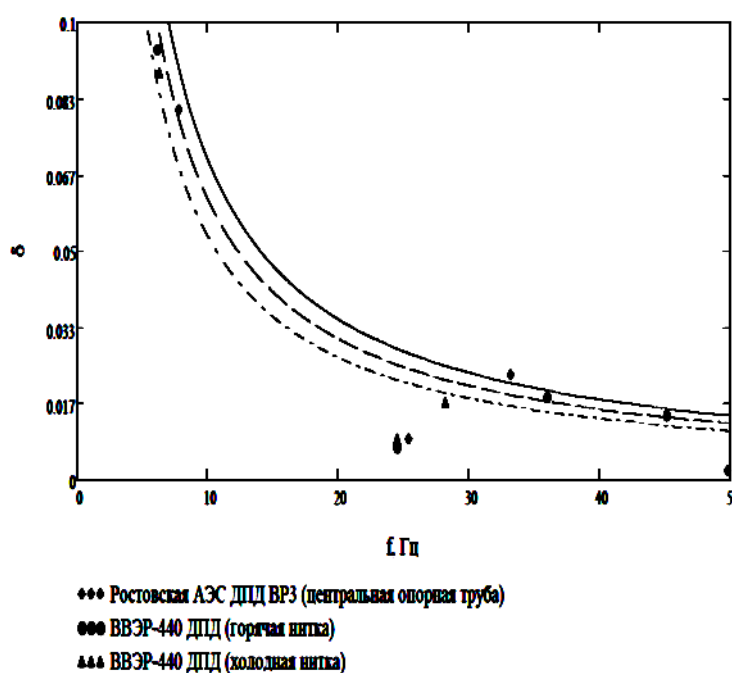


Рис. 4. Расчетный спектр отклика

Сейсмограммы, акселерограммы и спектры отклика соответствуют характерным для данной площадки воздействиям при проектном землетрясении (ПЗ) и максимальном расчетном землетрясении (МРЗ). Расчетные спектры отклика представленные на рисунке 1 [2] и рисунке 4 [1] получены для различных площадок, тем не менее, в обоих случаях максимальное воздействие колебания, вызванного землетрясением, оказывают на корпус реактора и активную зону. Из сопоставления спектров отклика оснований сооружений, полученных в ряде проектных организаций со спектрами вибраций оборудования первого контура АЭС с ВВЭР-1000, следует, что частоты вибраций основного оборудования реакторной установки попадают в область частот в спектре отклика, соответствующую максимальным значениям амплитуды сейсмического воздействия.

**Таблица 1.** – Результаты расчета декрементов затухания ACB в первом контуре АЭС с ВВЭР

f	$\Delta$	$\delta$	Q	f	$\Delta$	$\delta$	Q
Калининская АЭС (блок 1) сигналы ИК				Балаковская АЭС (блок 3) сигналы ИК			
8.6	0.451	0.072	7	9.3	0.507	0.081	6.2
16.6	0.066	0.011	47.6	16.6	0.046	0.007	68.3
Реактор ВВЭР-440 (горячая нитка)				Реактор ВВЭР-440 (холодная нитка)			
6.2	0.594	0.094	5.3	6.3	0.561	0.089	5.6
25	0.047	0.007	66.8	25	0.056	0.009	56.1



**Рис. 5.** Сравнение зависимостей  $\delta(f)$  ДПД реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000

Из рисунка 5 видно что  $\delta(f)$  ДПД у реакторов ВВЭР-440 несколько ниже, чем у реактора ВВЭР-1000.

Анализ большого объема данных показал, что декременты затухания колебаний в теплоносителе могут быть меньше нормируемых декрементов для оборудования. В

таких случаях собственные колебания давления теплоносителя затухают слабее, чем вибрации в оборудовании. Нормы [4], определяющие допустимые значения декрементов приведены в таблице 2. При воздействии на АЭС нагрузок сейсмического типа, возникающих при землетрясениях, внешних ударных волнах и ударе самолета по защитной оболочке (их рассмотрение применительно к РУ проводится аналогично расчету на сейсмические воздействия) возникают вибрации строительных конструкций, передающиеся оборудованию и трубопроводам РУ ВВЭР.

**Таблица 2.** – Нормативные значения логарифмических декрементов [4]

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

Расчетные оценки интенсивности вибраций оборудования АЭС могут приводить в одних случаях к завышенным консервативным результатам, в других случаях к недооценке реально возникающих нагрузок.

Экспериментальные методы исследований, проводящихся как в лабораторных условиях, так и в условиях АЭС, не во всех случаях в полной мере воспроизводят особенности взаимодействия АЭС с сейсмическими нагрузками ввиду чего, прогнозируемые результаты могут существенно отличаться от действительных. Одной из главных причин такого несоответствия является отсутствие экспериментального исследования на натурном объекте. Такие исследования позволили бы обосновать сейсмостойкость АЭС с учетом их особенностей, главными из которых являются нейтронно-физические и тепло-гидравлические процессы в условиях наложения на них внешних динамических воздействий, одновременно воздействующих на все строительные и технологические системы. Для полномасштабного экспериментального исследования динамических процессов в энергоблоке АЭС при воздействии искусственно создаваемых колебаний, имитирующих сейсмические и ударные воздействия, мог бы быть использован энергоблок АЭС с ВВЭР, предназначенный для вывода из эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саргсян, А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций [Текст] / А.Е. Саргсян. – Саров: Изд-во РФЯЦ–ВНИИЭФ, 2013. – 550 с.
2. Шарый, Н.В. Методы расчетного обоснования прочности и динамика конструкций реакторных установок для АЭС с ВВЭР [Текст] / Н.В. Шарый : автореф. дис. докт. техн. наук. – Подольск, 2008. – 48 с.

3. *Аркадов, Г.В. и др.* Виброшумовая диагностика ВВЭР [Текст] / Г.В. Аркадов, В.И. Павелко, А.И. Усанов. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 344 с.
4. МР 1.5.2.05.999.0027-2011. Нормы проектирования атомных станций на сейсмостойкость [Текст]. – М., 2011.
5. *Ананьев, А.Н. и др.* Сейсмическая безопасность атомных станций [Текст] / А.Н. Ананьев, П.С. Казновский, С.П. Казновский и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 229 с.
6. Влияние вибраций ВКУ реактора ВВЭР 1000/320 АЭС Темелин на устойчивость шахты реактора / Л. Печинка, П. Стулик, В. Земан // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР: материалы 5-й междунар. конф. 29 мая – 1 июня 2007 г. – Подольск, 2007. – С. 36–48.

## **Seismic Loadings Amplification in Equipment of Nuclear Power Plant with VVER-1000**

**K.N. Proskuryakov, E.E. Efymenko**

*«National Research University «MPEI»  
14 Krasnoznamenная St., Moscow, Russia 111250  
e-mail: ProskuriakovKN@mpei.ru*

**Abstract** – It is shown that the vibration frequency of the main equipment of NPP with VVER-1000 falls in the frequency spectrum of the response corresponding to extending the maximum amplitude of the seismic action. In this work the results of the analysis of experimental data are presented. According to these results it follows that the logarithmic decrement of oscillations in the coolant may be less standardized to ensure seismic resistance values decrements for equipment and facilities. Expediency of full-scale experiments, under the impact of NPPs with VVER intended for decommissioning, artificially produced vibrations that simulate seismic and shock.

*Keywords:* logarithmic decrement, seismic resistance, frequency fluctuations, quality factor, resonance.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.311.25 : 502/504

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ДОННОГО ИЛА  
ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ  
ЕГО ЗАИЛЕНИЯ**

© 2014 г. М.В. Гуляев, О.И. Горская

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

В работе рассмотрена проблема заиления Цимлянского водохранилища. Предложена комплексная технология по переработке донных отложений в готовую продукцию, которая способна повысить экологическую безопасность водохранилища.

*Ключевые слова:* Цимлянское водохранилище, заиление, экологическая безопасность, переработка.

Поступила в редакцию 20.05.2014 г.

Водные ресурсы особым образом представляют экологическую, социальную, экономическую и культурную ценность, поэтому их экологическая безопасность является весьма важным аспектом в обеспечении национальной безопасности. Экологическая безопасность и рациональное использование водных объектов, как источников чистой воды, в прямой степени зависит от степени их загрязненности и заиленности донными отложениями. Заиление водохранилищ является результатом отложения наносов, приносимых притоками, и образующихся от разрушения берегов [1].

Цимлянское водохранилище (ЦВ) – один из крупнейших искусственных водоемов степной зоны юга России. За полвека произошло уменьшение средних глубины, ширины водоема, площади зеркала ЦВ в целом и мелководий в частности, сократились общая и полезная емкости ЦВ. Наряду с этим отмечается увеличение максимальных глубины и ширины ЦВ, рост протяженности береговой линии [2].

В настоящее время происходит заиление водохранилища, что приводит к нарушению его экологической безопасности. Фактический объем донных отложений на 2003 год составил 822 млн. м<sup>3</sup> [3]. В таблице 1 показаны характеристики заиления участков ЦВ.

**Таблица 1.** – Характеристики заиления Цимлянского водохранилища

Участок	Площадь участков, км <sup>2</sup>	Объем ДО, млн м <sup>3</sup>
Верхний	304	100
Чирской	400	150
Центральный	1040	212
Приплотинный	880	360

Приведенные результаты показывают различия в объемах заполнения отдельных участков донными отложениями. Наибольший объем донных отложений наблюдается в Приплотинном участке водохранилища, в зоне которого находится город Волгодонск и

располагается крупнейший энергетический объект – Ростовская АЭС. Водоохранилище является единственным источником питьевого водоснабжения г. Волгодонска и технического водоснабжения предприятий города. В районе водоохранилища проживает 458 тыс. человек, находится более 70 санаториев и баз отдыха.

Для поддержания устойчивости эксплуатации ЦВ и в связи с его высокой социальной значимостью, следует осуществлять локальную очистку его дна. При решении данной проблемы необходимо вырабатывать и применять инновационные подходы и методы.

Поскольку донные отложения являются природным продуктом, обладающим рядом ценных свойств, то предлагается извлекать донные отложения из водоохранилища и перерабатывать в удобрения. Тот факт, что в Ростовской области нет предприятий, осуществляющих очистку водных объектов от донного ила и его переработку, дает широкие возможности развития данного сегмента рынка.

Весьма важным условием для переработки ила является его безопасность. В работе [4] был произведен расчет концентраций тяжелых металлов (ТМ) в донных отложениях ЦВ, а так же проведено их сопоставление с концентрациями ТМ в почвах водоохранной зоны водоохранилища (табл. 2). Водоохранными зонами являются территории, которые примыкают к береговой линии морей, рек, ручьев, каналов, озер, водоохранилищ и на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира [5].

**Таблица 2.** – Расчетные характеристики донных отложений

Показатель, размерность	Тяжелый металл				
	Fe	Mn	Pb	Ni	Cr
Концентрация ТМ, мкг/г					
– в донных отложениях ЦВ (расчетный метод)	450	608	6	14	5
– в почвах водоохранной зоны ЦВ	12500	665	27	26	64

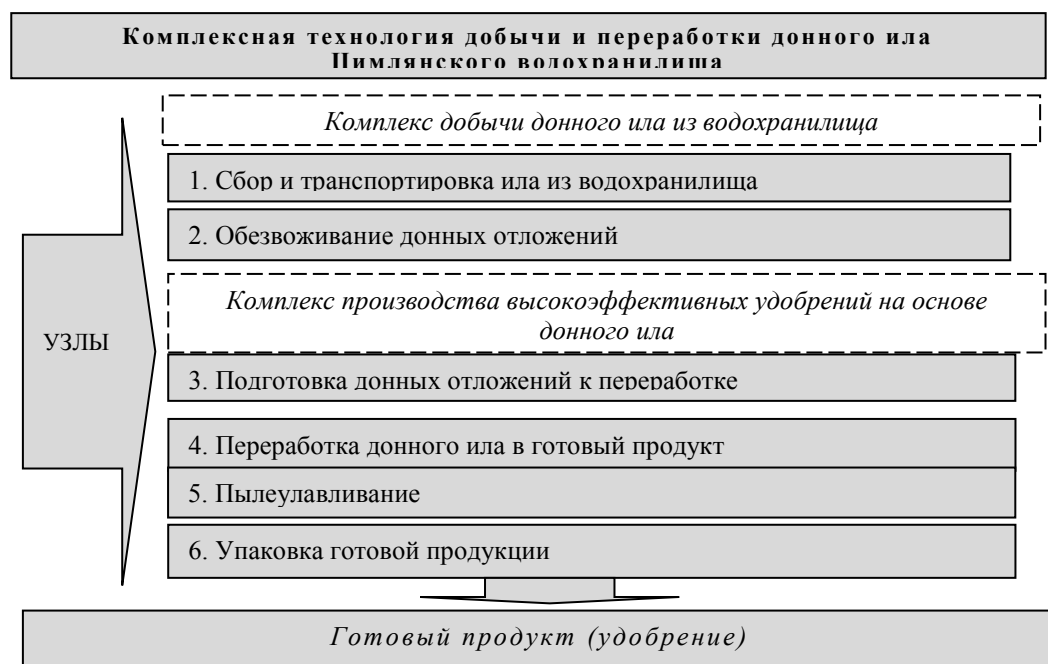
Рассмотрение данных таблицы позволяют сделать вывод о том, что концентрация ТМ в формирующихся донных отложениях практически такое же, как и в почвах водоохранной зоны ЦВ. Этот факт особенно важен в связи с тем, что в перспективе иловые отложения могли бы быть использованы в качестве удобрений.

Для утилизации донного ила являющегося высоко влажным материалом органического происхождения предложена комплексная технология (рис. 1), состоящая из комплекса добычи донного ила из водоохранилища и комплекса производства высокоэффективных удобрений.

Комплекс добычи донного ила из водоохранилища включает такие узлы как сбор и транспортировка ила из водоохранилища, а так же узел обезвоживания. Комплекс производства высокоэффективных удобрений на основе донного ила состоит из таких узлов как подготовка донных отложений к переработке, переработке донного ила в готовый продукт, пылеулавливания, упаковки готовой продукции.

Результатом переработки донного ила является натуральный продукт без каких-либо добавок и примесей, который представляет собой сухое твердое вещество.





**Рис. 1.** Предлагаемая технология переработки донного ила

Таким образом, донный ил, переработанный по предложенной схеме можно использовать при производстве экологически чистых удобрений, кормовых добавок, добавок для рекультивации почв. Реализация предложенной технологии позволяет решить проблему заиления ЦВ, а так же извлекать материальные выгоды из добываемого ила.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов, Л.К. и др. Общая гидрология [Текст] / Л.К. Давыдов, А.А. Дмитриева, Н.Г. Конкина. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 463 с.
2. Шаврак, Е.И. и др. Оценка показателей состояния Цимлянского водохранилища [Текст] / Е.И. Шаврак, И.А. Генераленко, В.М. Сапельников // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №3. – С. 60–70.
3. Сводный технический отчет «Уточнение морфометрических характеристик Цимлянского водохранилища с целью повышения эффективности режима его эксплуатации». «Филиал ОАО «Инженерный центр ЕЭС» [Текст]. – М.: «Институт Гидропроект», 2004.
4. Шаврак, Е.И. и др. Тяжелые металлы в Цимлянском водохранилище [Текст] / Е.И. Шаврак, И.А. Генераленко // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – №1. – С. 42–48.
5. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 28.12.2013).

### **The Application of Reprocessing Technology of Tzimlaynsk Water-reservoir Ground Sludge for the Solution of its Sedimentation**

**M.V. Gulayev\*, O.I. Gorskay\*\***

*Branch of Joint-Stock Company of open type «Concern Rosenergoatom» «Rostov Nuclear Power Plant»,  
Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388*

*\* e-mail: mv\_gulyaev@mail.ru ; \*\* e-mail: gorskayavdonsk@rambler.ru*

**Abstract** – This work is devoted to the problem of Tzimlaynsk water-reservoir sedimentation. It also suggests the technology of reprocessing of ground sludge into the prepared production, which can increase ecological safety of the water-reservoir.

**Keywords:** Tzimlaynsk water-reservoir, sedimentation, ecological safety, reprocessing.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 365.46:635.92(470.4)

**ПОВЫШЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ДРЕВЕСНЫХ КУЛЬТУР  
В НАСАЖДЕНИЯХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
ТРИДЦАТИКИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ РОАЭС**

© 2014 г. С.А. Богоровская

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

Проанализированы видовой состав и декоративные качества деревьев-интродуцентов для их внедрения в зеленые насаждения общего пользования. Разработаны критерии подбора видов для зеленых насаждений Волгодонска.

*Ключевые слова:* ассортимент древесных растений, декоративные качества, эстетическая привлекательность, биоразнообразие.

Поступила в редакцию 25.05.2014 г.

Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» расположена в Ростовской области на южном берегу Цимлянского водохранилища. В настоящее время размер санитарно-защитной зоны РОАЭС составляет 3 км, а размер зоны наблюдения – 30 км. В зону РОАЭС радиусом 30 км входят 5 муниципальных образований Ростовской области, из них наиболее крупным является город Волгодонск, находящийся на расстоянии 13,5 км от РОАЭС.

Месторасположение Волгодонска, находящегося в степной зоне на востоке Ростовской области, обуславливает слабое развитие гидрографической сети. Несмотря на то, что большая часть осадков выпадает в летнее время (с апреля по октябрь в среднем 63% от годовой суммы), они не оказывают большого влияния на поверхностный сток из-за сухости почв летом и большого испарения [3].

На основании многолетних климатических данных Цимлянской гидрометеорологической обсерватории следует заключить, что самый холодный месяц в Волгодонском районе – январь со среднемесячной температурой воздуха  $-7^{\circ}\text{C}$ , а самый жаркий – июль ( $+23^{\circ}\text{C}$ ).

Среднегодовая относительная влажность воздуха в области составляет в среднем 72 %. В холодное время года (ноябрь–март) ее значение увеличивается до 85%. В теплое время года (апрель–октябрь) относительная влажность воздуха в области снижается в среднем до 62 % [125], а минимальная – иногда до 12–15% [13].

Почвенный покров на территории Волгодонска представлен каштановыми почвами, характерными для сухой степи, где процесс почвообразования связан с непромывным водным режимом. Каштановым почвам повсеместно сопутствуют солонцы и солончаки [63, 56, 60].

Между тем климат в городе зависит не только от физико-географических условий, но также и от размера городской застройки, расположения промышленных объектов и интенсивности их воздействия на оболочки биосферы. В городских условиях происходит влияние таких негативных факторов на древесные растения, как уплотнение урбоземов, недостаток влаги, повышенные температуры воздуха, изменение светового режима, комплекс загрязняющих веществ.

Учитывая комплексное влияние урбанизированной среды и климатических факторов на рост и развитие зеленых насаждений, приобретает актуальность вопрос состояния древесных культур на территории города, выполняющих средозащитную, рекреационную, эстетическую функции. В 2014 году отделом охраны окружающей среды Администрации Волгодонска планируется проведение инвентаризации городских зеленых насаждений, однако на протяжении ряда лет инвентаризация не проводилась, реестр отсутствует, поэтому данные о количественном и качественном состоянии древесно-кустарниковой растительности носят приблизительный характер.

В настоящее время зеленый фонд г. Волгодонска включает в себя городские зеленые насаждения и городские леса (табл. 1).

**Таблица 1.** – Количественные показатели зеленого фонда Волгодонска

Год	Площадь зеленых насаждений, га	Площадь городских лесов, га	Фактическая обеспеченность зелеными насаждениями, га	Нормативная обеспеченность зелеными насаждениями, га
2007	1586,0	957,0	2543,0	3027,2
2008	1586,0	881,0	2467,0	2993,8
2009	1586,0	808,34	2394,34	2974,4
2010	1482,53	948,88	2431,41	2974,4
2011	1586,0	948,88	2534,88	2974,4
2012	1661,76	948,88	2610,88	3006,8
2013	1661,76	948,88	2610,88	2995,5

Городские озелененные территории имеют особое экологическое значение в районах с низкой лесистостью и бедным видовым составом естественной дендрофлоры.

Учитывая то, что в условиях Волгодонска возможно успешное произрастание древесных пород, способных вынести большие перепады температур в зимний и летний сезоны, холодные ветра и суховеи, а также недостаток атмосферной и почвенной влаги, необходимо при подборе ассортимента городских насаждений, во-первых, использовать виды, обладающие значительным запасом адаптивного потенциала, а во-вторых, дифференцировать посадки по лесоводственным характеристикам с учетом имеющихся стрессовых факторов.

Экологическую эффективность озелененных городских территорий можно значительно повысить за счет адаптированных интродуцентов, обладающих выше обозначенными свойствами. Устойчивость отдельных интродуцированных видов в условиях Волгодонска очевидна. Подтверждением этому может послужить Волгодонской дендропарк, основанный в 1966 году. Целью его создания являлось изучение и внедрение на Донской земле иноземных древесно-кустарниковых пород, обладающих декоративными свойствами. К середине 1970-х гг. видовой состав дендропарка включал в себя около 240 видов растений – представителей флоры Северной Америки, Дальнего Востока и Сибири, Японии и Китая, Средиземноморья, Европы и т.д.

В настоящее время ассортимент произрастающих растений в дендропарке, получивший в 2006 году статус особо охраняемой природной территории областного значения [2], изменился. Можно выделить ряд причин, повлекших данный факт:

– климатические и эдафические факторы (ярким примером здесь могут служить пихта сибирская и пихта Нордмана, которых отличает большая потребность в высокой

влажности воздуха; оба вида в результате продолжительного времени были в угнетенном состоянии, а в настоящее время полностью погибли);

– антропогенные факторы (механические повреждения, разжигание костров, вытаптывание и пр.), наличие которых встречается повсеместно;

– фито- и энтомофитовредители (примером может служить сосна Веймутова, экземпляры которой были повреждены ржавчинным грибом).

Несмотря на выше обозначенные негативные факторы, приведшие к гибели отдельных видов интродуцентов, многие представители древесной растительности дендропарка находятся в хорошем (или удовлетворительном) состоянии, ежегодно плодоносят. В настоящее время имеются отдельные виды деревьев, которые можно встретить только в дендропарке. С целью оптимизации биоразнообразия древесных пород Волгодонска имеет смысл запланировать работы по размножению адаптированных к местным климатическим условиям интродуцентов, обладающих также высокими декоративными свойствами.

Учитывая то, что в настоящее время видовой состав произрастающих зеленых культур в насаждениях общего пользования не установлен по причине отсутствия реестра, отделом благоустройства Департамента строительства и городского хозяйства г. Волгодонска была предоставлена информация о созданных зеленых насаждениях за последние годы (табл. 2).

**Таблица 2.** – Видовой и количественный состав древесных насаждений, высаженных в 2007–2009 гг.

Порода	2007 г., шт.	2008 г., шт.	2009 г., шт.	Всего, шт.
Акация белая	15	23	76	114
Абрикос обыкновенный	20	22	44	86
Клен (разные виды)	196	188	376	760
Рябина обыкновенная	65	215	430	710
Черемуха обыкновенная	0	47	94	141
Айлант высочайший	0	83	166	249
Ясень зеленый	0	56	112	168
Туя восточная	0	35	70	105
Ива белая	0	18	36	54
Береза повислая	0	75	150	225
Тополь (разные виды)	0	20	40	60
Катальпа бигониевидная	0	93	186	279
Дуб черешчатый	0	10	20	30
Можжевельник виргинский	0	24	48	72

Данные выше приведенной таблицы демонстрируют значительное преобладание посадок лиственных видов (94%) относительно хвойных. Ассортимент видов, представленных в таблице, отражает видовой состав древесных насаждений города, не отличающийся большим разнообразием.

В настоящее время в Волгодонске функционируют 2 организации, занимающиеся озеленением города – ООО «Зеленое хозяйство» и ООО «Созидатель». Обе организации имеют питомники, предназначенные для выращивания декоративных культур. Заказчиком работ по озеленению города выступает отдел благоустройства Департамента строительства и городского хозяйства, и на основании запланированных отделом благоустройства работ подрядные организации осуществляют их выполнение.

С учетом визуальной оценки интродуцированных деревьев, находящихся в

хорошем состоянии и на протяжении нескольких десятков лет успешно произрастающих на территории дендропарка, были отобраны виды для их возможного размножения и последующего озеленения в масштабах города.

В нижеприведенной таблице рассмотрены отдельные интродуценты с учетом их особенностей к климатическим и эдафическим условиям г. Волгодонска (табл. 3).

**Таблица 3.** – Лесоводственная характеристика древесных культур

Порода	Устойчивость к ветру	Отношение к плодородию почвы	Отношение к засухе	Морозоустойчивость	Отношение к запыленности воздуха
1	2	3	4	5	6
Псевдотсуга Мензиса	средняя	нетребовательна	засухоустойчива	переносит морозы до -30	среднее
Лиственница сибирская	ветроустойчива	малотребовательна	умеренно требовательна к влажности	очень морозостойка	нетребовательна
Сосна черная	ветроустойчива	нетребовательна	засухоустойчива	Морозоустойчива	чувствительна
Церцис европейский	устойчив	нетребователен	засухоустойчив	относительно морозоустойчив	устойчив
Дуб красный	ветроустойчив	не очень требователен	засухоустойчив	морозоустойчив	устойчив
Рябина шведская *	Устойчива	неприхотлива	устойчива	морозостойкая	устойчива
Орех черный	ветроустойчив	относительно нетребователен	относительно устойчив	устойчив	устойчив
Бархат амурский	устойчив	предпочитает плодородные почвы	засухоустойчив	зимостоек	устойчив
Орех серый	устойчив	относительно нетребователен	относительно устойчив	очень зимостоек	устойчив

\* Насаждения рябины шведской можно встретить вдоль пер. Почтового, где имеет место двурядная аллея посадка. Визуальный осмотр деревьев рябины (всего 85 штук) указывает на то, что растения в целом имеют декоративный вид, обильное цветение и плодоношение, однако отсутствие ограждений на газонах и непосредственная близость жилых домов способствует тому, что отдельные экземпляры рябин имеют механические повреждения, негативно влияющие на их развитие. Следует отметить, что посадка молодых деревьев в аллею из шведской рябины в настоящее время дополняется саженцами ясеня обыкновенного.

Привлекательность озеленительных насаждений обусловлена декоративностью, которая проявляется в оптимальных условиях их произрастания. В связи с этим декоративность рассматриваемых древесных культур в течение вегетационного периода определялась по таким критериям, как сезонная окраска ствола и ветвей, листьев, цветов, плодов и их формой, – в соответствии с Научно-методическими указаниями ГНУ ВНИАЛМИ РосСельхозАкадемии (табл. 4) [1].

**Таблица 4.** – Длительность проявления декоративности у интродуцентов

Порода	Оценка декоративности (баллы) и длительность эстетического воздействия (месяцы)						
	цветки	плоды	форма листьев	окраска листьев	ствол и ветви	крона	сумма
Псевдотсуга	-	6*12	6*12	6*12	2*12	4*12	288
Лиственница	-	6*12	6*12	6*12	2*12	4*12	288
Сосна черная	-	6*12	6*12	6*12	2*12	4*12	288
Церцис европейский	6*1	6*3	6*8	6*8	2*12	4*8	176
Дуб красный	5*1	5*5	6*8	6*8	3*12	5*8	202
Рябина шведская*	5*1	6*3	6*8	6*8	2*12	4*8	175
Орех черный	4*1	5*3	6*8	6*8	2*12	5*8	179
Бархат амурский	4*1	5*3	6*8	6*8	4*12	4*8	195
Орех серый	4*1	5*3	6*8	6*8	3*12	5*8	191

Анализ таблицы 4 демонстрирует, что лиственные породы имеют балл декоративности ниже, чем хвойные виды.

### ВЫВОДЫ

1. Из значительного ассортимента деревьев, произрастающих в дендропарке, были выбраны 9 видов, привлекательных по комплексу признаков и адаптированных в условиях сухой степи.

2. Для проявления декоративных качеств интродуцентов необходим систематический уход, поэтому наряду с введением их в насаждения общего пользования необходимо обеспечивать высокий агротехнический фон их выращивания.

3. Введение древесных интродуцентов в насаждения позволит разнообразить видовой состав зеленого фонда 30-тикилометровой зоны РоАЭС, повысить его санитарно-защитные и эстетические функции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение биоразнообразия кустарников в рекреационно-озеленительных насаждениях засушливого пояса России (научно-методические указания) / Под ред. К.Н. Кулика, И.П. Свинцова, А.В. Семенютиной и др. – М., 2008.
2. Постановление Администрации Ростовской области от 19.10.2006 № 418 «О памятниках природы Ростовской области».
3. Смагина, Т.А. Природа, население и хозяйство Ростовской области [Текст] / Т.А. Смагина, В.С. Кутилин, М.И. Кизицкий – Ростов-н/Д.: издательство Ростовского ИУУ, 1994. – 304 с.

## Wood Biodiversity Increase of Cultures in Public Plantings of the Thirty-Kilometers Zone of the Rostov Nuclear Power Plant

**S.A. Bogorovskaya**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360  
e-mail: swetlinka1@mail.ru*

**Abstract** – The article is devoted to the specific structure and decorative qualities of trees-introduced species for their introduction in public green plantings. It also describes the criteria of types selection developed for green plantings in Volgodonsk.

**Keywords:** wood plants assortment, decorative qualities, esthetic appeal, biodiversity.

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

УДК 621.039:006.1

**ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ-ЧЛЕНОВ СРО НП  
«СОЮЗАТОМСТРОЙ» В ВИТИ НИЯУ МИФИ**

© 2014 г. В.С. Опекунов\*, В.А. Руденко\*\*, Ю.В. Заяров\*\*,  
Ю.И. Пимшин\*\*, А.В. Стамбулко\*

\* Саморегулируемая организация атомной отрасли, г. Москва  
Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.

В статье представлена динамика роста основных показателей образовательной деятельности СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ» за период 2010–2014 гг. Проведен анализ организации курсов повышения квалификации в ВИТИ НИЯУ МИФИ для руководителей и специалистов организаций, являющихся членами СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ». Предложены мероприятия, позволяющие повысить уровень подготовки слушателей, а так же расширить технологию и географию образовательной деятельности ВИТИ НИЯУ МИФИ для организаций-членов СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ».

*Ключевые слова:* СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ», атомная энергетика, программы повышения квалификации, курсы повышения квалификации, руководители и специалисты строительных организаций.

Поступила в редакцию 20.06.2014 г.

Уровень безопасности и надежной эксплуатации атомных электростанций в значительной мере определяется качеством строительства и монтажа оборудования на объектах использования программы повышения квалификации. Одним из основных критериев, определяющих качество строительно-монтажных работ на предприятиях атомного профиля, является уровень квалификации руководителей, специалистов, линейного персонала и квалифицированных рабочих строительных организаций и предприятий. СРО атомной отрасли с 2010 года реализует образовательный проект, направленный на развитие отраслевой системы повышения квалификации руководителей и специалистов организаций–членов СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ», СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ», СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО» [1-3].

Сформирован пул из пятнадцати образовательных учреждений, осуществляющих с 2012 года программы повышения квалификации в рамках образовательного проекта СРО.

Со всеми образовательными учреждениями заключены договоры с едиными требованиями по осуществлению учебного процесса в части организационной и учебно-методической работы.

Повышение квалификации организовано в городах: Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Новосибирск, Томск, Красноярск, Иваново, Нововоронеж, Сосновый Бор, Волгодонск, Северск.

Исходя из потребности организаций-членов СРО, ежегодно разрабатываются новые программы повышения квалификации, увеличивается количество проводимых учебных курсов. Формирование групп слушателей проводится в плановом порядке по

заявкам предприятий на основании ежегодных Планов-графиков и Перечней учебных программ.

Динамика показателей повышения квалификации в рамках образовательного проекта СРО приведена в таблице № 1.

В программах развития СРО атомной отрасли предусмотрено проведение повышения квалификации в образовательных учреждениях, расположенных в местах площадок строящихся объектов использования атомной энергии. Для руководителей и специалистов строительных организаций, работающих на площадке Ростовской АЭС организованы курсы повышения квалификации в Волгодонском инженерно-техническом институте НИЯУ МИФИ.

**Таблица 1.** – Динамика показателей повышения квалификации

	2010 год	2011 год	2012 год	2013 год	2014 год (план)
Количество программ повышения квалификации по СРО атомной отрасли	18	31	36	62	74
СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ»	11	20	23	46	55
СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ»	5	9	11	13	14
СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО»	2	2	2	3	5
Проведено учебных курсов	53	106	143	235	235
Количество слушателей, прошедших повышение квалификации	1040	2570	3535	3725	3700

В ВИТИ НИЯУ МИФИ стали осуществляются программы повышения квалификации для руководителей и специалистов организаций, являющихся членами НП СРО «СОЮЗАТОМСТРОЙ» по устройству бетонных конструкций, монтажу конструкций, устройству инженерных систем, монтажу оборудования ОИАЭ и строительному контролю. За период с 2011 по 2013 гг. повысили квалификации 405 слушателей (см. таблицу № 2).

**Таблица 2.** – Повышение квалификации в ВИТИ НИЯУ МИФИ

	2011 год	2012 год	2013 год	2014 год (план)
Учебные программы	3	4	7	8
Учебные потоки	3	8	13	14
Слушатели	62	168	175	225

Некоторые промежуточные результаты совместной работы по организации и проведению курсов повышения квалификации изложены в материалах статей [4, 5].

В целях совершенствования учебных программ постоянно вносились коррективы в содержание дисциплин, преподаваемых на курсах. На основании пожеланий, высказываемых слушателями при итоговом анкетировании, вводились новые разделы и темы, в том числе использовались положения и требования, изложенные новой нормативной документацией (актуализированные редакции СНИП), вышедшей в 2012-2013 гг. и введенной Федеральными органами власти. Актуальность такого подхода обосновывается, прежде всего, тем, что новые темы учитывали и строились на основе



опыта научно-производственных исследований, выполненных коллективом преподавателей института на объектах использования атомной энергетики (РоАЭС, ЛАЭС, НВАЭС, Балаковская АЭС, заводы Тяжмаш, Балткран, Атоммаш).

Для проведения занятий институтом было приобретено лицензионное программное обеспечение, новое оборудование, позволяющее вести исследования методами неразрушающего контроля и электронные средства измерений геометрических характеристик объектов. Новейшие технологии, основанные на применении данных приборов, внедрены в учебный процесс курсов повышения квалификации. При этом информация о новых технологиях представлялась в рамках лекционного курса, а на лабораторных практикумах слушатели имели возможность использовать новые средства измерений и контроля на реальных объектах. Необходимо подчеркнуть, что все лекционные занятия проводились с использованием интерактивных форм обучения, с предоставлением в форме презентаций материалов, полученных в результате выполнения работ на объектах атомной энергетики.

По итогам проведения курсов, в заключительный день проводятся круглые столы, на которых обсуждаются наиболее актуальные проблемы атомной отрасли, осуществляется итоговая аттестация слушателей.

В соответствии со специализацией слушателей, направляемых на курсы повышения квалификации, совершенствовалась тематика курсов, были внедрены дополнительные программы:

– «Геодезические работы, выполняемые на строительных площадках в процессе сооружения ОИАЭ». Особенностью содержания программы является то, что она разработана на основе опыта специалистов института по обеспечению возведения блоков атомных электростанций страны.

– «Разработка сметной документации на строительные, монтажные, пусконаладочные работы с использованием обновленных сметных нормативов на объектах использования атомной энергии». Рассматриваются особенности работы с программным комплексом «Атом-смета».

В ходе партнерской работы по предложению СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ» разрабатываются новые программы повышения квалификации линейного персонала (начальники участков, мастера, прорабы) строительных организаций, составлен учебный план, рабочие программы дисциплин и материал для этапа дистанционного обучения.

Так в 2014 году в ВИТИ стали реализовываться программы «Организация работ в строительстве и производство монтажа сборных бетонных, железобетонных конструкций на объектах использования атомной энергии» (шифр С-2 (Л) и «Организация работ в строительстве и производство геодезических, подготовительных и земляных работ на объектах использования атомной энергии» (шифр С-1 (Л)).

В программу С-2 (Л) включены разделы по организации, экономика и управление строительного производства; по основам нормативно-правового регулирования строительной деятельности; по основам трудового законодательства; охрана труда и техника безопасности в строительстве. Помимо этого важное место отводится специальному разделу, в котором изучается возведение и устройство наиболее ответственных бетонных и железобетонных монолитных конструкций, в том числе защитной герметичной оболочки, башенной испарительной градирни, отводящего от машинного зала канала и объединенной насосной станции. В программу С-1 (Л) включены вопросы по современному геодезическому обеспечению строительных процессов на объектах использования атомной энергетике. Кроме того в программу включены вопросы по мониторингу технического состояния зданий и сооружений возводимого комплекса.

Для проведения некоторых разделов курсов (чтение отдельных тем лекционного материала, работа круглого стола) привлекаются ведущие ученые страны и опытные производственники, такие как доктор технических наук, профессор Московского государственного университета геодезии и картографии (МИГАиК) Е.Б. Ключин, доктор технических наук, профессор Ростовского государственного строительного университета (РГСУ) Л.Н. Панасюк, главный архитектор города Волгодонск Ю.С. Забазнов, заместитель начальника отдела технического надзора промышленных объектов УКС Ростовской АЭС Г.Н. Тарасова.

Обновление курсов, наполнение лекционного материала новыми подходами, технологиями, используемыми при проектировании и строительстве объектов атомной энергии, выполняется непрерывно. Например, в материалах курса «Устройство наружных сетей и внутренних инженерных систем на объектах использования атомной энергии» нашло отражение использование новых композитных материалов в трубопроводах, их сварка и контроль качества сварных швов.

В качестве непростых моментов, возникающих при проведении курсов, следует отметить, что иногда приходится убеждать руководителей некоторых предприятий, в необходимости направлять своих специалистов на запланированное повышение квалификации. Кроме этого, иногда на курсы заданной тематики направляются специалисты не соответствующего профиля специальности и видов деятельности, в этом случае слушатели высказывают желания послушать информацию по их направлению, что в рамках одних курсов выполнить затруднительно.

В рамках дальнейшего совершенствования курсов повышения квалификации для СРО атомной отрасли предполагается реализовать следующие мероприятия:

- проведение курсов на базе института с организацией выездных практических занятий на объекты строящейся РоАЭС;
- совершенствование дистанционного этапа программ повышения квалификации с использованием активных форм обучения слушателей, на основании накопленного в ВИТИ НИЯУ МИФИ опыта по разработке программ, презентаций, раздаточного материала, индивидуальных домашних заданий, контрольных работ.
- проведение выездных курсов силами научно-педагогического персонала института на площадках строящихся объектов использования атомной энергии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Опекунов, В.С. и др.* Повышение квалификации специалистов – путь к модернизации отрасли [Текст] / В.С. Опекунов, Т.А. Ивчик, А.К. Шрейбер // Экономика строительства. – 2011. – №3.
2. *Опекунов, В.С. и др.* Повышение квалификации специалистов, выполняющих строительномонтажные и пусконаладочные работы на объектах использования атомной энергии [Текст] / В.С. Опекунов, А.В. Стамбулко // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 2(7). – С. 78–82.
3. *Опекунов, В.С. и др.* Развитие образовательного проекта СРО атомной отрасли. Подготовка квалифицированных рабочих строительномонтажного комплекса атомной отрасли [Текст] / В.С. Опекунов, А.В. Стамбулко, Н.Н. Чупейкина, М.Е. Шорникова // Атомное строительство. – 2013. – №14.
4. *Заяров, Ю.В.* Опыт ВИТИ НИЯУ МИФИ в организации и проведении курсов повышения квалификации НП СРО «СОЮЗАТОМСТРОЙ» [Текст] / Ю.В. Заяров // Атомное строительство. – 2012. – №7(13). ноябрь–декабрь. – С. 35.
5. *Пимшин, Ю.И.* О повышении квалификации специалистов строительных организаций [Текст] Ю.И. Пимшин // Атомное строительство. – 2012. – №7(13) ноябрь–декабрь. – С. 36.

## Skills Development Building of Member Organizations SRO NP "SOYUZATOMSTROY" in VETI MEFHI

V.S. Opekynov\*<sup>1</sup>, V.A. Roudenko\*\*<sup>2</sup>, Y.V. Zayarov\*\*<sup>3</sup>, Y.I. Pimshin \*\*<sup>4</sup>, A.V. Stambylko\*<sup>5</sup>

*\* Self-regulatory Organization of the Nuclear Industry,  
29/1 Bolshaya Ordynka St., Moscow, Russia, 119017*

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

*<sup>1</sup>e-mail: info@atomsro.ru ; <sup>2</sup>e-mail: VARYdenko@mephi.ru ;*

*<sup>3</sup>e-mail: YVZayarov@mephi.ru ; <sup>4</sup>e-mail: YIPimshin@mephi.ru ; <sup>5</sup>e-mail: stambulko@atomsro.ru*

**Abstract** – The paper presents the dynamics of growth of the major indicators of educational activities of SRO NP “SOYUZATOMSTROY” for the period 2010-2014. The analysis of the organization refresher courses VITI MEFHI for managers and specialists who are members of SRO NP “SOYUZATOMSTROY”. The measures that improve the level of training of students, as well as to expand the geography of technology and educational activities VITI MEFHI for member organizations SRO NP “SOYUZATOMSTROY”.

**Keywords:** SRO NP “SOYUZATOMSTROY” nuclear energy, training programs, training courses, managers and specialists of construction organizations.

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

УДК 004.825

**ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДЕЙСТВИЙ  
ОБУЧАЕМОГО НА ТРЕНАЖЕРЕ СВАРЩИКА**

© 2014 г. В.В. Кривин, И.О. Ишигов, В.А. Толстов

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

В статье описана разработка экспертной системы, выполняющей в компьютерном тренажёре мониторинг действий сварщика. Мониторинг проводится с целью выявления состояний, в которых требуется коррекция тех действий сварщика, которые снижают стабильность процесса сварки.

*Ключевые слова:* ручная дуговая сварка, моторные навыки, тренажёр, экспертная система.

Поступила в редакцию 24.06.2014 г.

Обучение навыкам ручной дуговой сварки (РДС) является сложным и требует значительных ресурсов. В современной системе обучения сварщиков используют контрольные сварочные процессы совместно с тренажерами, что позволяет повысить качество подготовки [1]. Тренажер позволяет вести мониторинг действий обучаемого и выдавать необходимые рекомендации для корректировки процесса [2]. Чтобы реализовать систему мониторинга, необходимо определить, какими критериями пользовался бы человек, решающий данную задачу. Критерии выводятся на основе практической деятельности людей и отражают накопленные знания об этой деятельности. Поэтому систему мониторинга можно отнести к экспертным [3].

Общая оценка навыков сварщика, обучаемого на тренажёре, является комплексной величиной, которая складывается из оценок отдельных элементарных моторных навыков: поддержание оптимальной длины дуги, стабильность скорости сварки, сварка с определённым углом наклона электрода и т.д. Поэтому необходимо создать и интегрировать в тренажёр РДС экспертную систему, которая будет выводить общую оценку на основе частных оценок по отдельным навыкам. Оценка отдельных навыков сварщика основывается на рекомендациях, приведённых в справочной литературе и учебных пособиях для сварщиков. Рекомендации представляют собой диапазоны оптимальных значений параметров [4]. Например, рекомендуется поддерживать длину дуги в диапазоне от 50% до 110% диаметра электрода. Выход длины дуги за пределы этого диапазона негативно скажется на качестве получаемого сварного соединения. Степень этого влияния может быть охарактеризована человеком-экспертом в области обучения сварщиков в виде высказываний, подобных следующим:

- «качество результата *никогда не* ухудшится»;
- «качество результата, *скорее всего, не* ухудшится»;
- «качество результата, *скорее всего, ухудшится*»;
- «качество результата *всегда* ухудшится» и т.п.

Выделенные слова выражают степень уверенности эксперта. Для обработки сложных высказываний, которые могут принимать значения не только ЛОЖЬ и ИСТИНА, но и все промежуточные градации между ними, подходит нечёткая логика.

Таким образом, способ обработки знаний экспертов задан решаемой проблемой. Чтобы реализовать систему, необходимо получить знания, представить их в базе знаний (БЗ) и определить программное обеспечение, необходимое для реализации.

Базы знаний заполняются на основе взаимодействия с экспертом и анализа учебно-методических материалов, относящихся к предметной области, которой в данном случае является обучение сварщиков РДС. БЗ для вывода на основе нечёткой логики содержит лингвистические переменные, их нечёткие значения и правила вывода. При составлении БЗ был принят ряд упрощений. Неизменными считаются, например: марка электрода (УОНИ) и его диаметр (3мм), материал заготовки (сталь 3), способ разделки кромок (без разделки), характеристики источника питания, а также положение сварки (нижнее), положение электрода (вертикально). Качество электрода, материала и источника питания считается заведомо хорошим. Величина сварочного тока считается фиксированной и потому не рассматривается в числе входных переменных. Моменты зажигания сварочной дуги и заварки кратера не рассматриваются. Из параметров манипулирования электродом рассматриваются только скорость его движения, наклон и длина дуги. С учетом перечисленных упрощений во взаимодействии с экспертом, а также с использованием учебно-методических материалов были составлены 15 правил вывода для экспертной системы:

- 1) ЕСЛИ «отклонение дуги по ходу» ЭТО «нет», ТО «наклон электрода по ходу» ЭТО «нет»;
- 2) ЕСЛИ «отклонение дуги по ходу» ЭТО «назад», ТО «наклон электрода по ходу» ЭТО «назад»;
- 3) ЕСЛИ «отклонение дуги по ходу» ЭТО «вперед», ТО «наклон электрода по ходу» ЭТО «вперед»;
- 4) ЕСЛИ «ширина сварочной ванны» ЭТО «правильная», ТО «скорость сварки» ЭТО «нормально»;
- 5) ЕСЛИ «ширина сварочной ванны» ЭТО «маленькая», ТО «скорость сварки» ЭТО «медленнее»;
- 6) ЕСЛИ «ширина сварочной ванны» ЭТО «большая», ТО «скорость сварки» ЭТО «быстрее»;
- 7) ЕСЛИ «длина дуги» ЭТО «правильная», ТО «изменение длины дуги» ЭТО «нет»;
- 8) ЕСЛИ «длина дуги» ЭТО «маленькая», ТО «изменение длины дуги» ЭТО «увеличить»;
- 9) ЕСЛИ «длина дуги» ЭТО «большая», ТО «изменение длины дуги» ЭТО «уменьшить».
- 10) ЕСЛИ «скорость сварки» ЭТО «медленная», ТО «изменение скорости сварки» ЭТО «увеличить»;
- 11) ЕСЛИ «скорость сварки» ЭТО «быстрая», ТО «изменение скорости сварки» ЭТО «уменьшить»;
- 12) ЕСЛИ «скорость сварки» ЭТО «нормальная», ТО «изменение скорости сварки» ЭТО «нет»;
- 13) ЕСЛИ «наклон электрода поперек хода» ЭТО «левее», ТО «изменение наклона электрода поперек хода» ЭТО «правее»;
- 14) ЕСЛИ «наклон электрода поперек хода» ЭТО «правее», ТО «изменение наклона электрода поперек хода» ЭТО «левее»;
- 15) ЕСЛИ «наклон электрода поперек хода» ЭТО «нет», ТО «изменение наклона электрода поперек хода» ЭТО «нет»;

Одним из языков представления знаний для систем с нечётким выводом является Fuzzy Control Language (FCL). БЗ на языке FCL представляет текстовый файл

определённой структуры, в котором содержатся переменные, их значения и правила [5]. Для составления БЗ и отладки ЭС использовано программное обеспечение FuzzyTech – оболочка ЭС, которую необходимо дополнить базой знаний. После создания БЗ и её заполнения, проект ЭС представляется в виде графических блоков, показанных на рисунке 1.

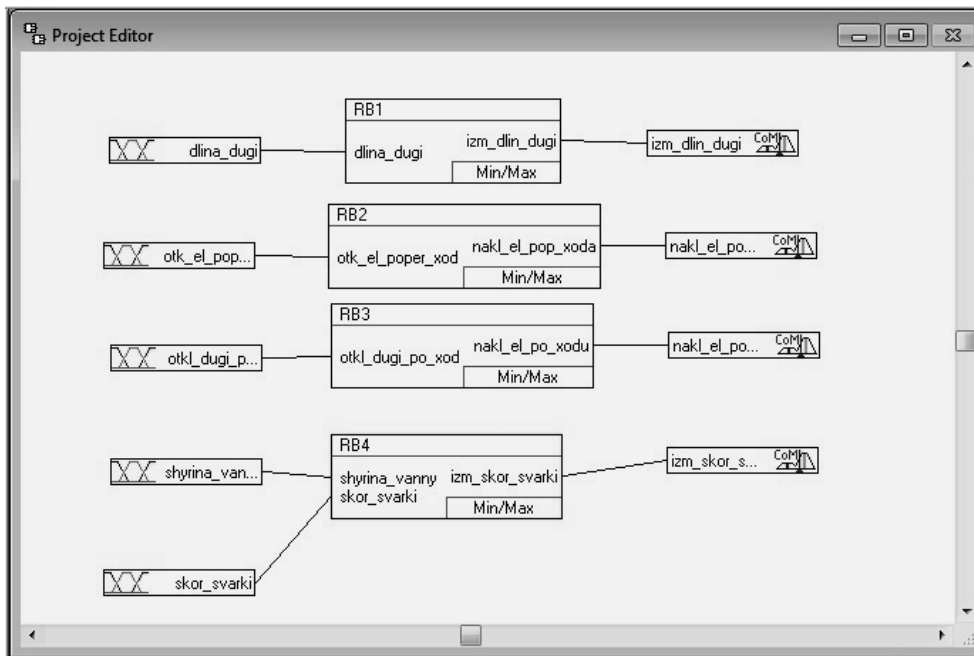


Рис. 1. Преставление ЭС в FuzzyTech

Редактор проекта используется для визуализации общей структуры и быстрого доступа к различным инструментам редактирования свойств систем нечеткого вывода в графическом режиме. Двойной щелчок на изображении того или иного блока позволяет открыть окно редактирования свойств соответствующего компонента системы нечеткого вывода. Редактор функций принадлежности нечётких значений показан на рисунке 2.

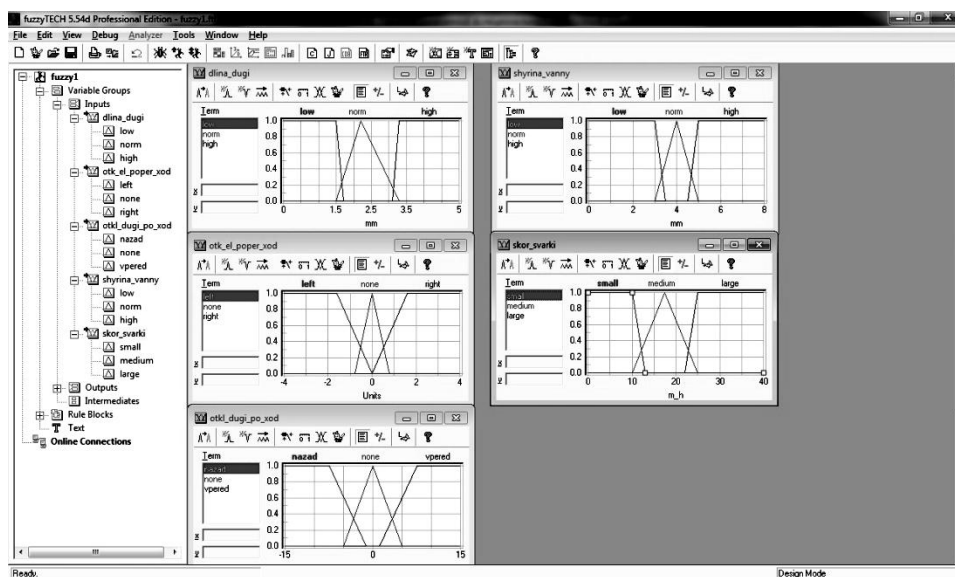


Рис. 2. Редактор функций принадлежности

Далее вводим правила вывода в ветви «Rule Blocks» дерева объектов проекта. После этого ЭС готова к работе. Для того чтобы проверить работоспособность построенной модели необходимо запустить режим интерактивной отладки («Interactive Debug Mode»). В этом режиме можно вручную задавать значения входных переменных и наблюдать выход ЭС. Форма ввода значений переменных показана на рисунке 3.

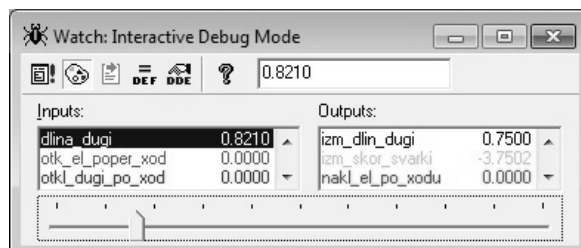


Рис. 3. Ввод значений переменных

С помощью интерактивного режима были уточнены параметры функций принадлежности нечётких значений переменных. После этого разработанная ЭС была интегрирована в тренажёр для обучения сварщиков РДС. Так как его программное обеспечение реализовано в среде разработки Visual Studio на языке C++, то необходима реализация ЭС в этой же системе. Для этого использована свободная библиотека Free Fuzzy Logic Library (FFLL). Файл на языке FCL, который может использовать данная библиотека, можно получить экспортом данных из оболочки ЭС FuzzyTech. В файле FCL содержатся также параметры нечёткого логического вывода, которые использованы в FuzzyTech. Они принимаются в FFLL при поиске решения, поэтому результаты в обоих случаях совпадают.

Результаты нечёткого логического вывода, исходными данными для которого являются наблюдаемые характеристики сварочного процесса в тренажёре, используются для экранных подсказок, показанных на рисунке 4.

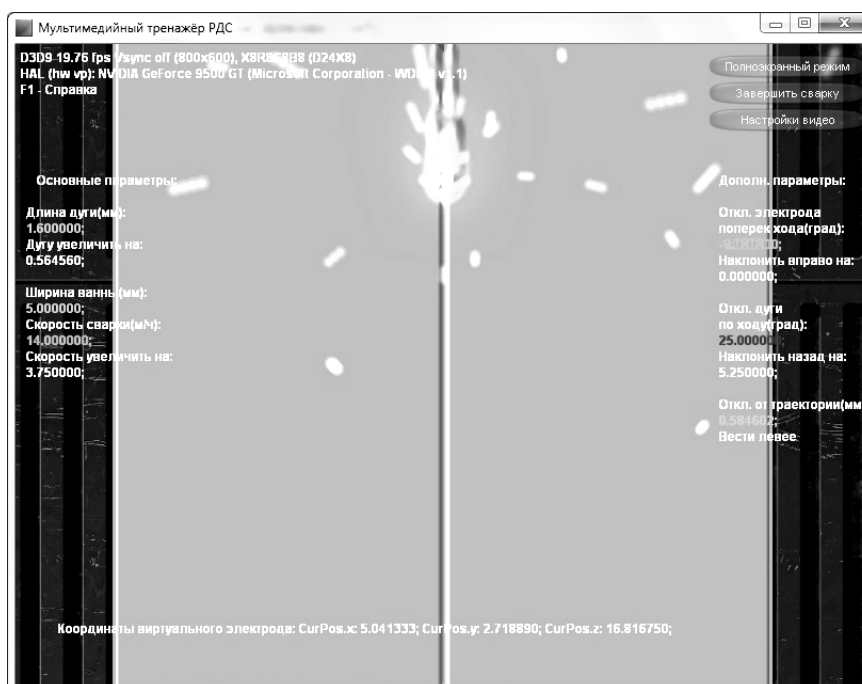


Рис. 4. Экранные подсказки обучаемому сварщику

Также для упрощения восприятия недопустимые значения окрашиваются красным цветом; допустимые, но не оптимальные – жёлтым; оптимальные – зелёным.

Разработанная экспертная система позволяет в реальном времени информировать сварщика и вырабатывать рекомендации об основных параметрах манипулирования электродом. Это уменьшает затраты и повышает эффективность процесса обучения сварщиков РДС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сас, А.В. Методы, методика и электронные тренажеры подготовки и аттестации сварщиков [Текст] / А.В. Сас // Состояние и основные направления развития неразрушающего контроля сварных соединений объектов транспорта газа: материалы отраслевого совещ. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2006. – С. 225-232.
2. Сас, А.В. и др. Мультимедийный тренажер для ручной дуговой сварки [Текст] / А.В. Сас, В.В. Кривин, И.О. Ишигов, В.А. Толстов // Сварочное производство. – 2010. – №5. – С. 57–59.
3. Гаврилова, Т.А. и др. Базы знаний интеллектуальных систем [Текст] / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
4. Тудвасев, В.А. Ручная дуговая сварка. Техника и приёмы сварки [Текст] / В.А. Тудвасев. Практическое пособие для сварщиков. Книга 2. – Ростов н/Д: Росиздат, 2012. – 216 с.
5. IEC 1131 – PROGRAMMABLE CONTROLLERS: Part 7 – Fuzzy Control Programming: Committee Draft CD 1.0 (Rel. 19 Jan 97).

### The Monitoring Expert System the of Training Welder Action

V.V. Krivin, I.O. Ishigov, V.A. Tolstov

*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*

**Summary** – The article describes the construction of expert system that monitors the action of training welder using the computer simulator. The aim of monitoring is the detection of decreasing welding process stability and correction of welder action.

**Keywords:** manual arc welding, motion skills, training system, knowledge-based system.



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

УДК 621.791+533.95

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДУГОВОГО РАЗРЯДА  
С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ПИТАНИЯ**

© 2014 г. С.М. Бурдаков, В.М. Козловцев

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

В статье проведен анализ экспериментальных данных, полученных при исследовании комбинированной системы питания дугового разряда постоянного тока. Рассмотрено влияние дополнительной компоненты питания повышенной частоты на устойчивость горения дугового разряда при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Для оценки устойчивости был выбран метод исследования по разрывной длине дуги и статистический метод, с использованием коэффициентов вариации сварочного тока, и напряжения.

*Ключевые слова:* устойчивость горения дугового разряда, параметры дугового разряда, монтаж оборудования, атомные электрические станции, комбинированная система питания.

Поступила в редакцию 25.05.2014 г.

Одним из основных технологических факторов, влияющих на качество сварочных швов является устойчивость горения дугового разряда.

Известно, что качество металла сварного шва во многом определяется стабильностью и степенью завершенности гидродинамических и металлургических процессов. Главным источником нестабильности гидродинамических процессов является изменение силового воздействия дуги на сварочную ванну под действием внешних факторов в монтажных условиях. Особенно это может проявиться при монтаже оборудования энергетических блоков атомных электрических станций.

Решение этой проблемы возможно за счет управляемого электрического импульсного воздействия повышенной частоты на дуговой разряд от специализированного маломощного преобразователя.

Следует отметить, что процессы, протекающие в таком дуговом разряде, изучены мало. Поэтому целью данной работы является исследование параметров дугового разряда с комбинированной системой питания.

Это позволит расширить существующие технологические возможности дугового разряда, характерного для ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Применение дополнительной компоненты питания повышенной частоты ( $f=20\text{кГц}$ ) для дугового разряда постоянного тока повышает его устойчивость в 1,7-1,9 раза [1].

В настоящее время имеется определенный опыт разработки автоматизированных измерительных систем для использования в задачах диагностики плазменно-дуговых процессов [2]. Появление мощных персональных компьютеров, использующих современные мультимедийные технологии и быстродействующих многоканальных аналого-цифровых преобразователей (Е-330, частота опроса датчиков 500 кГц) позволило проводить измерения тока и напряжения в сварочном контуре с высокой точностью.

На основе этих средств была сконструирована информационно-измерительная система, позволяющая производить не только съём, но и математическую обработку сигналов тока и напряжения, а также формировать базы данных экспериментов.

Для оценки устойчивости были выбраны следующие параметры: разрывная длина дуги  $I_p$  [3], коэффициенты вариации сварочного тока  $KV_{св}$ , напряжения  $KV_{уд}$  формулы (1), (2). Система также позволяет получить и ряд других параметров сварочного контура, например, таких как скорость изменения сварочного тока и напряжения  $dI_{св}/dt$ ,  $dU_{д}/dt$ .

$$KV = \frac{\sigma}{M} \cdot 100\% \tag{1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{n-1}} \tag{2}$$

где  $x_i$  – значение параметра в  $i$ -й момент времени;  
 $M$  – среднее значение ряда исследуемых параметров;  
 $n$  – число измерений.

В соответствии с разработанной методикой эксперименты выполняли на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 1. Сравнивали параметры горения дуги с наложением импульсного напряжения повышенной частоты и без него.

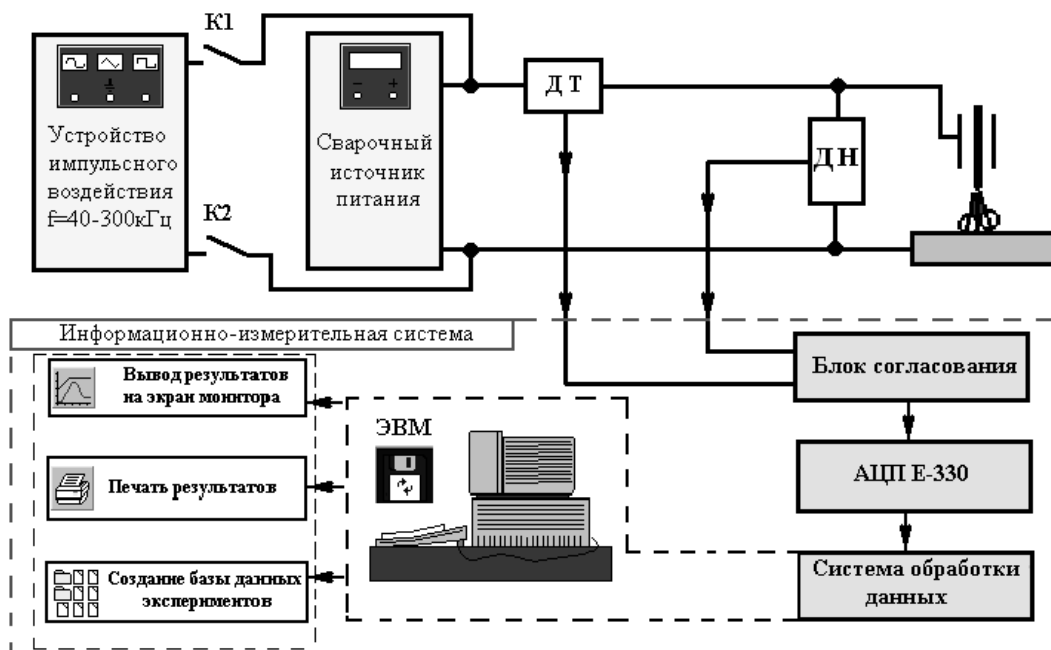


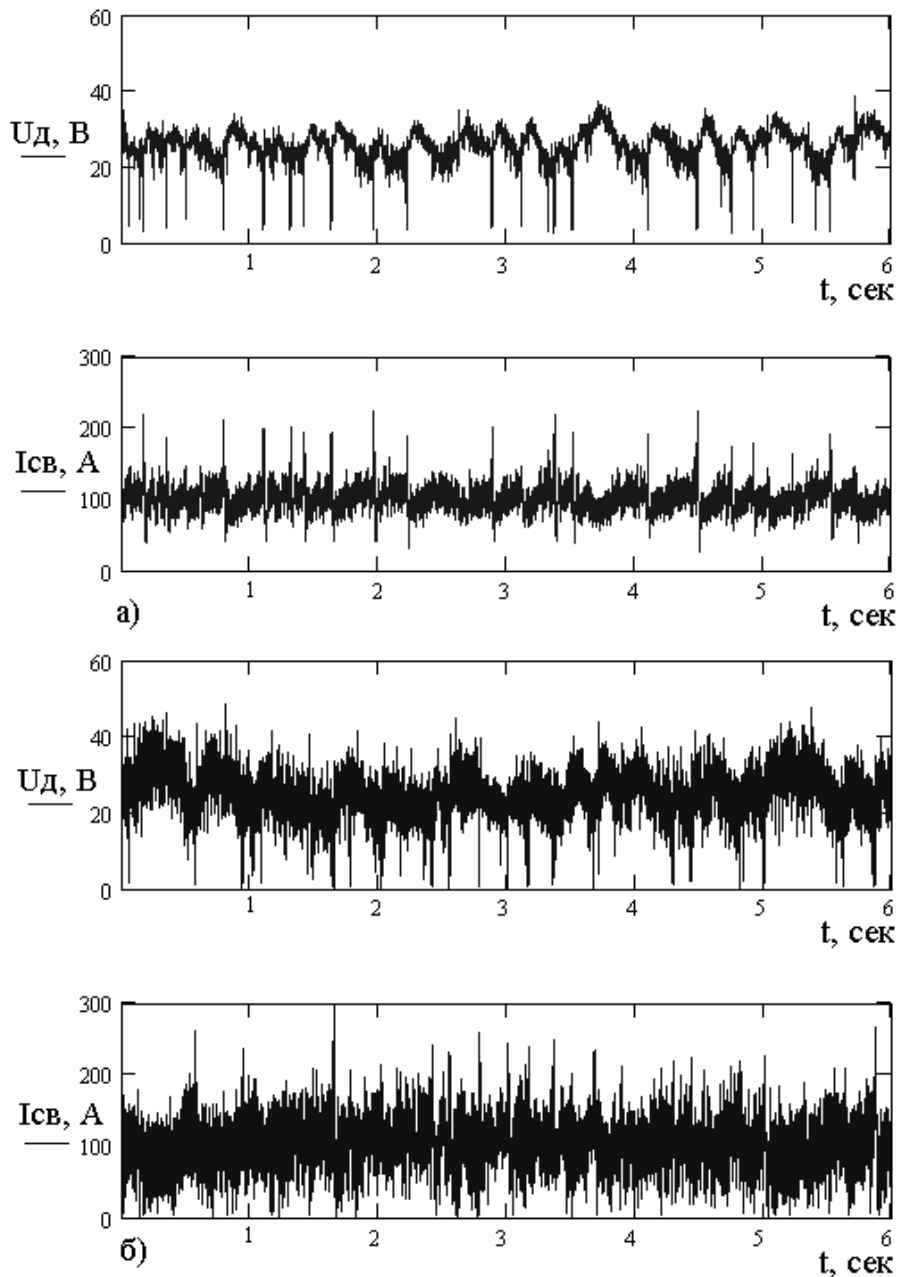
Рис. 1. Информационно-измерительная система. ДТ – датчик тока, ДН – датчик напряжения

Исследовали дуговой разряд в режиме  $I_{д}=120$  А,  $U_{д}=26$ В с наложением ( $f=40, 100, 200, 300$  кГц) и без наложения дополнительной компоненты питания, использовался электрод УОНИИ 13/55  $d=3$ мм. Наложение на дуговой разряд электрического импульсного воздействия повышенной частоты производилось от специализированного преобразователя мощностью 500 Вт с напряжением холостого хода 80В подключенного параллельно к основному источнику.

Дугу зажигали между электродом УОНИИ 13/55  $d=3\text{мм}$  и стальной пластиной из стали ВСтЗпс5 контактным способом в нижнем положении сварочной ванны с помощью механического устройства [1]. Устройство позволяет производить зажигание дугового разряда по сигналу исследователя, горение происходит без его участия до полного затухания дуги. После чего проводится измерение разрывной длины дуги  $l_p$ . Погрешность измерения в данном случае будет составлять не более 10% для разрывной длины дуги  $l_p=34\text{мм}$ .

Сигналы, снимаемые, с датчиков тока и напряжения поступали в откалиброванную информационно-измерительную систему на основе АЦП E-330 L-Card и персонального компьютера. Погрешность результатов измерений составляла 1,3%.

Осциллограммы сварочного тока и напряжения на дуге приведены на рисунке 2.



**Рис. 2.** Осциллограммы сварочного тока и напряжения на дуге: а)  $I_{св}=120\text{А}$ ; б)  $I_{св}=120\text{А}$  с наложением на дугу высокочастотного квазигармонического сигнала по напряжению частотой 40кГц

На последнем рисунке, можно отчетливо различить наложенные импульсы высокочастотной компоненты питания.

Осциллограммы позволяют провести сравнительный анализ параметров сварочного тока и напряжения на дуге. Качественное осциллографирование энергетических характеристик дуги, имеющих быстропеременное изменение в диапазоне частот 200-300кГц, затруднено из-за ограничений, накладываемых измерительной системой.

На основе обработки осциллограмм сварочного тока  $I_{св}$  и напряжения на столбе дуги  $U_{д}$  были получены коэффициенты вариации этих величин:  $KVI_{св}$ ,  $KVU_{д}$ .

Результаты экспериментов по исследованию разрывной длины дуги  $l_p$  и коэффициентов вариации сварочного тока  $KVI_{св}$ , напряжения  $KVU_{д}$  приведены в таблице 1. При измерении параметра  $l_p$  бралось его среднее значение от десяти опытов по его измерению.

Увеличение разрывной длины дуги, связано с особенностями процессов, протекающих в дуговом разряде [4].

Чем больше  $l_p$ , тем устойчивее дуговой разряд. При устойчивом горении дугового разряда  $KVI_{св}$ ,  $KVU_{д}$  должны быть минимальны.

Полученные параметры дугового разряда с комбинированной системой питания свидетельствует об увеличении его устойчивости по сравнению с рекомендуемыми режимами сварки.

**Таблица 1.** – Коэффициенты вариации сварочного тока и напряжения

№ п./п.	Параметры сварочного процесса			$l_p$ , мм	$KVI_{св}$	$KVU_{д}$
	$I_{св}$ , А	$U_{д}$ , В	$f$ , кГц			
1	120	24	-	12	15,94	15,55
2	120	26	40	32	15,6	14,6
3	120	27	100	32	15,5	14,4
4	120	28	200	34	-	-
5	120	30	300	34	-	-

Проведенные экспериментальные исследования и положительные результаты опытного опробования разработанной системы питания дугового разряда позволяют рекомендовать ее для применения при монтаже ответственных металлических конструкций.

## ВЫВОДЫ

1) Подключение к сварочному источнику питания вспомогательного устройства, обеспечивающего наложение на дугу высокочастотного квазигармонического сигнала по напряжению ( $f=40-300$ кГц), позволяет в 2,5 – 2,8 раза повысить устойчивость горения дуги при оценке по разрывной длине дуги.

2) Наиболее перспективным путем повышения устойчивости дугового разряда при ручной дуговой сварке покрытыми электродами является импульсное, воздействие на сварочный контур с частотой до 300кГц.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов, А.В. и др. Повышение устойчивости горения дуги при сварке покрытыми электродами [Текст] / А.В. Чернов, Ю.В. Полетаев, З.О. Кавришвили, С.М. Бурдаков // Сварочное производство. – 2000. – № 2. – С. 7–9.
2. Куликовский, К.Л. и др. Методы и средства измерений [Текст] / К.Л. Куликовский, В.Я. Купер. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 447 с.
3. Букаров, В.А., и др. Оценка стабильности дуговой сварки по осциллограммам процесса с использованием статистических методов [Текст] / В.А. Букаров, С.С. Ермаков, Т.А. Дорина // Сварочное производство. – 1990. – №12. – С. 30–32.
4. Бурдаков, С.М., и др. Физическая модель электрического дугового разряда с наложением высокочастотного напряжения [Текст] / С.М. Бурдаков, А.В. Чернов, Ю.В. Полетаев, С.В. Полежаев // Сварочное производство. – 2001. – № 11.– С. 13–16.

## The Arc Category Parameters Research with Combined Power Supply System

S.M. Burdakov\*, V.M. Kozlovstev\*\*

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

**Abstract** – In the article the analysis of the experimental data obtained at research of the combined power supply system of the arc category of a direct current is carried out. Influence additional components of food of the increased frequency on stability of burning of the arc category are considered at manual arc welding by the covered electrodes. For an assessment of stability methods of research on the explosive length of an arch and a statistical method were chosen, with use of coefficients of a variation of welding current, and tension.

**Keywords:** stability of burning of the arc category, parameters of the arc category, installation of equipment, the nuclear power plants, the combined power supply system.

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

УДК 621.039.517.6

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА  
В ТВС РЕАКТОРА ВВЭР-СКД**

© 2014 г. Д.С. Грузинцев, А.С. Шелегов

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Обнинск, Калужская обл.*

В статье представлены результаты численного моделирования теплообмена в ТВС реактора на сверхкритических параметрах теплоносителя. Расчет проводился с целью верификации расчетного кода ANSYS CFX. Верификация кода проводилась с использованием эмпирических зависимостей для критерия Нуссельта. В результате расчета были получены поля температур и скоростей теплоносителя. Результаты расчета в целом согласуются с экспериментальными данными.

*Ключевые слова:* сверхкритические параметры, теплоноситель, тепловыделяющая сборка, теплообмен, расчетный код.

Поступила в редакцию 02.06.2014 г.

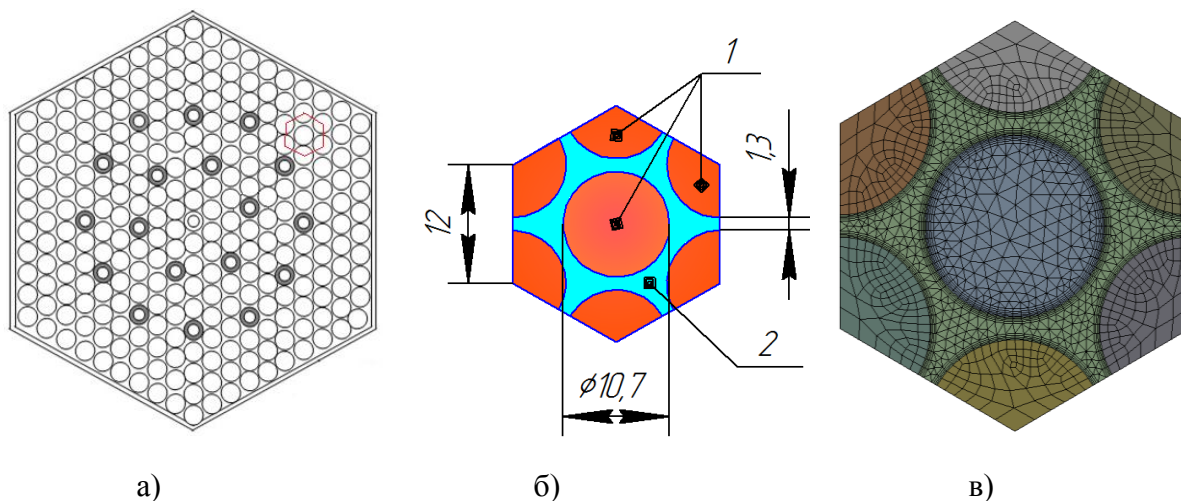
В стратегическом документе Минатома России «Облик атомной науки в XXI веке» реакторные установки на закритических параметрах отнесены к перспективным. Их основное назначение – усовершенствование действующих водоохлаждаемых реакторов на тепловых нейтронах со сравнительно низким КПД. Эту задачу должен решать ВВЭР-СКД, КПД энергоблока с которым может достигать 40 - 45% [1]. ОКБ «Гидропресс» предлагает несколько концептуальных проектов реактора ВВЭР-СКД с различным спектром нейтронов и схемами циркуляции теплоносителя [2]. Каждый проект реактора обладает своими преимуществами и своими недостатками, которые необходимо устранить путем проведения комплекса расчетно-экспериментальных работ.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ТВС РЕАКТОРА ВВЭР-СКД**

Численное моделирование теплообмена при сверхкритических параметрах теплоносителя проводилось для тепловыделяющей сборки реактора ВВЭР-СКД, конструкция которой предложена ОКБ «Гидропресс» [2]. Поперечное сечение ТВС данной конструкции представлено на рисунке 1а. Тепловыделяющие элементы с наружным диаметром  $d_{нар}=10,7$  мм расположены в ТВС треугольной упаковки (шахматное расположение) с шагом 12 мм.

Для численного моделирования теплообмена ТВС реактора ВВЭР-СКД была выбрана расчетная область тепловыделяющей сборки, состоящая из 6 регулярных элементарных ячеек, образованных семью ТВЭЛами. Расчетная область представлена на рисунке 1б.

По известным геометрическим размерам для проведения расчетов была разработана твердотельная расчетная модель выбранной области ТВС. Разработка модели проводилась при помощи Design Modeler, входящего в состав программного комплекса ANSYS Workbench. Расчетная сетка, сгенерированная в приложении CFX-Mesh, для модели представлена на рисунке 1в.



**Рис. 1.** Геометрия ТВС реактора ВВЭР-СКД:  
а) поперечное сечение; б) расчетная область; в) расчетная сетка

Сетка является частично структурируемой. Детализация сетки проводилась путем ее сгущения в области течений теплоносителя на границе с поверхностью ТВЭЛов. Сгущение проводилось по гиперболическому закону. Для центрального ТВЭЛа также проводилось сгущение сетки на границе стенка-жидкость. Количество элементов сетки составило порядка 12 млн. штук.

Ввиду неопределенности значений расхода по ТВС активной зоны, по элементарным ячейкам ТВС на входе задавалось среднее значение скорости теплоносителя  $W = 0,78$  м/с ( $\rho W = 606,06$  кг/м<sup>2</sup>·с), рассчитанное по техническим характеристикам реактора ВВЭР-СКД. Температура на входе  $t_{вх} = 280$  °С, давление  $P_{ref} = 25$  МПа, энерговыделение  $q_v$  соответствует реакторному и задавалось для двух вариантов:

- средне нагруженной  $q_v = 1,07 \cdot 10^8$  Вт/м<sup>3</sup>;
- максимально нагруженной  $q_v = 1,39 \cdot 10^8$  Вт/м<sup>3</sup>.

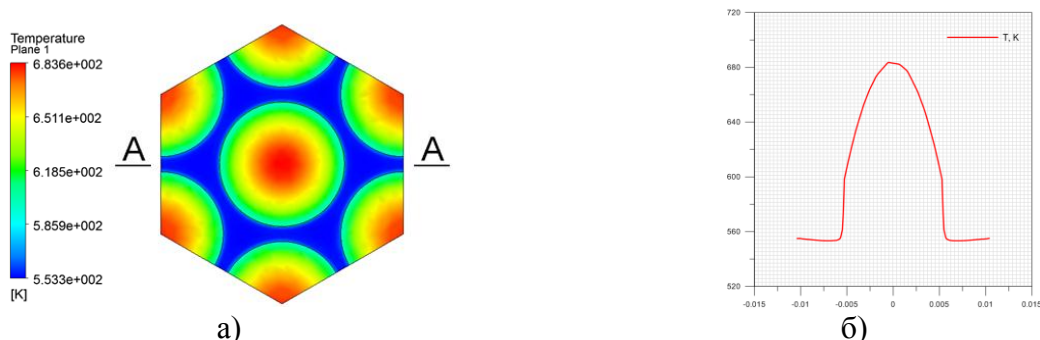
Длина энерговыделения составляет 4050 мм.

С целью экономии вычислительных ресурсов, оболочка тепловыделяющих элементов, ввиду ее тонкостенности, была исключена из расчетной модели, но учитывалась программно, путем задания в ТВЭЛах на границе стенка-жидкость термического сопротивления, а именно задавалась толщина оболочки  $\delta = 0,55$  мм и ее теплопроводность  $\lambda = 16,5$  Вт/м·К [2]. Теплофизические свойства воды рассчитывались с использованием стандартной библиотеки ANSYS-CFX (IAPWS IF97). Теплофизические свойства топлива задавались постоянными, соответствующими UO<sub>2</sub>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА И ИХ АНАЛИЗ

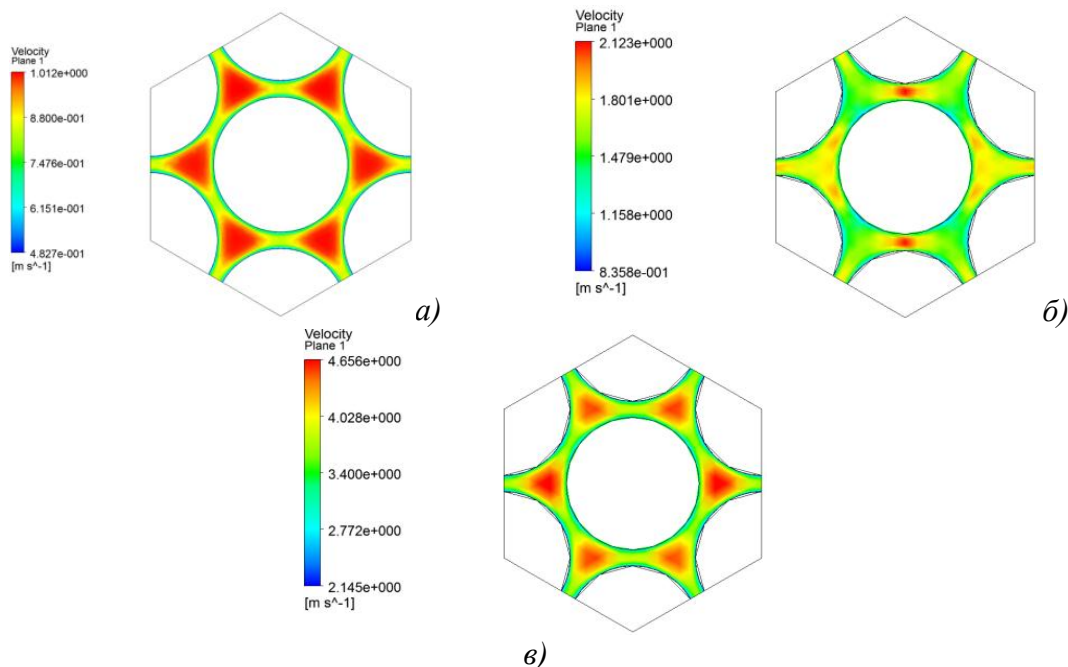
Расчеты проводились при вариации энерговыделения с использованием двух моделей турбулентности  $k-\epsilon$  и  $k-\Omega$ . В результате расчета были получены распределение температуры; поле температур; поле скоростей теплоносителя.

На рисунке 2а показано распределение температур в поперечном сечении участка на высоте 0,03 м. Максимальное значение температуры выявлено в центре ТВЭЛов и составляет для данного сечения 410 °С. Температура стенки – 364 °С. Градиент температур в ТВЭЛе равен 10°С/мм. Такой большой градиент температур в топливе объясняется чрезвычайно низкой теплопроводностью керамики UO<sub>2</sub> ( $\lambda = 8,68$  Вт/м·К). Градиент температур по радиусу ТВЭЛа представлен на рисунке 2б.



**Рис. 2.** Распределение температур в поперечном сечении ( $q_v = 1,07 \cdot 10^8$  Вт/м<sup>3</sup>) участка на высоте 0,03 м: а) поле температур; б) градиент температур в сечении А-А

На рисунке 3 представлено распределение скоростей в трех характерных участках. На рисунке 3а представлено распределение скоростей на участке 0,5 м. Данный участок характеризуется не сильно изменяющимися свойствами теплоносителя. Профиль скорости имеет классическую форму скорости. Максимум скорости наблюдается в центре элементарной ячейки и составляет 1 м/с. Во второй зоне (рис. 3б) происходит перераспределение профиля скорости ввиду сильно изменяющихся свойств теплоносителя: вязкость, плотность. При формировании профиля скорости на данном участке большое значение имеют архимедовы силы, возникающие ввиду больших градиентов плотностей по сечению элементарной ячейки. Можно отметить, что максимум скорости находится в узком сечении ячейки. Уменьшение градиентов плотности и вязкости приводит профиль скорости к классическому виду с максимумом скорости в центре элементарной ячейки (см рис. 3в). Скорость теплоносителя от сечения к сечению увеличивается, что связано с уменьшением плотности теплоносителя.



**Рис. 3.** Распределение скоростей теплоносителя: а) 0,5 м; б) 1,48 м; в) 3 м

### ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНОГО КОДА ANSYS-CFX

Верификация расчетного кода ANSYS-CFX проводилась с использованием экспериментальных данных. Использовались следующие эмпирические зависимости [3]:



- Бишопа:  $Nu = 6,9 \cdot 10^{-3} \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,66} \cdot \left(\frac{\rho_w}{\rho_f}\right)^{0,43}$ ;
- Дидякин-Попова:  $Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,7} \cdot \left(\frac{\rho_w}{\rho_f}\right)^{0,43} \cdot \left(\frac{\mu_f}{\mu_{вх}}\right)^{0,43} \cdot \left(\frac{\rho_f}{\rho_{вх}}\right)^{0,43}$ ;
- ФЭИ:  $Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,75} \cdot \left(\frac{\mu_w}{\mu_f}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{\rho_w}{\rho_f}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{C_{p_w}}{C_{p_f}}\right)^{0,43}$ .

Ввиду того, что имеет место теплообмен с сильно изменяющимися теплофизическими свойствами теплоносителя, необходимо для расчета теплоотдачи учитывать неизетермичность потока теплоносителя. Неизетермичность учитывается введением соответствующих поправок на изменение теплофизических свойств теплоносителя:

$$\rho_w/\rho_f, C_{p_w}/C_{p_f}, \mu_w/\mu_f$$

где  $\rho_w; C_{p_w}; \mu_w$  – плотность, теплоемкость, вязкость теплоносителя по температуре стенки;  
 $\rho_f; C_{p_f}; \mu_f$  – плотность, теплоемкость, вязкость теплоносителя в потоке.

При нахождении температуры стенки учитывалось падение давления по длине [4] и изменение теплофизических свойств воды [5].

Верификация кода ANSYS-CFX проводилась по температуре стенки тепловыделяющего элемента. На рисунке 4 представлены распределения температуры стенки по длине в широком зазоре элементарной ячейки.

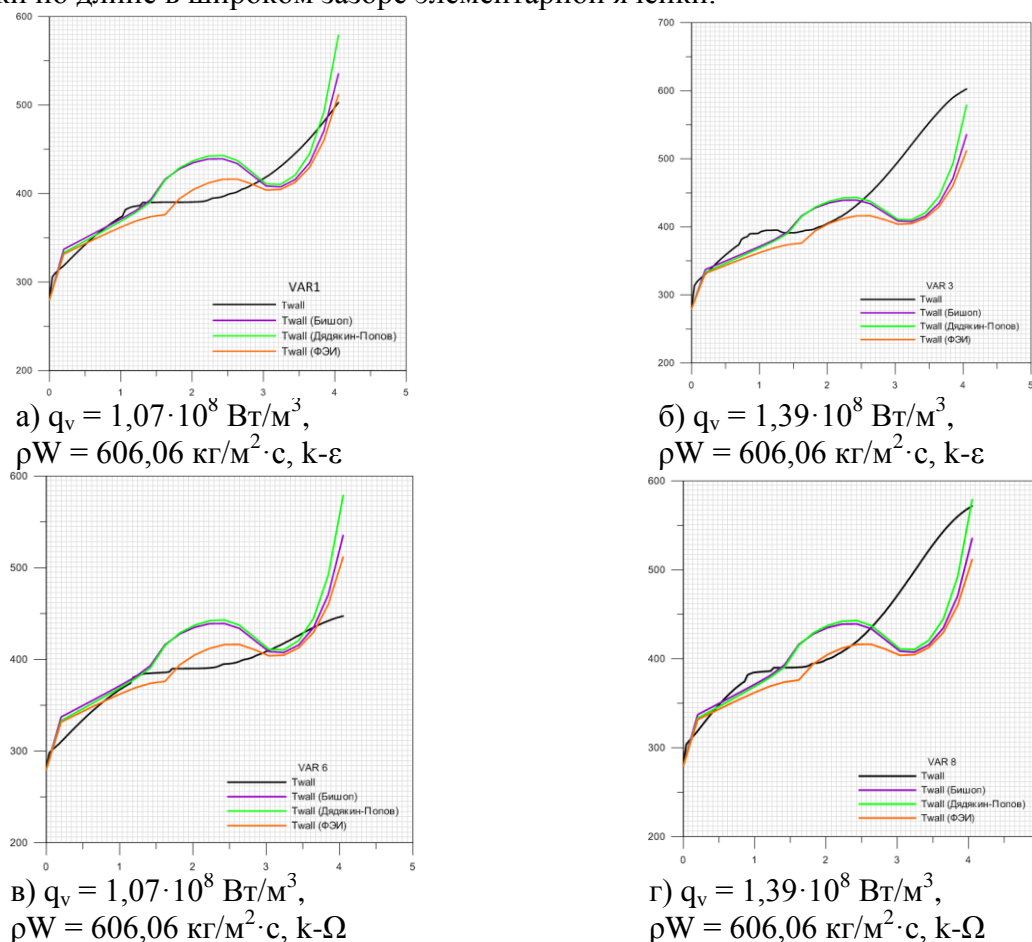


Рис. 4. Распределения температуры стенки по длине

Хорошее совпадение результатов расчета по коду ANSYS-CFX и экспериментальных данных наблюдается в первой зоне, которая характеризуется малым изменением свойств теплоносителя.

Различия результатов расчета и экспериментальных данных на втором и третьем участках, по всей видимости, связано с крупной расчетной сеткой. Для детального описания процессов тепломассообмена в этой области необходимо использовать более мелкую сетку.

С учетом погрешности в экспериментах, которая составляет  $\pm 20-25\%$  по определению критериев Нуссельта, результаты расчета являются вполне приемлемыми. В ходе анализа результатов расчета выявлена сеточная зависимость решения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана расчетная модель, которая состоит из 6 регулярных элементарных ячеек, образованных семью ТВЭЛами. Модель разработана на основе тепловыделяющей сборки реактора ВВЭР-СКД, конструкция которой предложена ОКБ «Гидропресс». Длина энерговыделения составляет 4050 мм, относительный шаг решетки  $S/d = 1,12$ . Расчет проводился для различных режимов при вариации энерговыделения и с использованием двух моделей турбулентности  $k-\epsilon$  и  $k-\Omega$ .

В результате расчета были получены распределение температур в ТВС и поле скоростей теплоносителя. Было проведено сравнение значений температуры оболочки тепловыделяющего элемента, рассчитанной в программе ANSYS-CFX, с температурой оболочки, рассчитанной по эмпирическим зависимостям. В ходе анализа результатов расчета выявлена сеточная зависимость решения. С учетом погрешности в экспериментах, которая составляет  $\pm 20-25\%$  по определению критериев Нуссельта, результаты расчета являются вполне приемлемыми.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов, П.Л. Сверхкритические параметры – будущее реакторов с водяным теплоносителем и АЭС [Текст] / П.Л. Кириллов // Атомная техника за рубежом. – 2001. – №6.
2. Васильченко, И.Н. и др. Концепция активной зоны ВВЭР-СКД; выбор конструкционных материалов и конструкция ТВС. Годовой отчет «Об основных научно-технических работах ОКБ «Гидропресс» за 2007 год» [Текст] / И.Н. Васильченко, С.Н. Кобелев, В.М. Махин и др. // Научно-технический и рекламный сборник №8. – Подольск, 2008.
3. Grahm Richards, Igor Pioro, Glenn Harvel, Alexsei Shelegov, Pavel Kirillov. Temperature Profiles of a Vertical, 7-Element Bundle Cooled with Supercritical Freon-12 // Journal of Energy and Power Engineering. – 2013. – №2. – Volume 7.
4. Кириллов, П.Л. и др. Справочник по теплогидравлическим расчетам [Текст] / П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Ривкин, С.Л. и др. Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – М., 1975.

## Numerical Simulation of Heat Transfer Characteristics of SCWR Fuel Assembly

D.S. Grusintsev\*, A.S. Shelegov\*\*

*Obninsk Institute of nuclear power engineering the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
1 Studgorodok, Obninsk, Kaluzhskaya region, Russia 249040  
\* e-mail: gruzintsev.d@gmail.com ; \*\* e-mail: a\_shelegov@mail.ru*

**Abstract** – The article is devoted to the results of numerical simulation of heat transfer characteristics of a fuel assembly cooled by a water of super critical parameters. It also corresponds about the calculation done for verification of ANSYS CFX code. The authors tell about the verification carried out with the use of empirical correlations for Nusselt criterion. The flow velocity field and temperature distribution are obtained. The results of a simulation in a whole are in agreement with experimental data.

**Keywords:** supercritical parameters, coolant, fuel assembly, heat transfer, numerical simulation code.

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

УДК: 531.73

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ  
В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ**

© 2014 г. Г.М. Садчикова

*Балаковский институт техники, технологии и управления  
(филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.  
Саратовская область, г. Балаково*

Рассмотрена возможность использования эффекта поляризации для разработки гидроэлектрического поляризационного преобразователя расхода жидкостей в открытых каналах, а так же результаты экспериментальных исследований.

*Ключевые слова:* ток поляризации, уравнение полного тока, измерение расхода, открытые каналы, математическая модель, статическая характеристика.

Поступила в редакцию 20.05.2014 г.

Атомные станции являются крупными пользователями водных ресурсов, поэтому вопросы водопотребления и водоотведения занимают важное место в природоохранной деятельности. Практически вся забранная из водных объектов вода (около 99 %) на АЭС используется на производственные нужды (охлаждение технологических сред в конденсаторах турбин и теплообменном оборудовании) и возвращается в водные объекты. При этом возникает необходимость измерения расхода жидкости, в том числе и в открытых (безнапорных) каналах. Несмотря на имеющееся разнообразие преобразователей расхода (ПР) [1], задача разработки новых преобразователей, отвечающих современным требованиям, по-прежнему актуальна.

Принцип действия разработанных гидроэлектрических поляризационных преобразователей расхода основан на зависимости величины тока поляризации, возникающего в измеряемой среде под воздействием электромагнитного поля, от скорости прохождения среды через измерительное устройство [2]. При движении диэлектрика в электростатическом поле следует учитывать взаимодействие электростатического и гидродинамического полей.

Характерным для любого диэлектрика процессом, возникающим при воздействии на него электрического напряжения, является поляризация. Сущность дипольной поляризации сводится к повороту в направлении электрического поля молекул полярного диэлектрика. В полярных диэлектриках даже при отсутствии электрического поля молекула представляет собой электрический диполь с отличным от нуля электрическим моментом  $\mu$ . Молекула воды имеет вид равнобедренного треугольника, и поэтому вода имеет резко выраженные полярные свойства. Для воды  $\mu = 6,1 \cdot 10^{-30}$  Кл·м, время дипольной поляризации  $\tau$  составляет примерно  $10^{-11}$  с при радиусе молекулы  $r \approx 2 \cdot 10^{-10}$  м и динамической вязкости молекулы  $\eta \approx 1$  мПа·с (при нормальной температуре) [3].

Теоретической базой при исследовании явлений, происходящих в ГЭППР, служат фундаментальные системы уравнений гидродинамики и электротехники, которые в совокупности образуют систему уравнений электрогидродинамики [4]. С практической точки зрения наибольший интерес представляет уравнение полного тока:

$$\bar{J} = \rho_e b \bar{E} + \rho_e \bar{V} - D_g \bar{\nabla} \rho_e + \bar{\nabla}(\bar{P} \times \bar{V}) + \frac{\partial \bar{B}}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $\rho_e b \bar{E}$  – ток проводимости, обусловленный естественной проводимостью жидкого диэлектрика;

$\rho_e \bar{V}$  – конвективная составляющая;

$D_g \bar{\nabla} \rho_e$  – плотность тока диффузии;

$\bar{\nabla}(\bar{P} \times \bar{V})$  – плотность тока поляризации;

$\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$  – ток смещения.

Уравнение полного тока (1) отражает зависимость вектора плотности полного тока  $\bar{j}$ ,  $A/m^2$  от таких величин как:  $\bar{V}$  – скорость течения жидкости, м/с;  $\rho_e$  – объемная плотность свободного электрического заряда, Кл/м<sup>3</sup>;  $b_{ion}$  – коэффициент подвижности ионов в жидкости, м<sup>2</sup>/(В·с);  $\rho_g$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с;  $\bar{E}$  – вектор напряженности электростатического поля, В/м;  $\bar{P}$  – вектор поляризации среды, Кл/м<sup>2</sup>;  $D_g$  – коэффициент диффузии ионов в жидкости, м<sup>2</sup>/с;  $\bar{B}$  – вектор электрического смещения, В/м.

Первой составляющей уравнения полного тока является ток проводимости. Следует учитывать, что проводимость жидких диэлектриков тесно связана со строением молекул жидкости. В нейтральных диэлектриках электропроводность зависит от наличия диссоциированных примесей, в том числе и влаги; в полярных жидкостях электропроводность определяется не только примесями, но и диссоциацией молекул самой жидкости. Полярные жидкости всегда имеют повышенную проводимость по сравнению с неполярными, причем возрастание диэлектрической проницаемости приводит к росту электропроводности.

К увеличению проводимости сильнополярных жидкостей приводит эмиссия электродов из катода под действием внешнего электрического поля. Под действием поля эмитируемые электроны движутся самостоятельно или образуют ионы с нейтральными молекулами, создавая электрический ток. Причем уже при напряженности поля  $E$  в межэлектродном промежутке (МЭП) выше  $10^6$  В/м возникает значительный электрический ток. Следовательно, можно сделать вывод, что в разрабатываемом ГЭППР для исключения вышеописанного явления напряженность поля между электродами поля не должна превышать  $10^6$  В/м. Кроме указанных выше причин естественной проводимости сильнополярных жидкостей следует учитывать еще и тот факт, что реальные диэлектрики имеют большое количество примесей, которые также приводят к увеличению проводимости сильнополярных жидких диэлектриков. Уменьшить ток проводимости можно либо за счет электрической изоляции электродов от измеряемой среды, либо за счет снижения напряженности электростатического поля в межэлектродном промежутке.

Расчеты показали, что при напряженности поля в межэлектродном промежутке  $E = 3 \cdot 10^4$  В/м, подвижности ионов  $b_{ion} = 5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/(В·с), ток проводимости для очищенной воды составляет  $5 \cdot 10^{-3}$  А, а для питьевой воды – 0.1 А. Следовательно, можно сделать вывод, что данной составляющей уравнения полного тока пренебрегать нельзя.

Вторая составляющая уравнения полного тока – конвективный ток  $\rho_e \bar{V}$ . Для того, чтобы минимизировать конвективную составляющую и ее влияние на работу ГЭППР, следует исключить возможность образования униполярного заряда в межэлектродном промежутке.

Исключить возможность образования униполярного заряда в МЭП можно двумя путями [5]:

1) Так как образование униполярного заряда возможно при напряженности электрического поля в МЭП  $E = 10^6$  В/м и выше [6], необходимо снизить напряженность до более низких величин.

2) Понижению напряженности поля, при которой начинается образование униполярного заряда, способствуют неровности и выступающие части на поверхности электродов. Следовательно, правильный выбор формы электродов и тщательная обработка их поверхности позволит устранить условия для образования униполярного заряда при напряженности поля в МЭП ГЭППР  $E \approx 10^4 - 10^5$  В/м.

Третья составляющая уравнения полного тока – ток диффузии  $D_g \bar{\nabla} \rho_e$ . Величина тока диффузии зависит от коэффициента диффузии  $D_g$  и градиента концентрации объемного заряда  $\bar{\nabla} \rho_e$ . Коэффициент диффузии можно определить из соотношения Эйнштейна [7].

$$D_g = \frac{b_{ion} RT}{F}, \quad (2)$$

где  $b_{ion}$  – подвижность ионов в воде,  $5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/(В·с);

$R$  – универсальная газовая постоянная, 8.314 Дж/К·моль;

$F$  – постоянная Фарадея, равна  $9.65 \cdot 10^4$  Кл/моль;

$T$  – абсолютная температура, К.

Следовательно, в рабочем диапазоне температур  $20^\circ \div 60^\circ\text{C}$ , коэффициент диффузии  $D_g = (1.22 \div 1.43) 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с. и током диффузии в нашем случае можно пренебречь.

Ток смещения  $\frac{\partial \bar{V}}{\partial t}$  принимаем равным нулю, так как поле в межэлектродном пространстве – электростатическое.

Таким образом, уравнение полного тока (1) для ГЭППР с плоскопараллельными электродами (рис. 1) можно записать следующим образом:

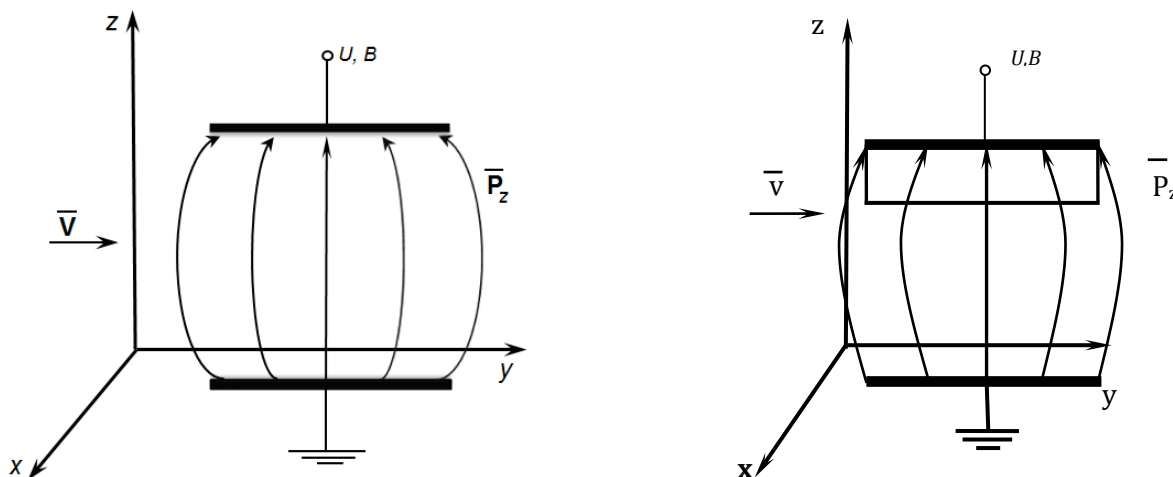
$$\bar{J} = \rho_e b \bar{E} + \bar{\nabla} (\bar{P} \times \bar{V}), \quad (3)$$

Первое слагаемое уравнения (3) – ток проводимости, величина которого не зависит от скорости движения жидкости в МЭП. Второе слагаемое – ток, обусловленный поляризацией диэлектрической жидкости, величина тока поляризации пропорциональна скорости, а, следовательно, и расходу жидкости в межэлектродном промежутке. Следовательно, можно сделать вывод, что возможно использование эффекта поляризации для измерения расхода жидкости, которая является сильнополярным диэлектриком.

Конструктивное уравнение для системы электродов, изображенной на рисунке 1, с учетом тока проводимости является математической моделью ГЭППР и имеет следующий вид:

$$J_z = P_z \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_y \frac{\partial P_z}{\partial y} + \rho_e b E_z, \quad (4)$$

где  $J_z$  – проекция вектора полного тока на ось z, А/м<sup>2</sup>;  
 $P_z$  – проекция вектора поляризации на ось z;  
 $V_y$  – проекция вектора скорости на ось y, м/с;  
 $\rho_e$  – объемная плотность заряда, А/м<sup>3</sup>;  
 $b_{ion}$  – коэффициент подвижности ионов в среде, м<sup>2</sup>/(В·с);



**Рис. 1.** Система электродов ГЭППР  
 а) плоскопараллельные электроды; б) электроды, расположенные под углом

Следует отметить, что особенностью работы ГЭППР в открытых каналах является постоянная скорость течения жидкости в МЭП. Поэтому составляющая  $\frac{\partial V_y}{\partial y}$  равна нулю. Исключая первое слагаемое из уравнения (4), получаем модельное уравнение, отображающее зависимость тока на выходе ГЭППР от расхода жидкости в МЭП.

$$J_z = V_y \frac{\partial P_z}{\partial y} + \rho_e b P_z. \quad (5)$$

С учетом (5), величина тока поляризации, пропорционального расходу жидкости, зависит при прочих равных условиях от составляющей  $\frac{\partial P_z}{\partial y}$ , то есть от расположения электродов.

Так как теоретически доказана возможность построения гидроэлектрического поляризационного преобразователя расхода жидкости в открытых каналах, далее на базе полного факторного эксперимента определили оптимальное конструктивное решение ГЭППР.

Разрабатываемый поляризационный преобразователь жидкости в открытых каналах состоит из двух электродов прямоугольной формы, выполненных из оргстекла, фольгированных с одной стороны. Один из электродов соединен с источником питания. Напряжение между электродами которого  $U=10\div 80$  В. Со второго электрода снимаются показания тока. Электроды помещаются в жидкость (глубина погружения 30 – 40 мм).

Поскольку выбор формы и взаимного расположения электродов является

определяющей задачей при разработке конструкции ГЭППР в открытых (безнапорных) каналах, то в процессе измерений электроды располагаются в различном положении (параллельно друг к другу (рис. 2, а), под углом (рис. 2, б)), при этом расстояние между ними изменяется, расход остается постоянным.

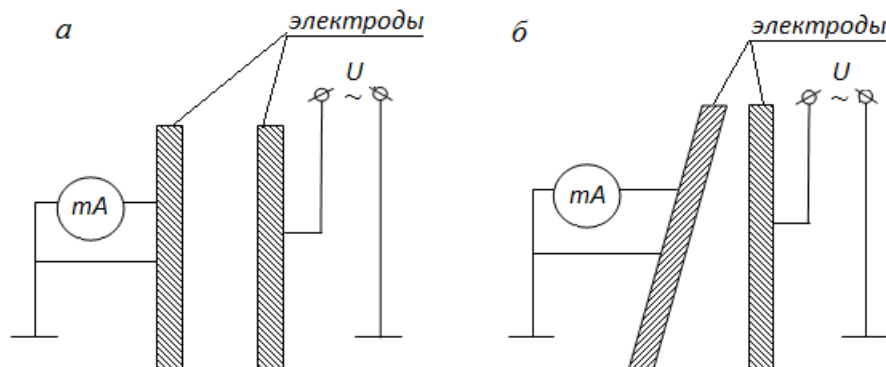


Рис. 2. а – Плоскопараллельные электроды; б – Электроды, расположенные под углом

Для построения математической модели преобразователя расхода (ПР) проведен полный факторный эксперимент [8], в котором в качестве факторов приняты следующие величины:  $x_1$  – напряжение питания, подаваемое на рабочий электрод, В;  $x_2$  – расстояние между электродами, см (для электродов, расположенных под углом, берем минимальное расстояние);  $x_3$  – угол между электродами.

Для исследуемого ГЭППР область определения факторов следующая:  $x_1 = 10 \div 80$  В;  $x_2 = 0,5 \div 12$  см;  $x_3 = 0^\circ \div 45^\circ$ .

Параметром оптимизации  $Y$  является крутизна статической характеристики, которая представляет собой отношение изменения полного тока  $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$  к изменению расхода воды  $\Delta Q = Q_{\max} - Q_0$ :

$$Y = \frac{\Delta I}{\Delta Q},$$

где  $I_{\max}$ , мА – ток, измеряемый при нулевом расходе воды  $Q_0 = 0$  см<sup>3</sup>/с;  
 $I_{\min}$ , мА – ток, измеряемый при расходе воды  $Q_{\max} = 41.7$  см<sup>3</sup>/с.

Определим коэффициенты линейной модели (функция отклика):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3,$$

Коэффициенты определим по следующей формуле:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_{ji}}{N},$$

где  $N$  – число опытов;

$x_{ij}$  – кодированные значения факторов «+» или «-» в матрице планирования эксперимента, соответствующие  $j$ -ому опыту ( $j=1, \dots, n$ ) для  $i$ -го фактора ( $i=0, 1, \dots, k$ );

$y_i$  – значение выходного параметра для  $i$ -го опыта или  $y_j$  – среднее значение отклика по повторным опытам.

Построенная по результатам экспериментальных исследований линейная модель имеет вид:

$$y = 0.175 + 0.035 \cdot x_1 - 0.0308 \cdot x_2 + 0.0318 \cdot x_3. \quad (6)$$

Анализ модели (6), позволяет сделать следующие выводы:

- 1)  $b_0$  – имеет наибольшее значение, однако по нему нельзя оценить влияние какого-либо фактора на выходной параметр;
- 2) так как коэффициенты  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  имеют не значительные отличия, то можно сделать вывод, что все факторы примерно одинаково влияют на параметр оптимизации;
- 3) коэффициенты  $b_1$  и  $b_3$  имеют знак плюс, следовательно с увеличением факторов  $x_1$  (напряжение между электродами) и  $x_3$  (угол между электродами) параметр оптимизации должен увеличиваться. Коэффициент  $b_2$  имеет знак минус, значит фактор  $x_2$  (расстояние между электродами) оказывает отрицательное влияние на параметр оптимизации.

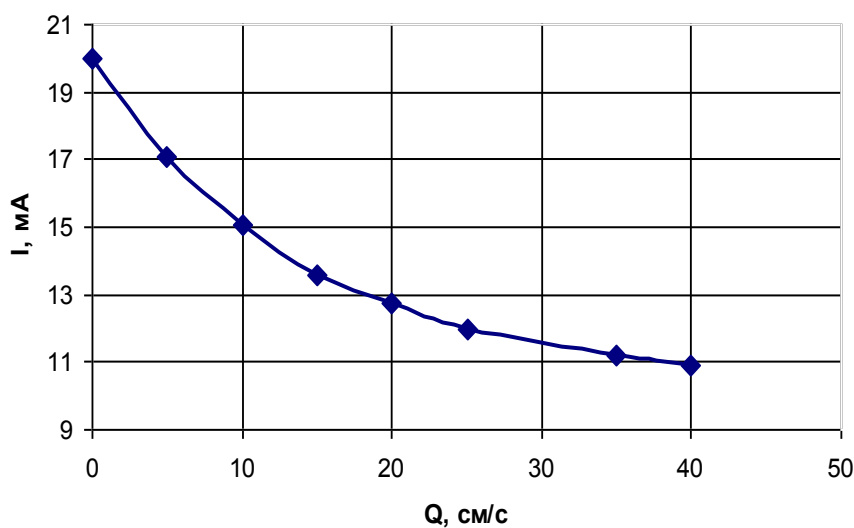


Рис. 3. Статическая характеристика

Выбран лучший опыт из предыдущей серии и проведен повторный эксперимент для построения статической характеристики. На рисунке 3 показана статическая характеристика ГЭППР при увеличении расхода  $Q$  от 0 до 41.7 см<sup>3</sup>/с, при напряжении  $U=12$  В на рабочем электроде. Измеряемая среда – питьевая водопроводная вода.

Таким образом, аналитическая математическая модель ГЭППР установила связь между диэлектрической проницаемостью жидкости, напряженностью электростатического поля, скоростью движения жидкости и током на выходе преобразователя расхода. Анализ модели позволяет выявить возможные конструктивные варианты ГЭППР для конкретных инженерных решений. Крутизна экспериментальной статической характеристики составила 19%. Следовательно, теоретически доказана и экспериментально подтверждена возможность использования эффекта поляризации для создания преобразователя расхода технологических жидкостей в открытых (безнапорных) каналах. За счет токового сигнала на выходе преобразователь может быть использован в качестве элемента обратной связи в системах автоматизированного управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мамолина, А.П. и др.* Обзор преобразователей расхода жидкостей в открытых каналах [Текст] / А.П. Мамолина, Г.М. Садчикова // Информационные технологии, САПР и автоматизация: сборник научных трудов по материалам II всероссийской научно-технической конференции. –



- Саратов: СГТУ, 2011. – С. 221–224.
2. Пат. 2148798 Российская Федерация, МПК G 01 A 1/56. Устройство для измерения расхода / В.В. Власов, Г.М. Садчикова; заявитель и патентообладатель Балаковский институт техники, технологии и управления. – № 97101777; заявл. 04.02.1997; опубл. 10.05.2000, Бюл. №13. – 4 с.: ил.
  3. *Вилков, Л.В. и др.* Физические методы исследования в химии. Структурные методы и оптическая спектроскопия: учеб. для химич. спец. вузов [Текст] / Л.В. Вилков, Ю.А. Пентин. – М.: Высшая школа, 1987. – 367 с.
  4. *Денисов А.А.* Электрогидро- и электрогазодинамические устройства автоматики [Текст] / А.А. Денисов, В.С. Нагорный. – Л.: Машиностроение, 1979. – 288 с.
  5. *Садчикова, Г.М. и др.* Результаты математического моделирования электростатического поляризованного преобразователя расхода воды [Текст] / Г.М. Садчикова, В.В. Власов. – Тез. докл. IV междунар. конф. Современные проблемы электрогидродинамики и электрофизики жидких диэлектриков, 26 июня 1996 г. – СПб., 1996. – С. 155–158.
  6. *Адамчевский, И.* Электрическая проводимость жидких диэлектриков [Текст] / И. Адамчевский. – Л.: Энергия, 1972. – 295 с.
  7. *Вартанян, А.А. и др.* Моделирование нестационарных процессов в каналах ЭГД- насоса [Текст] / А.А.Вартанян, В.В. Гогосов, К.В. Полянский, Г.А. Шапошникова // Механика жидкости и газа. – 1994. – №3. – С. 30–40.
  8. *Адлер, Ю.П. и др.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976.

## Theoretical Foundations of Mathematical Modeling of Hydro-Electric Polarization of the Converter of Liquid Flow in Open Channels

G.M. Sadchikova

*Balakovo Institute of Technique, Technology and Management (the Branch)  
of the Saratov State Technical University named after Y.A. Gagarin  
e-mail: sad\_gm@mail.ru*

**Abstract** – This research describes the possibility of using a polarization for the development of hydro-electric polarization converter flow rate of liquids in open channels, as well as the results of experimental research.

**Keywords:** polarization current, the total current equation, the flow rate measurement, open channels, mathematical model, the static characteristic.

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

УДК 621.791.754.4

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОДНОСТОРОННЕЙ  
ДУГОВОЙ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ  
В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

© 2014 г. Ю.В. Доронин, П.С. Кузнецов, В.Н. Бродягин, Ф.Е. Дорошенко

*Аттестационный центр городского хозяйства (АЦГХ), г. Москва*

Рассмотрены проблемы формирования обратной стороны шва при сварке плавящимся электродом трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей. Показаны различные условия формирования обратной стороны шва при сварке на подкладных керамических и стекловолоконных лентах, а также с применением источников питания с различными АЧХ в чередовании холодной и горячей фаз.

*Ключевые слова:* сварной шов, стальной трубопровод, условия сборки, амплитуда, скважность.

Поступила в редакцию 22.05.2014 г.

При сварке стыковых соединений из углеродистых и легированных сталей в судостроении при производстве листовых конструкций широко используется односторонняя сварка на медных, флюсо-медных, остающихся металлических подкладках и флюсовых подушках [1].

Однако, при сварке криволинейных стыковых соединений, например, неповоротных стыков трубопроводов, использовать стационарные стенды и поточные линии с порталами для установки и крепления формирующих обратную сторону шва устройств, не представляется возможным [2].

При односторонней механизированной сварке неповоротных стыков трубопроводов формирование обратной стороны шва достигается разными способами:

- на весу, используя поперечные колебания в зазоре стыкового соединения;
- при помощи различного рода подкладных устройств;
- используя специальные программы, установленные в источнике питания сварочной дуги, и позволяющие, с помощью динамического управления режимом сварки сваривать швы рутило- и металло- порошковыми проволоками [4].

Применением сварки с управляемым каплепереносом (Kemppi WiseRoot) пока не удалось ощутимо улучшить результаты при автоматической сварке сплошной и металлопорошковой проволокой, однако, применение импульсной технологии Esab MIG/MAG Pulse позволило получить качественно отличный процесс. Был достигнут мелкодисперсный перенос металла (Spray Arc) порошковой проволокой (MCW) 1,2мм на токах 100А, что значительно ниже порога его возникновения при сварке сплошной проволокой – 250А. Такой перенос металла обеспечивает высокую стабильность горения дуги, а также малый объем сварочной ванны, что благоприятно сказывается при выполнении корневых проходов. Также, во время сварки практически не засоряется продувочный канал, а хорошее смачивание металлом кромок свариваемых деталей уменьшает вероятность подрезов при выполнении последующих слоев. Сварка корня шва существенно упрощается.

При помощи регистратора сварочных процессов AWR-224M, были

запротоколированы значения тока и напряжения при сварке металлопорошковой проволокой с применением Esab Pulse. (рис. 1). Импульсы тока превышают 300А, однако суммарное значение не превысило 110А. Четкое распределение частот подтверждает стабильность процесса.



Рис. 1. Осциллограмма и АЧХ режима сварки Esab Pulse

В городском хозяйстве при сварке трубопроводов диаметром менее 630 мм в СТО-3135730-08-001-2011 прописаны несколько технологических рекомендаций. Одна из них включает сварку корня шва на весу металлопорошковой проволокой в смеси Ar+CO<sub>2</sub> и сварку заполняющих и облицовочных швов рутиловой порошковой проволокой.

Рутиловую порошковую проволоку применяют для выполнения заполняющих и облицовочных слоев в нижнем положении при токах свыше 200А, при сварке неповоротных стыков при токах менее 200А обеспечить стабильный процесс и хорошее формирование корня шва сложно.

Однако, применение неуправляемых импульсных режимов на источниках питания сварочной дуги ФЭБ «Магма-350» позволяет получить стабильный процесс и хорошее формирование корня шва во всех пространственных положениях на средних токах – 60-90А. Достигается это предустановленными вынужденными импульсами тока определенной частоты, амплитуды и скважности.

При наблюдении за процессом переноса с использованием порошковой проволоки прослеживается наличие дуги только по поверхности трубки, вероятно это связано с наличием скин-эффекта и отличным от оболочки электросопротивлением порошка. Предположительно, порошок при сосредоточении дуги на оболочке попадает в металл в нерасплавленном виде, уменьшая температуру ванны, ее радиус и

увеличивая, тем самым, силы поверхностного натяжения. Произведем расчет толщины скин-слоя стали по приближенной формуле:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_m f}}$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12}$  Ф/м  
 $\omega = 2\pi \cdot f$

После упрощения:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_m f}}$$

где  $\rho = 9,8 \cdot 10^{-8}$  Ом·м – удельное сопротивление стали,  
 $\mu_m = 8000$  – относительная магнитная проницаемость,  
 $f = 100$  Гц – частота.

Толщина скин-слоя  $\Delta = 0,18$  мм, что соизмеримо с толщиной оболочки проволоки.

Особое внимание необходимо сосредоточить на установке частоты импульсов. Рассматривая перенос металла при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов как колебательный процесс относительно тока с собственной частотой 50-350 Гц (в зависимости от значения тока), частота вынужденных импульсов тока должна быть близка по значению к собственной для установления резонанса и, как следствие, повышения стабильности процесса.

Подбор частоты (~100 Гц), скважности (10-20%) и амплитуды импульсов (320 А) позволил добиться качественного формирования обратного валика корня шва рутиловой порошковой проволокой в среде двуокиси углерода при среднем токе 110 А на трубном стыке диаметром 820 мм, толщиной 14 мм, с зазором 4-5 мм (рис. 2). Визуальный осмотр показал отсутствие наружных дефектов.

Неуправляемые импульсные технологии сварки порошковыми проволоками обладают рядом технологических преимуществ перед сваркой проволоками сплошного сечения в обычном режиме:

- высокая стабильность процесса (высокочастотные импульсы значительной амплитуды повышают пространственную устойчивость дуги);
- отсутствие разбрызгивания металла (короткие замыкания отсутствуют даже при малых значениях среднего тока);
- более равномерное распределение давления дуги на сварочную ванну (дуга горит на оболочке проволоки, обеспечивая хорошее проплавление кромок и предотвращая излишнее провисание обратного валика);
- сварка во всех пространственных положениях (поглощение энергии при расплавлении порошка и уменьшение объема сварочной ванны);



**Рис. 2.** Обратный валик выполненный металлопорошковой (слева) и рутиловой (справа) порошковыми проволоками

Тем не менее, применение импульсных технологий сварки порошковыми проволоками ограничивается необходимостью обновления парка сварочного оборудования и более высокой стоимостью порошковых проволок в сравнении со сплошными.

В качестве альтернативы, для защиты и хорошего формирования обратного валика корня шва, широко применяются подкладки.

При возможности доступа к обратной стороне стыкового соединения, формирующую обратную сторону шва, подкладку крепят при помощи клея постоянной липкости, нанесенного на алюминиевую фольгу, толщиной 0,07..0,09мм. Края фольги для предотвращения слипания в процессе транспортировки и монтажа покрыты антиадгезионной пленкой.

По такому принципу крепления созданы и эксплуатируются подкладки компаний Aquasol, 3M и Lincoln (США), Esab (Швеция), FAW (Япония), ИТС (Россия) и др. При данном способе сварки нет необходимости использовать специализированные сварочные материалы (электроды, монолитные и порошковые проволоки, флюсы, газы и присадки).

Так, для односторонней сварки труб из углеродистых и низколегированных сталей с применением подкладок следует использовать сварочные материалы, предназначенные для вышеуказанных способов сварки.

Одностороннюю сварку на подкладках следует выполнять на постоянном токе обратной полярности. Наиболее распространенным видом переносной подкладки для односторонней сварки листовых конструкций и трубных стыков, предлагаемым отечественными и зарубежными производителями являются формирующие керамические подкладки, представляющие собой полосу из наклеенных на алюминиевую фольгу секций различной конфигурации.

Наборные секции изготовлены из оксидов кремния и алюминия и позволяют формировать обратный валик при строго регламентированных условиях сборки стыкового соединения: зазоре в стыке, перекосе кромок, угле разделки и притуплении. Односторонняя сварка плоскостных металлоконструкций и трубопроводов позволяет получать обратный валик благоприятной формы во всех пространственных положениях различными сварочными материалами, в том числе и рутиловыми порошковыми проволоками марки Filarc диаметром 1,2 мм на токах до 250А. За один проход можно сварить стыковое соединение трубы толщиной до 12 мм. На рисунке 3 показан внешний вид обратного валика шва полученного при сварке стыкового соединения трубы диаметром 1020 мм.



**Рис. 3.** Обратная сторона шва стыкового соединения, выполненного рутиловой порошковой проволокой Filarc

Подкладки всепозиционные производства компании «Газстройсервис» артикул PZ 1500/70 поставляются в наборе длиной 600мм.

Качественная форма шва наблюдается и при односторонней сварке прямолинейных листовых конструкций с использованием керамических подкладок. На рисунке 3 показана обратная сторона шва стыкового соединения толщиной 20мм, выполненного рутитовой порошковой проволокой Filarc диаметром 1,2мм в вертикальном положении. Сварка выполнялась механизированным способом методом «снизу-вверх».

Однако конструкция такой подкладки не позволяет формировать обратный валик на трубопроводе диаметром менее 600 мм из-за зазоров между секциями, возникающих при искривлении подкладки в процессе крепления и последующей сварки. Металл обратного валика вытекает в зазоры и становится нестабильным по ширине.

Кроме того, установлено, что при использовании керамических подкладок на обратном валике иногда возникает шевронная пористость.[3]

Вышеуказанные недостатки устраняются при использовании гибких, в продольном и поперечном направлениях подкладных лент.

Формирование обратной стороны шва в этом случае обеспечивается многослойными двухкомпонентными подкладками марки ЛФС-3 (ТУ 5952-024-20524426-2012), Сертификат соответствия НАКС № РОСС RU.И860.17М3.00001, ленты флюсовые, сварочные (табл. 1)

**Таблица 1.** – Результаты способов сварки с применением различных подкладок

Способ сварки	ЛФС-2	ЛФС-3	ЛФС-4	Диаметр электрода, мм
	Ток сварки, А	Напряжение, В	Положения при сварке	
РД	70...90	14...16	Н1,Н2,В1,В2,П1,П2	3...4
МП	100...140	18...22	Н1,Н2,В1,В2,П1,П2	0,8...1,2
АФ	До 350	До 24...30	Н1,Н2	2...3
МПГ, МПС	До 250	До 26	Н1,Н2,В1,В2,П1,П2	1,0...2,5

Крепление подкладки к обратной стороне стыкового соединения осуществляется с помощью алюминиевого фольгоплен, покрытого клеем постоянной липкости и защищенного от слипания антиадгезионной бумагой (рис. 4).

Перед установкой подкладки следует очистить обратную сторону стыка от ржавчины, пыли и масла на ширину 150 мм.

Для установки подкладки необходимо отрезать мерный кусок ленты, и прикрепить вдоль оси освобожденного от антиадгезионной бумаги мерного куска фольги.

Ширина подкладки, в зависимости от марки варьируется от 35 до 45мм толщина подкладки составляет 2,5...4,0мм ширина фольгоплен 90...100 мм.

Липкими поверхностями фольга с установленной посередине лентой прижимается к обратной стороне стыкового соединения и разглаживается по поверхности металла круглым деревянным или пластмассовым предметом.

Если подкладка устанавливается из нескольких кусков, то края ленты крепятся с нахлестом на длину 20мм.

В качестве зарубежного аналога при односторонней сварке трубопроводов были проверены гибкие подкладные ленты Aquazol (США), используемые при ручной и



механизированной дуговой сварке стыковых соединений в судостроении и энергетическом машиностроении (рис. 4).



**Рис. 4.** Подкладная лента ЛФС (сверху) и Aquazol (снизу)

Ленты Aquazol одноразового использования, обеспечивают высокое качество формирования обратной стороны шва, низкое содержание водорода в металле шва, отсутствие внутренних и наружных дефектов.

Односторонняя сварка на подкладках выполняется на режимах, рекомендуемых для сварки первого прохода при сварке как поворотных, так и неповоротных стыков трубопроводов.

В зависимости от требований к обратной стороне шва, подкладка может использоваться неоднократно.

## ТЕХНИКА СВАРКИ

Формирование обратного валика во всех пространственных положениях происходит в изложнице из расплавленного шлака, образующегося в результате расплавления верхнего (с ориентационной нитью) слоя подкладной ленты в определенных температурных, гидродинамических и физико-химических условиях. При ручной дуговой сварке (РД), сварке порошковой проволокой (МПГ и МПС), механизированной и автоматической сварке под флюсом (МФ и АФ), в результате взаимодействия шлака подкладной ленты и шлака сварочного материала условия формирования меняются. В этом случае для оптимизации количества шлака на обратной стороне шва, подкладная лента изготавливается с различной плотностью формирующего слоя.

Избыток шлаковой фазы не мешает процессу формирования обратной стороны шва, но требует учета некоторых особенностей при манипулировании электродом при сварке способом В1 и В2

Размеры обратного валика в зависимости от зазора в стыке, изменяются по ширине от 5 до 8 мм, по высоте от 0.5 до 2 мм при ручной дуговой и механизированной сварке в смесях плавящимся электродом (рис. 5).



**Рис. 5.** Обратный валик и внешний вид ленты после сварки трубного (сверху) и прямолинейного стыка (снизу) образца резервуарной секции

Крепление лент к обратной стороне сварного стыка можно осуществлять также с помощью постоянных магнитов. При установке лент необходимо контролировать, чтобы их осевая красная линия была направлена в сторону сварного стыка по его оси.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тераи, К. и др.* Современное состояние односторонней автоматической сварки [Текст] / К. Тераи, М. Арикава. – Л.: Судостроение, 1974. – 219 с.
2. *Веселков, В.Д.* Односторонняя сварка стыковых соединений судовых корпусных конструкций [Текст] / В.Д. Веселков. – Л.: Судостроение, 1984. – 238 с.
3. *Cantrell, R.E.* Ceramic weld backing evaluation // *Welding Journal*. – 1982. – №10. – P. 27–34.
4. Патент США № 5,451,741 МКИ В23К 9/32 Опубликовано 19.09.1995 г.
5. *Алешин, Н.П. и др.* Актуальные вопросы сварки неповоротных стыков трубопроводов в монтажных условиях [Текст] / Алешин Н.П., Гладков Э.А., Доронин Ю.В., Бродягин В.Н. // Сварка и диагностика. – 2013. – №3.

## **Comparative Characteristics of the Weld Form, Obtained in Welding Butt Joints of Pipes Use of Tapes and Methods «Hot and Cold» Phases**

**Doronin Y.V., Kuznetsov P.S., Brodjagin V.N., Doroshenko F.E.**

*Joint Stock Company «Expertcentre», Moscow  
e-mail: bekkenbauer@yandex.ru*

**Abstract** – The article considers the problems of the formation of the reverse side of the bead in welding with consumable electrode pipelines made of carbon and low-alloyed steels. It shows the various conditions of the formation of the weld in welding use of ceramic and fiberglass tape, but also with use of power of sources weld of arc, working in a model «hot and cold» phases.

**Keywords:** weld seam, steel pipe, conditions of assembly, amplitude, duty cycle.

УДК 621.039

## ДИАГНОСТИКА ЭПА – ОПЫТ РАБОТЫ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС

© 2014 г. М.Т. Слепов, Н.П. Сысоев

*Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» Нововоронежская АЭС-2,  
г. Нововоронеж, Воронежская обл.*

Надёжная работа электроприводной арматуры (ЭПА) является одним из важных факторов безопасной эксплуатации АЭС. В статье обобщается многолетний опыт обследования электроприводной арматуры отделом технической диагностики Нововоронежской АЭС. С целью диагностирования были получены сигналы тока двигателей восьмисот тридцати двух единиц арматуры при выполнении операций «открытие» и «закрытие». Таким образом, была обследована ЭПА №№3, 4, 5 блоков НВАЭС.

При анализе токовых сигналов определялось время срабатывания арматуры, разность времени выполнения операций открытие и закрытие, плавность рабочего хода по току, время выборки общего люфта. Несоответствие данных параметров нормативным значениям трактуется как признак неисправности оборудования. Авторы анализируют тенденции изменения состояния оборудования за период 2011–2013 гг. Для арматуры, техническое состояние которой не изменилось в сторону ухудшения, предлагается изменение категории ремонта с капитального на текущий. Для арматуры с закономерным значительным ухудшением технического состояния предлагается замена регламентного текущего контроля на капитальный.

*Ключевые слова:* безопасность АЭС, капитальный ремонт, конечный выключатель, момент затяга (срыва), текущий ремонт, техническое обслуживание, электроприводная арматура.

Поступила в редакцию 20.05.2014 г.

Как показывает многолетний опыт эксплуатации различных ядерных установок, не всякая мелкая неисправность приводит к аварийной ситуации, но цитируя авторов научно-популярного сериала «Секунды до катастрофы» «...каждой аварии предшествует сравнительно долгий период развития незначительных отклонений...», мы прекрасно осознаем, что выявить эти незначительные отклонения необходимо как можно раньше, пока, либо суммарное накопление мелких неисправностей, либо долговременное функционирование неисправного оборудования не приведут к аварийной ситуации. Одним из важных факторов безопасной эксплуатации является надёжная работа электроприводной арматуры (ЭПА). И в качестве примера рассмотрим результаты работы по этому направлению отдела технической диагностики Нововоронежской АЭС за 2013 г.

Во время плановых предупредительных ремонтов на действующих энергоблоках Нововоронежской АЭС в 2013г. было проведено очередное диагностирование электроприводной трубопроводной арматуры.

На энергоблоке № 3 продиагностировано 214 единиц арматуры, на энергоблоке №4 – 157 единиц, на энергоблоке №5 – 461 единица (итого – 832 единицы). Большую часть обследованной ЭПА составила запорная арматура (задвижки различных конструкций, запорные клапаны), а также регулирующая и запорно-регулирующая (задвижки, клапаны регулирующие и запорно-дрессельные, используемые в качестве регуляторов уровня).

Анализ результатов измерений и расчетов диагностических параметров показал,

что наиболее часто встречаемыми отклонениями являются несоответствия норме таких параметров как:

- время срабатывания арматуры – 93 тех. позиции;
- разность времени выполнения операций открытие и закрытие – 49 тех. позиций;
- плавность рабочего хода по току – 82 тех. позиции;
- время выборки общего люфта – 27 тех. позиций.

Под термином «срабатывание» авторы понимают: в процессе закрытия – перемещения запорного органа из максимально верхнего положения в максимально нижнее и уплотнение запорного органа под действием определённого момента. При процессе открытия тоже самое, но в обратном порядке.

Определяющими параметрами, являющимися главным критерием при оценке технического состояния арматуры, считаются «время срабатывания арматуры» и «плавность рабочего хода».

Установлено, что фактическая плавность хода ниже нормы зарегистрирована у 13% (для блоков ВВЭР-440) и 7% (для блока ВВЭР-1000) от общего количества продиагностированной в 2013 году арматуры. В большинстве случаев – это затворы поворотные Ду1200, Ду2000, Ду2200, задвижки типоразмеров 30с927нж Ду500, 30с972нж Ду600, 30с972 Ду150-400, 30с964нж, 30с97нж, Ду1000, ЗКЛПЭ-40 Ду500, клапаны регулирующие 1046-250 ЭН.

Следует так же отметить, что уровень значений рабочих и пусковых токов, измеренный при диагностировании в разные годы, для отдельных технологических позиций ЭПА существенно изменился.

Значительные отклонения величин пусковых и рабочих токов, замеренных в процессе диагностирования арматуры, в сравнении с допусками на эти параметры могут быть связаны с нарушениями в работе электродвигателей (ЭД).

Анализ расчетных значений величин усилия, прилагаемого при срыве и затяге запорного органа, показал, что моменты срыва и затяга для отдельных позиций арматуры по результатам замеров в 2013 г. изменились как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. По блокам количество арматуры с повышенным моментом затяга (срыва) распределилось следующим образом:

- энергоблок № 3 – 145 единиц (63 %);
- энергоблок № 4 – 111 единиц (95 %);
- энергоблок № 5 – 268 единиц (58 %).

Кроме того, при замерах выявлена ЭПА, моменты срыва и затяга которой превышает 200%:

- на 3 блоке – 13 единиц (6 %);
- на 4 блоке – 18 единиц (12 %);
- на 5 блоке – 22 единицы (5 %).

Наличие указанных отклонений, как правило, свидетельствует о неотрегулированных ограничителях момента электропривода (ЭП) или конечных выключателей (КВ) для большей части запорной ЭПА. Для некоторых позиций, с целью дополнительного (усиленного) уплотнения запорного органа и места его посадки используется «преднамеренно» повышенный момент затяга. Данная проблема характерна для «старых» энергоблоков АЭС, и связана, в первую очередь, как с отсутствием на ЭПА документации (нет заводских данных по моментам силы), так и с общим износом оборудования. В то же время, практический опыт показывает, что большое усилие срыва и затяга запорного органа может привести к отказу ЭПА в виде поломки штока или отрыва запорного органа.

Проведен анализ соответствия (несоответствия) формы огибающих эталонам,

составленным для различных типовых групп арматуры и хранящимся в базе данных. Характер выявленных отклонений формы огибающей представляет собой:

- периодические колебания с размахом, оцениваемым по разности значений максимального и минимального тока на рабочем ходе;
- неровный ход кривой в виде плавного, либо резкого роста (спада) нагрузки, оцениваемого по величине тренда;
- отличие уровня нагрузки на рабочем ходе при открытии и закрытии (менее или более 20%);
- изменение формы при срыве и затяге запорного органа по сравнению с характерной для данного типоразмера ЭПА и т.д.

Установлено, что для (44%) единиц арматуры форма временного токового сигнала, регистрируемого при выполнении операций «открытие»-«закрытие», отличается от эталонной, построенной для заведомо исправной и работоспособной однотипной арматуры. Но при этом степень и характер выявленных отклонений формы огибающей не может служить поводом для выведения данной арматуры за пределы работоспособности и требует дополнительного углубленного анализа.

Проведен сравнительный анализ результатов многократного повторного диагностирования, который показал, что в большинстве случаев ухудшения технического состояния арматуры за период времени в пределах трех последних лет не выявлено (новых отклонений не зафиксировано, старые сохранились в прежнем объеме) или прослеживается тенденция к незначительному ухудшению по отдельным параметрам в пределах нормы. В отдельных случаях установлено заметное ухудшение по плавности рабочего хода, не выводящее арматуру за пределы работоспособности, но требующее обращения на нее повышенного внимания в ходе эксплуатации. Зафиксировано также некоторое улучшение технического состояния арматуры отдельных технологических позиций в сравнении с 2011г. вследствие своевременно проведенного технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

Ниже приведены статистические результаты обследованной электроприводной арматуры, распределённые по энергоблокам.

Энергоблок № 3:

- арматура, продиагностированная впервые – 63 из 214 ед. (29%);
- арматура без ухудшения технического состояния – 106 из 214 ед. (50%);
- арматура с улучшением технического состояния – 17 из 214 ед. (8%);
- арматура с ухудшением технического состояния – 28 из 214 ед. (13%).

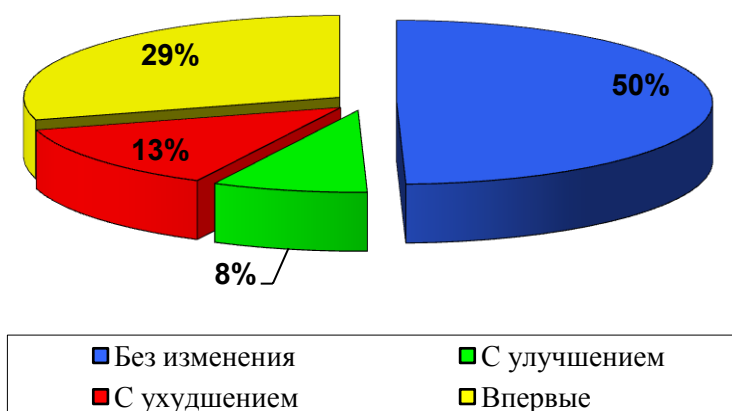


Рис. 1. Классификация ЭПА энергоблока №3 по состоянию

## Энергоблок № 4:

- арматура, продиагностированная впервые – 17 из 157 ед. (11%);
- арматура с улучшением технического состояния – 20 из 157 ед. (13%);
- арматура без ухудшения технического состояния – 74 из 157 ед. (47%);
- арматура с ухудшением технического состояния – 46 из 157 ед. (29%).

Следует так же отметить, что 41 единица арматуры продиагностирована как до, так и после капитального ремонта. В результате анализа этих токовых сигналов было выявлено, что:

- у 5-ти единиц арматуры наблюдается улучшение контролируемых параметров;
- у 16-ти единиц арматуры параметры практически не изменились;
- у 12-ти единиц арматуры (29%) произошло ухудшение контролируемых параметров, что говорит о низком качестве проведённого ремонта.

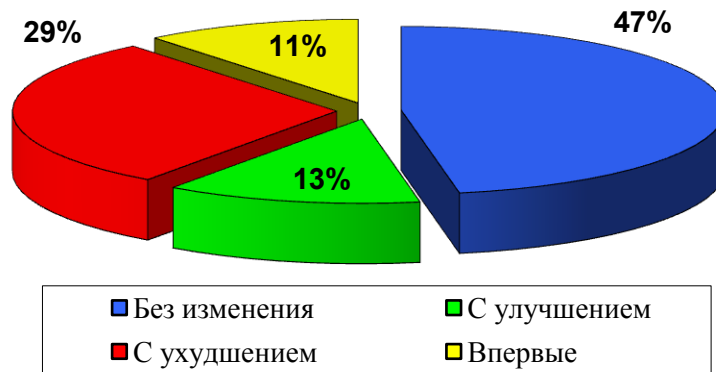


Рис. 2. Классификация ЭПА энергоблока №4 по состоянию

## Энергоблок № 5:

- арматура, продиагностированная впервые – 83 ед. реакторного цеха (РЦ) 63% и 131 ед. турбинного цеха (ТЦ) 40%;
- арматура без ухудшения технического состояния – 44 ед. РЦ (33%) и 149 ед. ТЦ (44%);
- арматура с улучшением технического состояния – 5 ед. РЦ (4%) и 15 ед. ТЦ (5%);
- арматура с ухудшением технического состояния – 36 ед. ТЦ (11%).

По РЦ не выявлено арматуры, техническое состояние которой ухудшилось по результатам диагностирования. Это может быть связано с тем, что 63% арматуры продиагностировано впервые и нет возможности для сравнения.

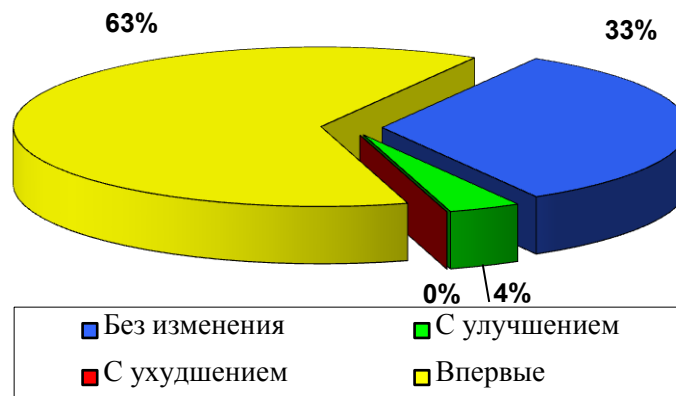


Рис. 3. Классификация ЭПА РЦ-5 по состоянию

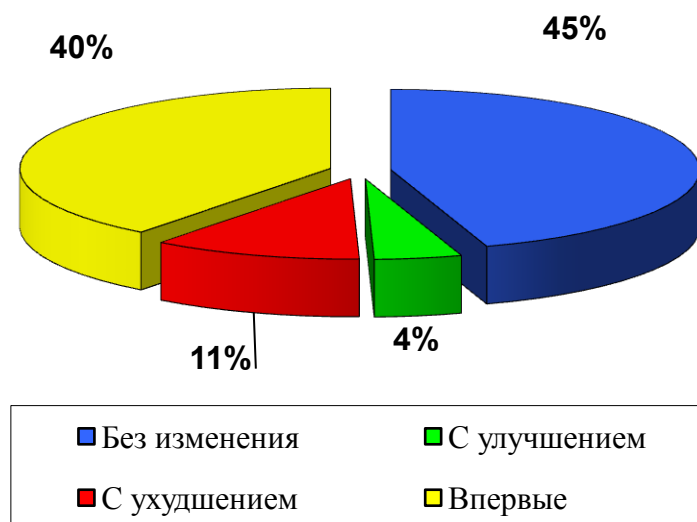


Рис. 4. Классификация ЭПАТЦ-5 по состоянию

Одним из главных критериев отнесения арматуры к той или иной группе являлись закономерности изменений расчетных значений плавности рабочего хода, как определяющего параметра, по результатам неоднократных диагностирований, а также других диагностических параметров. Так же учитывались изменения формы огибающих и характера амплитудно-частотных спектров токового сигнала.

Для арматуры, техническое состояние которой не изменилось в сторону ухудшения, может быть предложено применение процедуры оформления технического решения о продлении межремонтного периода с заменой в предстоящий период регламентного капитального – «К» на текущий – «Т» по фактическому техническому состоянию с отсрочкой проведения ремонта на 2-4 года. К этой группе отнесена арматура, для которой зафиксированы относительно близкие значения плавности рабочего хода в пределах нормы, не претерпевшие значительных изменений за определенный период эксплуатации, с учетом ошибки измерений. Данное решение может быть принято также и в отношении арматуры с улучшением технического состояния, что является следствием своевременно проведенного ТОиР.

Для арматуры с закономерным значительным ухудшением технического состояния в будущем году может быть осуществлена замена регламентного «Т» на «К» по фактическому техническому состоянию. Решение об ужесточении категории ремонта необходимо принять по результатам предремонтного диагностирования. Для арматуры, в отношении которой в 2014 году согласно регламенту запланирован «К», этот вид ремонта сохраняется.

У отдельных технологических позиций арматуры не установлена однозначная закономерность изменения технического состояния, так как ухудшение по одним диагностическим параметрам сопровождается улучшением по другим. Для некоторой арматуры временное улучшение плавности хода по результатам диагностирования в период планово-предупредительного ремонта ППР-2010 после проведения мероприятий ТОиР в 2013 году вновь зафиксировано ухудшение технического состояния. Некоторое ухудшение плавности рабочего хода для отдельных тех. позиций может быть вызвано приработкой арматуры после текущего ремонта.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

### Энергоблок № 3

Результаты диагностирования 2013 года показали, что по состоянию электромеханической части из 214 технологических позиций 212 могут быть признаны работоспособными и функционально пригодными к дальнейшей эксплуатации в составе технологических систем энергоблока №3. Состояние двух технологических позиций оценено как частично работоспособное, требующее внепланового проведения ремонта и послеремонтного диагностирования.

При этом установлено следующее:

- не выявлено отклонений от нормы у 11-ти технологических позиций (5% от общего числа работоспособной арматуры);
- у 40% арматуры зафиксированы небольшие несоответствия диагностических параметров установленным нормам, которые оценены как «незначительные отклонения» в работе отдельных узлов и деталей арматуры, не требующие немедленного проведения мероприятий по ТОиР;
- у остальной арматуры (55%) обнаружены отдельные несоответствия диагностических параметров установленным нормам по времени срабатывания, плавности рабочего хода, соотношениям пусковых и рабочих токов или спектру токового сигнала, также не требующие срочного (внепланового) ремонта. Однако решение о проведении ремонтных мероприятий может быть принято при установлении тенденции к ухудшению технического состояния по результатам неоднократного диагностирования.

### Энергоблок № 4

Результаты диагностирования 2013 года показали, что по состоянию электромеханической части из 157 технологических позиций 155 могут быть признаны работоспособными и функционально пригодными к дальнейшей эксплуатации в составе технологических систем энергоблока №4. Состояние двух технологических позиций оценено, как частично работоспособное. Для этой арматуры, признанной частично работоспособной, рекомендуется провести внеплановую ревизию и повторное диагностирование для уточнения причин выявленных отклонений.

Статистический анализ влияния на арматуру проведенных ремонтных работ вне зависимости от вида ремонта показал, что техническое состояние большей ее части (50-60%) практически не изменилось. Состояние примерно 30-36% арматуры ухудшилось (незначительно, в пределах «нормы», либо существенно – до «не нормы»). И лишь небольшая часть арматуры (13-15%) улучшила свое техническое состояние как после текущего так и после капитального ремонтов.

### Энергоблок № 5

Результаты диагностирования 2013 года показали, что по состоянию электромеханической части вся обследованная арматура в количестве 463 единиц может быть признана работоспособной и функционально пригодной к дальнейшей эксплуатации в составе технологических систем энергоблока 5.

У 59-ти технологических позиций (43 тех. поз. РЦ и 16 тех. поз. ТЦ) не выявлено отклонений от нормы.

## Experience of the Novovoronezhskaya NPP at Diagnostics of EDF

**M.T. Slepov, N.P. Sysoyev**

*Novovoronezhskaya NPP,  
1 Yuzhnaya, Plant zone, Novovoronezh, Voronezh region, Russia 396072  
e-mail: nvnp1@nvnp1.rosenergoatom.ru*

**Abstract** – This research is devoted to the reliable operation of electrodriving fittings (EDF) as one of important factors of NPP safety. In the article long-term experience of inspection of fittings by department of technical diagnostics of the Novovoronezhsky NPP is generalized. For the purpose of diagnosing the current signals of the engines of 832 units of fittings were received when performing the operations "opening" and "closing". Thus, the EDF of blocks №№3,4,5 of Novovoronezhsky NPP was surveyed.

In the analysis of current signals so parameters as the duration of fittings operation, the difference between the duration of opening and the duration of closing, smoothness of a working course and the duration of the general backlash was determined by current. Discrepancy of these parameters to standard values is treated as a sign of malfunction of the equipment. Authors analyze tendencies of change of the condition of the equipment during 2011-2013. For the fittings which technical condition didn't change towards deterioration, change of category of repair with capital on current is offered. For fittings with natural considerable deterioration of technical condition replacement of procedural current control on capital is offered.

*Keywords:* safety of NPP, capital repairs, limit switch, finger-tight moment, moving moment, maintenance, electrodriving fittings.



УДК 621.039

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОВО-ПЛОСКОСТНОГО МЕТОДА

© 2014 г. Е.А. Абидова, О.В. Малик, Д.С. Гавриленко

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

Различного типа неисправности и внезапные отказы, возникающие в процессе эксплуатации электроприводной арматуры в составе энергоблоков АЭС, могут приводить к снижению безопасности и большим экономическим потерям. Для определения технического состояния арматуры на АЭС применяется анализ огибающей и спектра сигнала тока, потребляемого оборудованием в процессе работы. С целью повышения чувствительности диагностирования предлагается фазово-плоскостной метод, основанный на анализе фазового портрета сигнала тока. Показано, что наилучшее качество диагностирования достигается при использовании штатных методов, связанных с анализом огибающих и спектров токовых сигналов совместно с оценкой фазовых портретов.

*Ключевые слова:* диагностика, электроприводная арматура, отказы оборудования, дефекты, фазово-плоскостной метод, фазовые портреты.

Поступила в редакцию 20.05.2014 г.

Значительную часть эксплуатируемого оборудования на энергоблоках АЭС (в пределах двух тысяч единиц на блок) составляет электроприводная арматура (ЭПА). Различного типа неисправности и внезапные отказы в процессе эксплуатации данного оборудования в составе энергоблока АЭС могут приводить к снижению безопасности и большим экономическим потерям в связи с длительными сроками проведения ремонтно-восстановительных работ.

В настоящее время для определения технического состояния ЭПА используют виброакустический анализ, анализ электрической мощности, токового сигнала и момента. Методы диагностирования ЭПА по токовому сигналу, регистрируемому с обмоток электродвигателя привода, получили наиболее широкое распространение, ввиду их мобильности и оперативности получения результатов обследования. Кроме того, при использовании данных методов имеется возможность проведения дистанционных измерений в шкафу РТЗО, в машинном зале, когда доступ к объекту диагностирования затруднен или невозможен (например, при наличии радиации или высокой температуры), что и определило выбор данного метода в условиях АЭС.

При этом следует иметь ввиду, что использование токового сигнала в качестве источника диагностической информации затруднительно по ряду причин:

- искажение токового сигнала различными помехами, возникновение которых может быть вызвано как случайными шумами, так и влиянием внешних электромагнитных полей на электрическую цепь;
- в токовом сигнале из-за наличия нестационарностей уменьшается достоверность использования преобразования Фурье;
- информативные компоненты сигнала модулируются сетевой составляющей.

Для получения информации о техническом состоянии строят огибающие токовых сигналов с последующим контролем отдельных информативных участков, а также построение и анализ частотного спектра токового сигнала. При анализе огибающих

могут быть выявлены такие дефекты, как превышение нормативного времени срабатывания, снижение плавности хода, обрыв штока. Результаты диагностирования во многом определяются способом получения огибающих. Например, при получении огибающей методом вычисления скользящего среднего значения существует зависимость вида огибающей от числа точек, что является фактором потери информации [1].

Спектральный анализ проводится с целью глубокой диагностики механизма вплоть до конкретных узлов и деталей [2]. В спектрах диагностических сигналов отображаются частоты, с которыми колеблется механизм, если частота соответствует срабатыванию детали, то, как правило, диагностируется дефект данной детали (рис. 1).

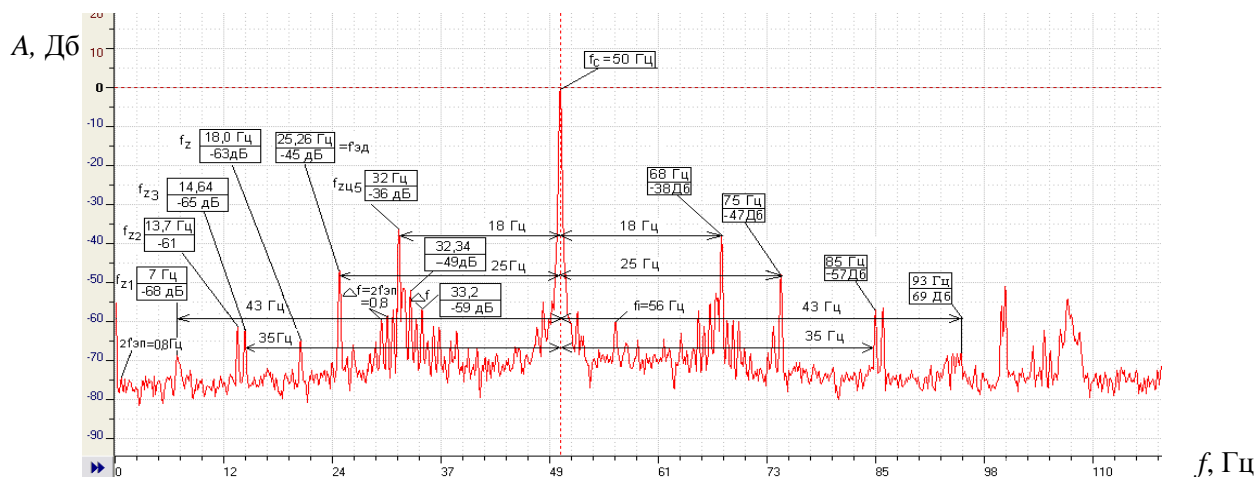


Рис. 1. Частоты подшипника двигателя арматуры в спектре токавого сигнала

При этом спектральный анализ не позволяет видеть фазовые соотношения, дает усреднённую характеристику за исследуемый период времени, обладает не однозначностью трактовки (одному и тому же спектру могут соответствовать разные процессы). Эти причины и приводят к ограничению возможностей анализа технического состояния электроприводной аппаратуры существующими методами и могут привести к ошибкам при осуществлении непосредственной оценки.

Для повышения достоверности и чувствительности диагностирования разрабатываются и внедряются новые методы диагностики. Одним из новых подходов, внедряемых НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ является фазово-плоскостной метод (ФПМ).

ФПМ основан на комплексном представлении колебаний. Для сигнала временной области (с помощью преобразования Гильберта) рассчитывается его комплексно-сопряженная (мнимая) составляющая. Совокупность действительной и мнимой части – аналитический сигнал: его проекция на комплексную плоскость называется фазовым портретом (ФП). Портрет отображает изменение системы за известный промежуток времени, поэтому является динамической характеристикой [3].

Согласно комплексной теории колебаний, сигнал можно представить, как вращающийся вектор. Диагностический сигнал (рисунок 2) содержит несколько гармоник-векторов: каждый вектор имеет свою длину (в зависимости от амплитуды), вращается со своей скоростью (в зависимости от частоты), между собой векторы связаны фазовыми и иными соотношениями. Конец результирующего вектора на рисунке 2 описывает ФП на рисунке 3.

ФПМ, как качественный метод теории динамических систем, широко используется в теории колебаний, теории автоматического управления, в

электротехнике, механике, нашел применение в медицине. Мы предлагаем распространить данный метод для углубленного анализа технического состояния электроприводной арматуры.

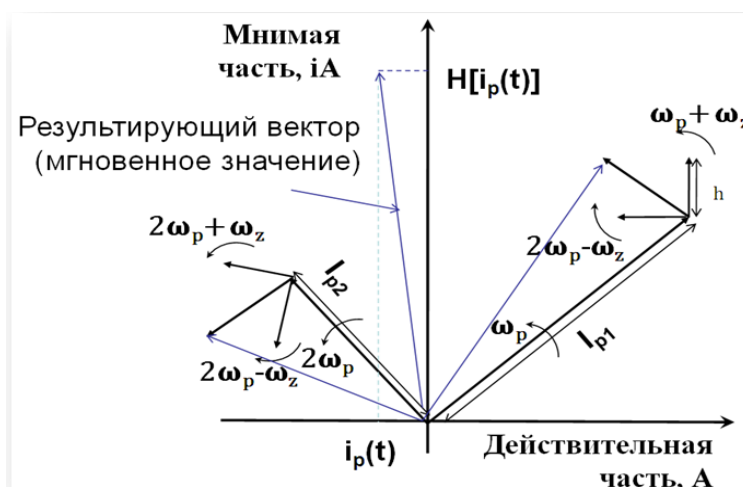


Рис. 2. Векторное представление диагностического сигнала

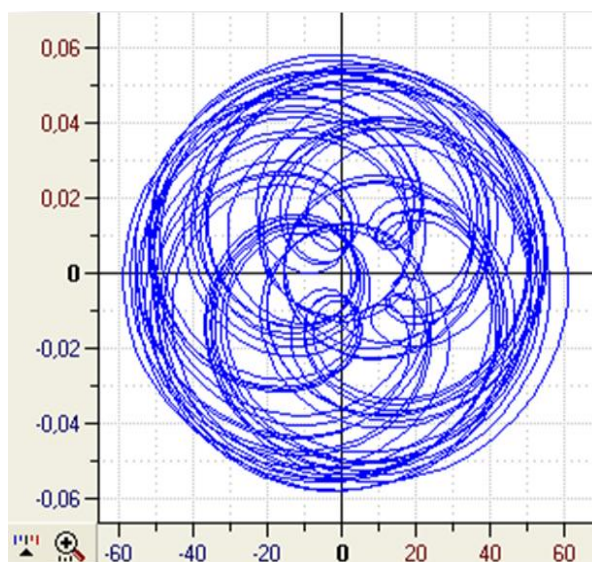
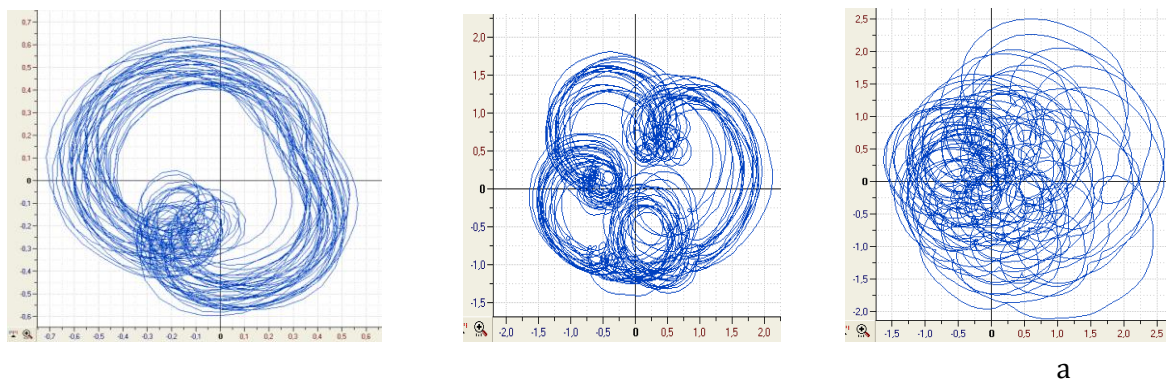


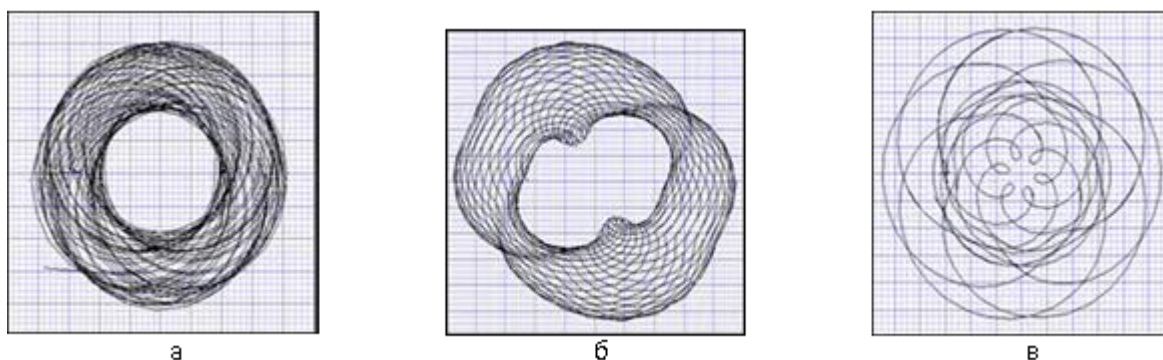
Рис. 3. Фазовый портрет

Методика диагностирования арматуры с использованием ФПМ предполагает оценку размеров ФП (площадей или максимальных диаметров). Увеличение размеров служит характерным признаком ухудшения состояния оборудования. Другим показателем динамики состояния арматуры является изменение формы портрета. При протекании в оборудовании установившегося колебательного процесса фазовые портреты соответствуют графикам полигармонических функций: окружностям, кардиоидам, нефроидам, эпициклоидам и пр. По усложнению формы фазового портрета (например, переход от окружности к кардиоиде от кардиоиде к нефроиде и т.д.) можно судить о степени ухудшения состояния объекта диагностирования (рисунок 4). Портреты хаотической формы наблюдаются при неустановившемся колебательном процессе в арматуре. При этом портреты хаотической формы, но небольших размеров могут соответствовать исправному состоянию оборудования [4].



**Рис. 4.** ФП сигнала тока ЭПА, снятый в различные годы:  
а – кардиоида (2007 год); б – нефроида (2008 год); в - хаотическая форма (2009 год)

На базе теоретических и эмпирических знаний, о процессах, протекающих в электроприводном оборудовании (прежде всего в арматуре) [5], были построены эталонные ФП, которые соответствуют проявлению конкретных дефектов: биение вала двигателя, дефект подшипника, неуравновешенность вала ротора и т.д. (рисунок 5).



**Рис. 5.** Эталонные ФП сигналов тока ЭПА с дефектами: а – дефект червячной пары; б – дефект подшипника редуктора; в – биение вала ротора

Данные эталоны с целью идентификации дефектов сравниваются с ФП реальных токовых сигналов ЭПА. В настоящее время ведется работа по составлению каталогов эталонных ФП, соответствующих изменению состояния ЭПА различных типов.

Методика диагностики ЭПА с использованием ФПМ опробована при определении технического состояния оборудования в лабораторных и промышленных условиях. Использование ФПМ обеспечивает повышение чувствительности диагностирования благодаря учету фазовых и динамических особенностей в исследуемом сигнале. Широкое применение ФПМ для диагностирования оборудования АЭС пока ограничивается сложностью интерпретации результатов.

Опыт диагностирования ЭПА Калининской и Новоронежской АЭС в 2012-2014 показывает, что наилучшее качество диагностирования достигается при использовании штатных методов, связанных с анализом огибающих и спектров токовых сигналов совместно с оценкой ФП.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синельщиков, П.В. Информационно–измерительная система для диагностирования электроприводной арматуры атомных станций на основе вейвлет–преобразования: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / П.В. Синельщиков. – Волгоград, 2011. – 18 с.

2. *Розенберг, Г.Ш. и др.* Вибродиагностика [Текст] / *Г.Ш. Розенберг, Е.З. Мадорский, Е.С. Голуб.* / Под ред. Г.Ш. Розенберга. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
3. *Рандалл, Р.Б.* Частотный анализ [Текст] / *Р.Б. Рандалл.* – К. Ларсен и сын А/О – Дания: ДК 2600 Глострун, 1989. – 390 с.
4. *Абидова, Е.А. и др.* Диагностика электроприводного оборудования по амплитудно-фазовым характеристикам сигнала тока двигателя [Текст] / *Е.А. Абидова, А.К. Пугачёв, О.Ю. Пугачёва, А.В. Чернов* // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Актуальные научные достижения» Т. №20. – Прага, 2011. – С. 40–46.
5. *Абидова, Е.А.* Идентификация информационных процессов в системе диагностики электроприводной арматуры атомных станций: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / *Е.А. Абидова.* – Волгоград, 2011. – 18 с.

## **The Nuclear Power Plant Equipment Diagnosis with the use of the Phase and Plane Method**

**E.A. Abidova, O.V. Malik, D.S. Gavrilenko**

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

**Abstract** –The article tells about various malfunctions and sudden refusals arising in use of electrodriving fittings as a part of power units of NPP, it can lead to safety decrease and big economic losses. For definition of fittings technical condition on the nuclear power plant the analysis of spectrum and analysis of bending around the signal of the current consumed by the equipment in the course of work is applied. For the purpose of sensitivity increase of diagnosing the phase and plane method based on the analysis of a phase portrait of a signal of current is offered. It is shown that the best quality of diagnosing is reached when using the regular methods connected with the analysis of bending around and spectrum of current signals together with an assessment of phase portraits.

**Keywords:** diagnostics, electrodriving fittings, equipment failures, defects, phase and plane method, phase portraits.

УДК 621.039

## ДИАГНОСТИКА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА 15Д-100 ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ВИБРАЦИИ

© 2014 г. О.Ю. Пугачева, А.К. Пугачёв, В.И. Соловьёв, Е.А. Абидова

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

Дизель-генераторная установка является важнейшим элементом системы безопасности АЭС. НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ в рамках договора со Смоленской АЭС разработал рабочую программу диагностирования дизель-генератора 15Д100 энергоблоков АЭС по показателям вибрации и тепловизионного контроля. В статье изложены основные положения этой программы, касающиеся виброакустического анализа.

При разработке подходов к диагностированию авторы учитывают нормативные документы, особенности эксплуатации дизель-генераторного оборудования в условиях АЭС, обобщают опыт диагностирования аналогичного оборудования в транспортной сфере. Диагностика по показателям вибрации включает всё вращающееся оборудование (насосы), входящее в группу дизель-генераторной установки.

Большое внимание в статье уделяется выбору мест установки датчиков вибрации. В качестве методов обработки диагностических данных предпочтение отдается спектральному и кепстральному анализу, также используется пик-фактор и трендовые характеристики. По огибающей сигнала вибрации предлагается оценить отклонение фактического угла впрыска топлива, износ уплотнительных колец, увеличение зазора в сочленении поршня.

Предлагаемые авторами методы должны обеспечить достоверное диагностирование оборудования, выявление дефектов на ранних стадиях развития, определение тенденции изменения состояния оборудования.

*Ключевые слова:* безопасность АЭС, диагностика дизель-генератора, диагностика насосов, датчики вибрации, точки измерения вибрации, спектр, кепстр, пик-фактор, тренд, отклонение фактического угла впрыска топлива.

Поступила в редакцию 26.05.2014 г.

Дизель-генераторные установки (ДГУ) обеспечивают безопасное расхолаживание реактора в случае внезапного обесточения систем безопасности АЭС. ДГУ предусмотрены на АЭС всех типов. На каждом блоке ВВЭР они входят в состав резервной дизельной электростанции. Основной функцией каждой ДГУ является питание трех насосов: насоса аварийной подачи раствора бора; спринклерного насоса; насоса аварийного расхолаживания. Так, после землетрясения на АЭС Фокусима-1 дизель-генераторы обеспечивали аварийное охлаждение реактора в течение трех дней. Однако после прохождения цунами ДГУ АЭС Фокусима-1 вышли из строя, что привело к расплавлению активной зоны и дальнейшим непоправимым последствиям.

Таким образом, ДГУ является важнейшим элементом систем безопасности АЭС. Регламент действующих АЭС предусматривает контроль состояния ДГУ для поддержания их в работоспособном и исправном состоянии. С этой целью проводятся поочередные контрольные пуски дизелей в соответствии с программой ступенчатого пуска. После пусков согласно регламенту и по результатам контроля проводятся ремонтные работы.

Конструктивно ДГУ представляет собой комплекс дизельного и электрического



оборудования – **основное оборудование**. А также оборудования обеспечивающего рабочий цикл дизеля: топливный насос, компрессор, воздухоподка и др. – так называемое **навешанное оборудование**, которое приводится в действие коленвалом дизеля через зубчатый редуктор. **Вспомогательное (автономное)** оборудование служит для пуска дизеля и частично дублирует функции навешанного оборудования для обеспечения надежности работы ДГУ. Вспомогательное (автономное) оборудование работает от электродвигателей, питающихся от автономных источников.

Контроль состояния ДГУ АЭС проводится в настоящее время по следующим направлениям:

- проверка соответствия частоты вращения, тока, напряжения, мощности значениям, предусмотренным программой ступенчатого пуска;
- измерение давления в цилиндрах на протяжении рабочего цикла;
- химический анализ отработавшего масла на предмет обнаружения следов разрушения;
- химический анализ сажи на предмет нахождения продуктов неполного сгорания.

Таким образом, проверяется фактическая работоспособность ДГУ, равномерность вращения коленвала и выявляются грубые дефекты. Однако, учитывая высокие требования к надежности ДГУ, необходимо решение следующих задач:

- выявление дефектов на ранних стадиях развития;
- определение тенденции состояния;
- прогнозирование состояния.

Для решения данных задач широко применяются методы вибродиагностики, и (реже) тепловизионный контроль [1,2]. Вибрационные испытания ДГУ проводятся на стадии приёмо-сдаточных испытаний. Целесообразным с точки зрения обеспечения надежности оборудования является проведение вибрационного контроля, виброналадки в течение всего периода эксплуатации. Вибрационными методами можно обследовать большую часть основного, навешанного и вспомогательного оборудования, которое можно отнести к вращающимся механизмам. НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ в рамках договора со Смоленской АЭС была разработана «Рабочая программа диагностирования дизель-генератора 15Д-100 энергоблоков АЭС по показателям вибрации и тепловизионного контроля».

**Таблица 1.** – Методы диагностирования ДГУ

Метод диагностирования	Решаемые задачи
1	2
Проверка соответствия частоты вращения, тока, напряжения, мощности значениям предусмотренным программой ступенчатого пуска	Выявление грубых эксплуатационных дефектов
Измерение давления в цилиндрах на протяжении рабочего цикла	Определение отклонения ФУОВТ. Определение степени неравномерности вращения коленвала. Определение зазоров в сочленении поршня (косвенно).
Химический анализ сажи (на предмет наличия продуктов неполного сгорания)	Определение отклонения ФУОВТ (косвенно) Определение износа уплотнительных колец поршневых цилиндров (косвенно)

Продолжение таблицы 1

1	2
Тепловизионный контроль	Выявление дефектов отдельных узлов и деталей
Спектральный анализ отработанного масла (на предмет обнаружения следов разрушения)	Выявление дефектов отдельных узлов и деталей
Вибродиагностика	Выявление грубых эксплуатационных дефектов. Определение отклонения ФУОВТ. Определение степени неравномерности вращения коленвала. Определение износа уплотнительных колец поршневых цилиндров. Определение зазоров в сочленении поршня. Выявление дефектов отдельных узлов и деталей. Выявление дефектов на ранних стадиях развития. Определение тенденции состояния. Прогнозирование состояния.

В соответствии с программой на оборудовании согласно нормативным документам (ISO 10816-6:1995) устанавливаются вибродатчики [3,4]. Датчики измеряют уровень вибрации в осевом, вертикальном, горизонтальном направлениях (соответственно – x, y и z), как показано на рисунке 1.

На ДГУ вибрация измеряется в соответствии с нормативами для мощных электрических машин (более 100 кВт). На возбудителе вибрация измеряется как для машин малой мощности (менее 100 кВт). Воздуходувки, топливоподкачивающие насосы, газотурбо-нагнетатели, водяные и масляные насосы рассматриваются как винтовые, шестерные и центробежные насосы – для них предусматривается общая схема установки датчиков. Причем, навешанное оборудование, приводимое в действие от вала ДГУ, диагностируется по показаниям датчиков x1, y1, y2, z1-z4. Автономное оборудование предусматривает наличие электродвигателей, которые диагностируются по показаниям датчиков x2, y3-y5, z5-z8. Топливный насос является поршневым и для него предусматривается своя схема установки датчиков.

Общее вибрационное состояние оценивается по измеренным значениям вибросмещения, виброскорости, виброускорения согласно ISO 10816-6:1995. Так при достижении виброскорости 17,8 мм/с эксплуатация машин с уровнем мощности как у 15Д-100 возможна ограниченное время, пока не появится подходящая возможность для проведения ремонтных работ. Следует отметить, что датчики, установленные непосредственно на генераторе и вблизи генератора, регистрируют более высокие уровни вибрации. Также наблюдается рост вибрации с ростом мощности. Данные особенности наблюдались при проведении приёмо-сдаточных испытаний ДГУ.

Таким образом, по общему уровню вибрации определяется работоспособность ДГУ. Для более глубокого анализа предлагается использование пик-факторного анализа, спектрального и кепстрального анализа.

Пик-фактор определяется отношением амплитуды (максимального значения) сигнала к действующему (среднеквадратичному) значению сигнала:

$$\Pi = \frac{A_{max}}{A_{СКЗ}}$$

Превышение пик-фактором среднего значения для данной точки измерения



требует поиска дефектов с использованием спектрального и кепстрального анализа. При анализе спектра выявляется наличие гармоник на частотах вращения валов, подшипников, шестеренных деталей; оценивается тенденция роста или снижения гармоник, учитывается направление вибрации. Кепстральный анализ в нашей методике применяется для повышения чувствительности с целью выявления гармоник на частотах подшипников и шестеренчатых деталей.

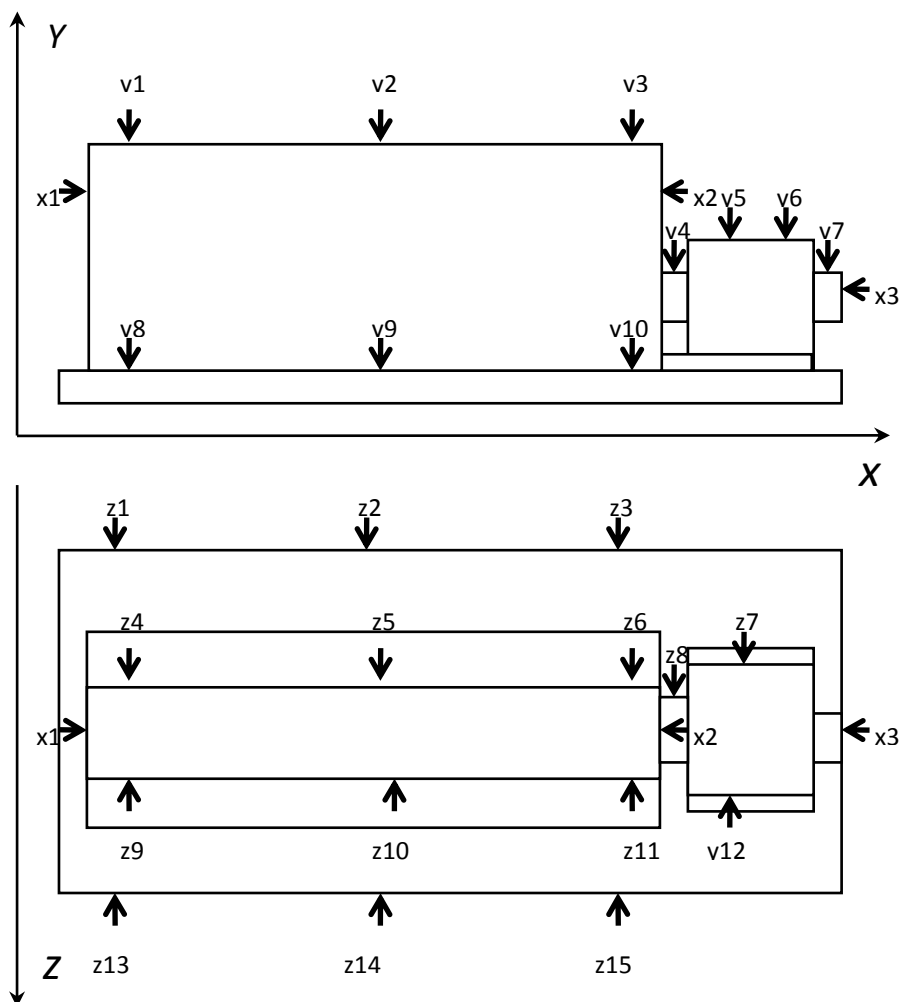


Рис. 1. Установка датчиков на ДГУ

Диагностирование ЦПГ требует особого подхода, связанного с анализом огибающей (СКЗ) сигнала вибрации [5]. При работе дизеля циклически и в неизменном порядке повторяются следующие шесть событий: достижение поршнем внутренней мертвой точки, начало открытия выпускных окон, начало открытия впускных окон, закрытие выпускных окон, закрытие впускных окон, достижение наружной мертвой точки и начало впрыска топлива. Каждый поршень проходит по три впускных и по три выпускных окна. Данные события жестко привязаны к углу поворота коленвала. При известной частоте вращения вала (для 15Д-100 – 12,5 Гц) можно привязать события ЦПГ ко времени. В огибающей сигнала вибрации каждому событию соответствует всплеск амплитуды. Связав пики на огибающей с известными частотами, можно получить эталонную огибающую сигнала вибрации для одного из поршней дизеля 15Д-100 (см. рисунок 2). Обозначим события, связанные с работой одного поршня (с учетом прохождения всех впускных и выпускных окон)  $N_{п}=12$ .

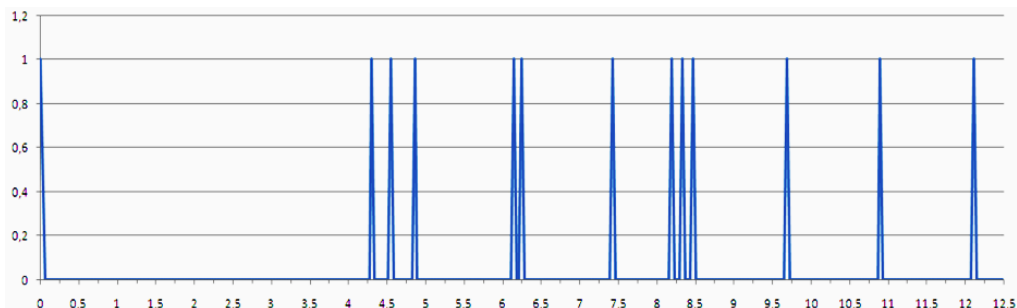


Рис. 2. – Пики огибающей вибрации, соответствующие срабатыванию одного поршня ДГУ 15Д-100

Учитывая, что в дизель-генераторе конструкции 15Д-100 два поршня движутся навстречу друг другу, то известные события, начиная от достижения поршнем внутренней мертвой точки до начала впрыска топлива, происходят дважды со сдвигом по углу поворота вала  $12^\circ$ . Обозначим число событий, происходящих за один период работы поршня  $N_{ц}=2N_{п}=24$ . Таким образом, эталонная огибающая сигнала вибрации, отображающая работу двух поршней одного из цилиндров дизеля должна содержать уже двенадцать пиков, и принимает вид, представленный на рисунке 3.

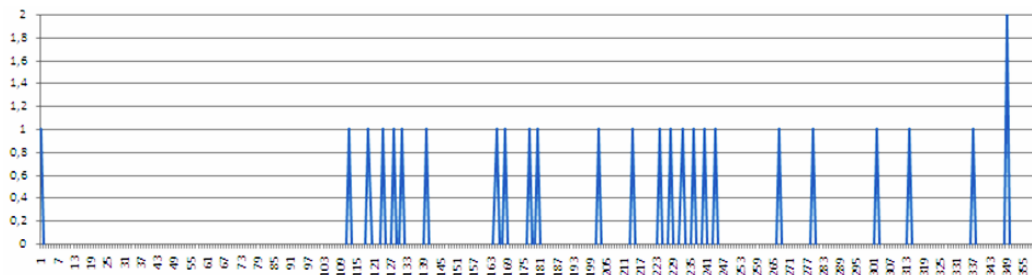


Рис. 3. – Пики огибающей вибрации, соответствующие срабатыванию одного цилиндра ДГУ 15Д-100

Поскольку датчики установлены на корпусе дизеля, то они улавливают изменение вибрации, связанные с работой всех десяти цилиндров дизеля 15Д-100, события в которых происходят со сдвигом по времени, соответствующем углу поворота вала  $360^\circ$ . При этом число событий всей цилиндро-поршневой группы определяется соотношением  $N_{цпг}=20N_{ц}=2*10N_{п}=110$ . Это значит, что в сигналах датчиков  $x_1, x_2, y_1-y_3, y_8-y_{10}, z_4-z_6, z_9-z_{11}$  должны наблюдаться сто двадцать пиков за цикл, как показано в эталонной огибающей на рисунке 4.

С целью диагностики ЦПГ мы предлагаем сравнение эталонной огибающей с усредненной огибающей сигналов вибрации. Под усредненной огибающей мы понимаем усредненные по всем датчикам на периоде обращения вала среднеквадратичные значения.

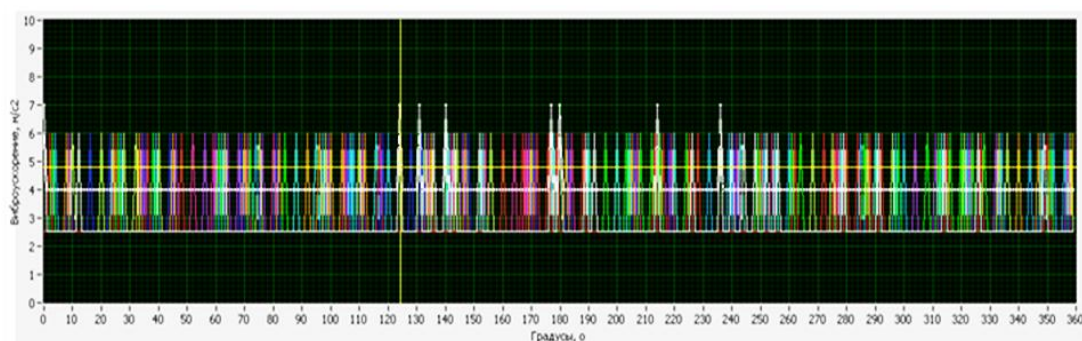


Рис. 4 – Наложение эталонной и усредненной огибающих сигнала вибрации ЦПГ ДГУ 15Д-100

Сравнение предполагает наложение усреднённой и эталонной огибающей.

Выявленное при наложении несовпадение пиков является признаком неравномерности вращения колен вала. Несовпадение пиков в момент впрыска топлива является специфическим признаком отклонения фактического угла впрыска топлива (ФУВТ). Несовпадение пиков в моменты прохождения нижней и верхней мертвых точек мы связываем с увеличением зазоров в сочленении поршня. Повышение амплитуды относительно среднего значения в моменты открытия и закрытия впускных или выпускных окон свидетельствует об износе уплотнительных колец впускных или выпускных окон. Выявляемые дефекты, – отклонение ФУВТ, увеличение зазоров в сочленении, износ уплотнительных колец, – однозначно на основании известной очередности событий связываются с конкретными цилиндрами.

В рамках программы диагностики была разработана подсистема, которая оценивает отклонения времен наступления событий и амплитуд в измеренном сигнале. Таким образом, предлагаемый анализ СКЗ сигналов вибродатчиков, устанавливаемых на корпус (картер) дизеля, позволяет выявить три группы дефектов ЦПГ, и указать цилиндр, в котором наблюдается дефект автоматически.

Выявленные дефекты дизель-генератора необходимо классифицировать согласно ГОСТ 15467-79 с целью принятия решения о возможности продолжения работы дизеля до плановой остановки или немедленного прекращения его работы. Например, код Д45 соответствует задеванию вращающихся деталей воздухоудовки это значительный дефект и частично неработоспособное состояние. В этом случае желательно остановить работу ДГУ для устранения неисправности.

Результаты диагностики предлагается оформить в виде протокола, который отображает соответствие (или не соответствие) диагностических параметров нормативным значениям; комментарии к графикам огибающей, спектра, кепстра. На втором листе протокола прилагаются огибающая, спектр и кепстр. Форма протокола отличается для генератора, ЦПГ, навешанного и вспомогательного (автономного) оборудования.

Таким образом, внедрение диагностики по показателям вибрации позволяет обследовать вращающееся оборудование, входящее в группу ДГУ АЭС. Вибродиагностика обеспечивает глубину поиска дефектов, которую невозможно достичь, используя другие методы. При этом выявляются дефекты на ранних стадиях развития, определяется тенденции и прогнозируется состояние оборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Насибуллин, Ф.Ф.* Основы технической диагностики вагонов [Текст] / Ф.Ф. Насибуллин : учебное пособие для студентов 4 курса специальности «Вагоны». – Кировский филиал российского государственного открытого технического университета путей сообщения, 2004.
2. *Кононова, Е.А. и др.* Выбор обобщенного диагностического параметра для оценки технического состояния дизель-генератора [Текст] / Е.А. Кононова, А.А. Нечаус, А.П. Серпутько // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – Випуск 3(25).
3. ISO 10816-6:1995 Вибрация механическая. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 6. Машины с возвратно-поступательным движением номинальной мощностью свыше 100 квт.
4. *Розенберг, Г.Ш. и др.* Вибродиагностика [Текст] / Г.Ш. Розенберг, Е.З. Мадорский, Е.С. Голуб. / Под ред. Г.Ш. Розенберга. – СПб.: ПЭИПК, 2003..
5. *Пугачёв, А.К.* Метод вибродиагностики привода системы управления и защиты реактора АЭС [Текст] А.К. Пугачев : дис. канд. тех. наук. – М., 1990.

## 15D-100 Diesel Generator Diagnostics on Vibration Indicators

O.J. Pugachyova, A.K. Pugachyov, V.I. Soloviev, E.A. Abidova

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

**Abstract** – The research tells about diesel-generator installation as the most important element of nuclear power plant safety system. Scientific research institute "Nuclear Power Mechanical Engineering" of Volgodonsk Engineering Technical Institute of National Nuclear Center of Moscow State Engineering Physics Institute within the contract with the Smolensk Nuclear Power Plant developed the working program of diagnosing of the diesel generator 15D100. In article the basic provisions of this program concerning the vibroacoustic analysis are stated.

When developing approaches to diagnosing authors consider normative documents, features of operation of the diesel-generator equipment in the conditions of the nuclear power plant, generalize experience of diagnosing of the similar equipment in the transport sphere. Diagnostics on indicators of vibration covers all rotating equipment (pumps) entering into group of diesel-generator installation.

Much attention in the article is paid to a choice of installation sites of vibration sensors. As methods of diagnostic data processing the preference is given to the spectral and cepstral analysis, the peak-factor and trend characteristics also are used. It is offered to estimate a deviation of the actual corner of fuel injection, wear of sealing rings, increase in a gap in a piston joint on bending around a vibration signal.

Methods offered by authors have to provide reliable diagnosing of the equipment, detection of defects at early stages of development, forecasting of the diesel generator condition.

*Keywords:* safety of the nuclear power plant, diesel generator diagnostics, diagnostics of pumps, vibration sensors, points of measurement of vibration, spectrum, cepstrum, peak-factor, trend, the actual corner of fuel injection deviation.

УДК 62-551.4

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000

© 2014 г. А.А. Тямалов, Я.А. Дубченко

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

Особенность процессов управления в системе компенсации давления АЭС с ВВЭР-1000 состоит в том, что некоторые из регуляторов воздействуют на одни и те же исполнительные механизмы, только в различных режимах работы. В статье приводится путь упрощения системы регулирования за счет объединения регуляторов с похожими функциями.

*Ключевые слова:* компенсатор давления, ВВЭР-1000, регулятор, управляющее воздействие, режим работы КД, идентификация параметров.

Поступила в редакцию 15.06.2014 г.

Современными международными правилами и нормами атомной энергетики утверждается, что обеспечение безопасной эксплуатации атомных станций является приоритетной задачей по сравнению с улучшением экономических, технологических и любых других показателей работы энергоблоков (INSAG-12), причем с течением времени требования к безопасности АЭС становятся все более жесткими. Важность качественного и устойчивого управления параметрами компенсатора давления, как в режимах нормальной эксплуатации, так и в аварийных режимах, подтверждается несколькими инцидентами (аварийными ситуациями), вызвавшими широкий общественный резонанс, например, авария на Три-Майл-Айленд США, где неправильные показания уровнемера в компенсаторе давления привели к дальнейшей утечке теплоносителя первого контура.

Система компенсации давления маркируется латинскими буквами YP и является важнейшим технологическим звеном первого контура АЭС с реактором ВВЭР-1000. Она играет одну из ключевых ролей на всех этапах жизненного цикла атомной станции и оснащена несколькими регуляторами, поддерживающими заданный режим работы оборудования (рисунок 1). Перечислим эти регуляторы:

- YPC01 – всережимный регулятор давления;
- YPC02 – штатный регулятор уровня в КД;
- YPC03 – пусковой регулятор уровня в КД;
- YPC04 – регулятор расхолаживания КД;
- YPC05 – регулятор "тонкого" впрыска.

Особенность процессов управления в системе компенсации давления состоит в том, что некоторые из регуляторов выполняют похожие функции, только в различных режимах работы.

Регулятор YPC01 поддерживает номинальное давление  $160 \text{ кгс/см}^2$  над активной зоной реактора во всех эксплуатационных режимах кроме режимов разогрева/расхолаживания блока. Заданные пределы поддержания давления: от  $157,5$  до  $166 \text{ кгс/см}^2$  (таблица 1). Входными сигналами регулятора является давление над

активной зоной, измеряемое двумя датчиками "Сапфир 22ДИ" YC10P01B1 (основной) и YC20P22B1 (резервный). Управляющим воздействием является изменение подогрева теплоносителя в КД путем поочередного включения и отключения четырех групп электронагревателей YP10W01,02,03,04, изменение расхода воды на впрыск в КД путем открытия и закрытия двух быстродействующих вентилей YP11,12S02 (рисунок 2). Для форсирования закрытия впрысков и упреждающего включения электронагревателей КД при быстром падении давления над активной зоной в схему введен сигнал по скорости падения давления в первом контуре.

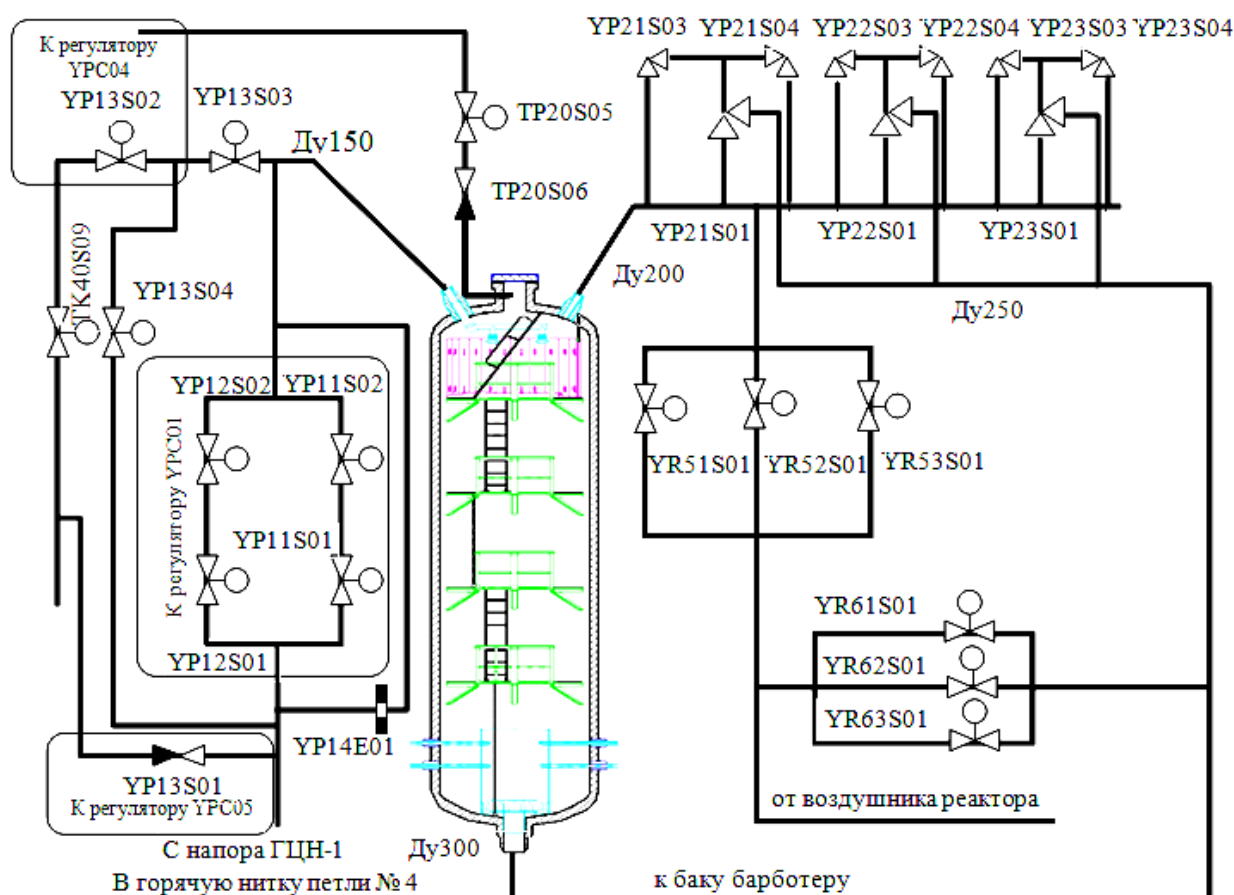


Рис. 1. Тепловая схема системы компенсации давления

Таблица 1. – Уставки срабатывания электронагревателей

Нагреватели	Включение	Отключение
YP10W01	158,5 кгс/см <sup>2</sup>	160,5 кгс/см <sup>2</sup>
YP10W02	157,5 кгс/см <sup>2</sup>	159,5 кгс/см <sup>2</sup>
YP10W03	157,5 кгс/см <sup>2</sup>	158 кгс/см <sup>2</sup>
YP10W04	157,5 кгс/см <sup>2</sup>	158 кгс/см <sup>2</sup>

Регулятор YPC02 поддерживает заданный уровень теплоносителя в КД во всех

режимах. Заданное значение уровня формируется в зависимости от максимальной средней температуры петель и обеспечивает поддержание постоянной массы теплоносителя в первом контуре. Закон регулирования – пропорциональный за счет введения жесткой обратной связи по материальному балансу теплоносителя первого контура (рисунок 3).

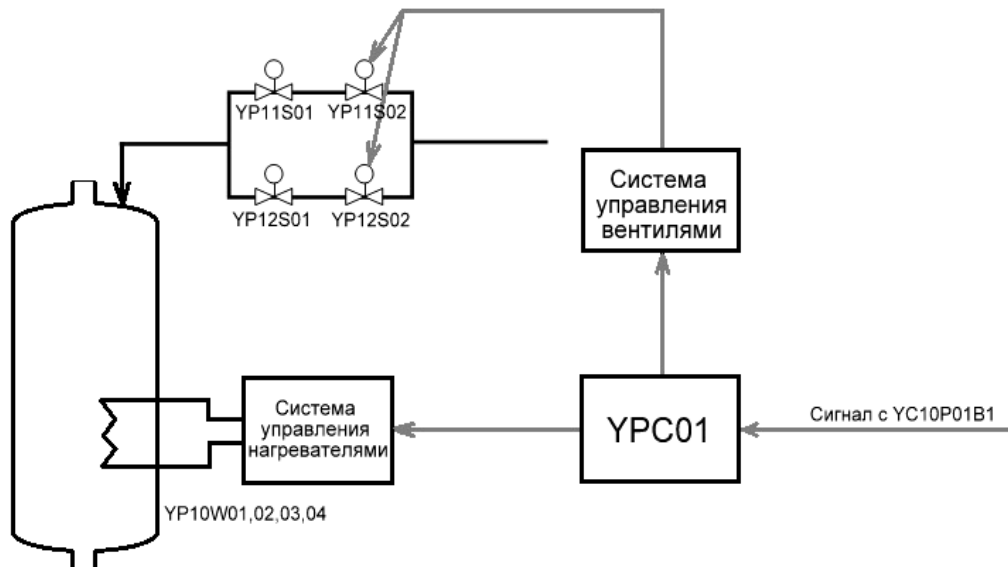


Рис. 2. Схема всережимного регулятора YPC01

Входные сигналы – уровень в КД, материальный баланс теплоносителя 1 контура и максимальная средняя температура петель. Управляющее воздействие – изменение расхода подпитки первого контура воздействием на регулирующие клапаны подпитки TK31,32S02.

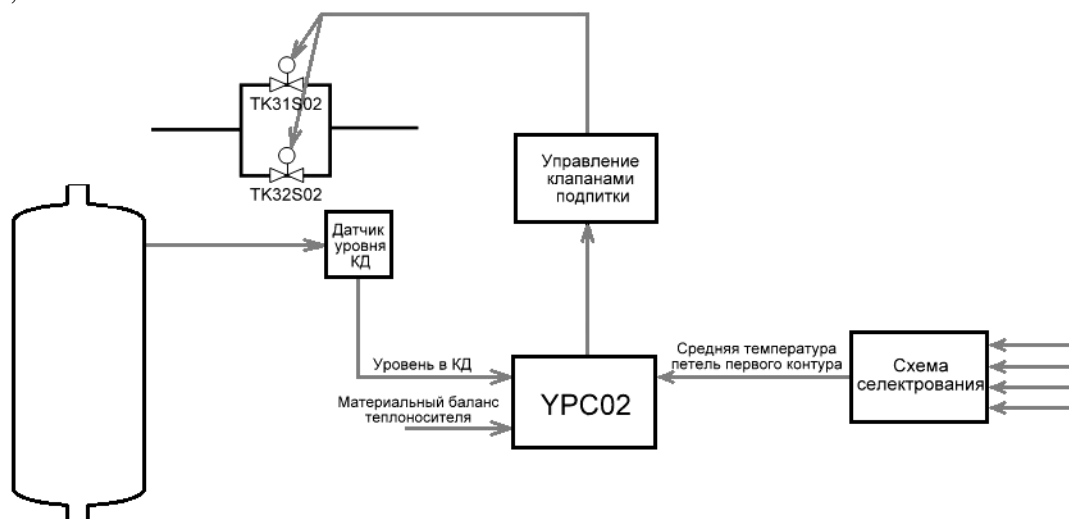


Рис. 3. Схема регулятора уровня YPC02

YPC03 является пусковым регулятором, который поддерживает заданные (дискретные) значения уровня в КД и обеспечивает режимы пуска и расхолаживания. Входные сигналы – уровень в КД с коррекцией по температуре среды, задатчик. Закон регулирования, регулируемый параметр и управляющее воздействие у YPC03 те же, что и у YPC02.

Как можно видеть, регуляторы YPC02, YPC03 выполняют одну и ту же функцию и управляют одними и теми же клапанами, только в разных режимах. Таким образом,

их можно заменить одним всережимным регулятором, если реализовать идентификацию текущего режима работы КД (пример реализации идентификации режимов показан в статье Идентификация технологических состояний процесса ручной дуговой сварки на основе математических моделей и методов нелинейной динамики). Входными воздействиями регулятора будут уровень в КД, материальный баланс теплоносителя 1 контура и максимальная средняя температура петель, а также задатчик для работы в режимах пуска и расхолаживания (рисунок 4).

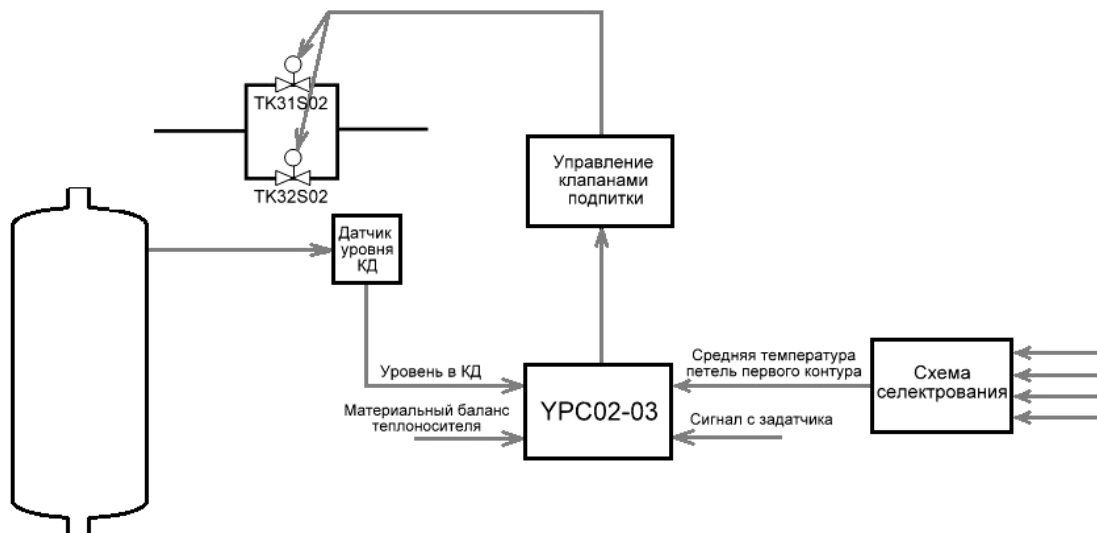


Рис. 4. Модернизированный регулятор YPC02-03

Регулятор YPC04 поддерживает заданную разность температур между компенсатором давления и горячими нитками петель в режимах разогрева и расхолаживания реакторной установки (рисунок 5). Заданное значение разности температур ( $55^{\circ}\text{C}$ ) поддерживается за счет изменения температуры теплоносителя в КД путем впрыска теплоносителя из холодной нитки первой петли.

Закон регулирования – пропорционально-интегральный.

Входными сигналами являются сигнал задающего устройства, максимальная температура горячих ниток петель, температура теплоносителя в КД.

Управляющее воздействие – изменение расхода воды на впрыск в КД регулирующим клапаном YP13S02.

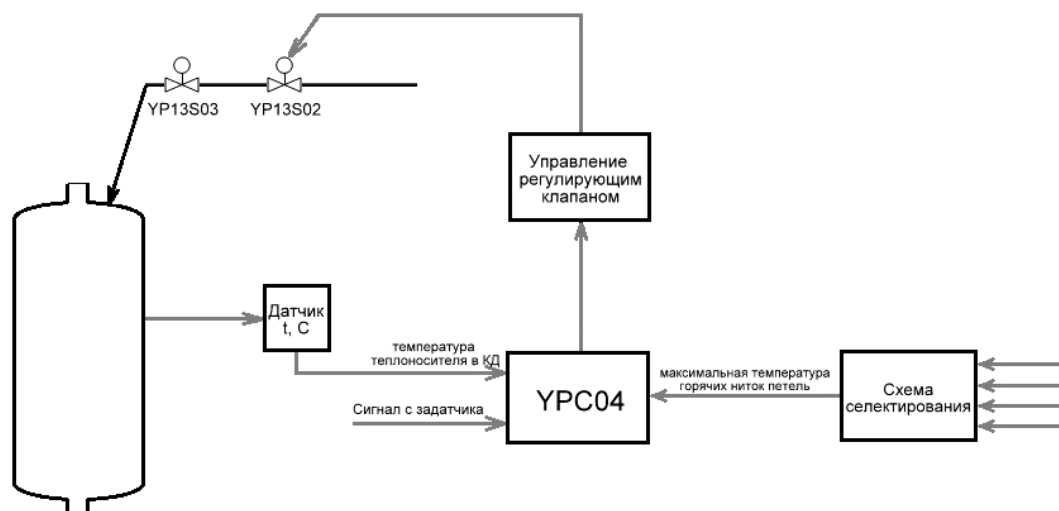


Рис. 5. Схема регулятора YPC04



Регулятор YPC05 поддерживает номинальное давление  $160 \text{ кгс/см}^2$  над активной зоной реактора (рисунок 6). Заданные пределы поддержания давления: от  $162$  до  $165 \text{ кгс/см}^2$

Закон регулирования – пропорциональный (реализован охватом ПИ регулятора жесткой обратной связью по положению регулирующего органа).

Входным сигналом регулятора является давление над активной зоной, измеряемое двумя датчиками "Сапфир 22ДИ" YC10P01B1 (основной) и YC20P22B1 (резервный).

Управляющим воздействием является изменение расхода воды на впрыск в КД путем воздействий на регулирующий клапан YP13S02.

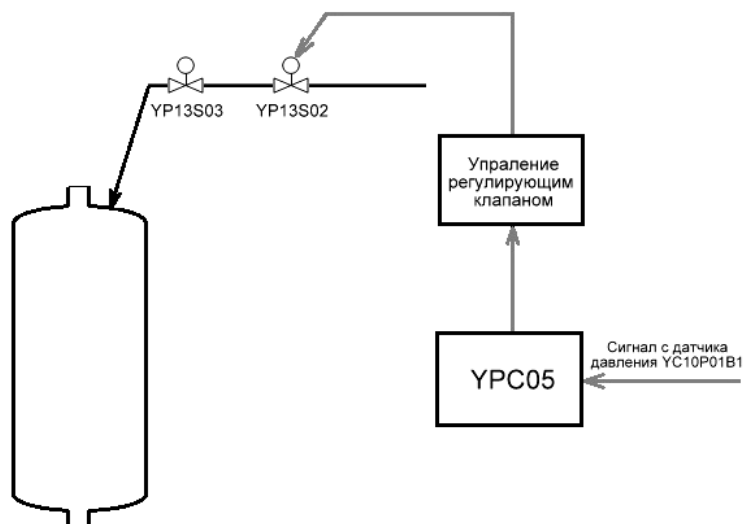


Рис. 6. Регулятор давления YPC05

Регуляторы YPC04 и YPC05 воздействуют на один и тот же клапан впрыска в КД. Это позволяет заменить их на один регулятор, работающий как в нормальном режиме, так и в режимах разогрева и расхолаживания реакторной установки (рисунок 7). Этот регулятор должен объединять в себе входные сигналы исходных регуляторов и идентифицировать текущий режим работы КД для выработки соответствующего управляющего воздействия на регулирующий клапан.

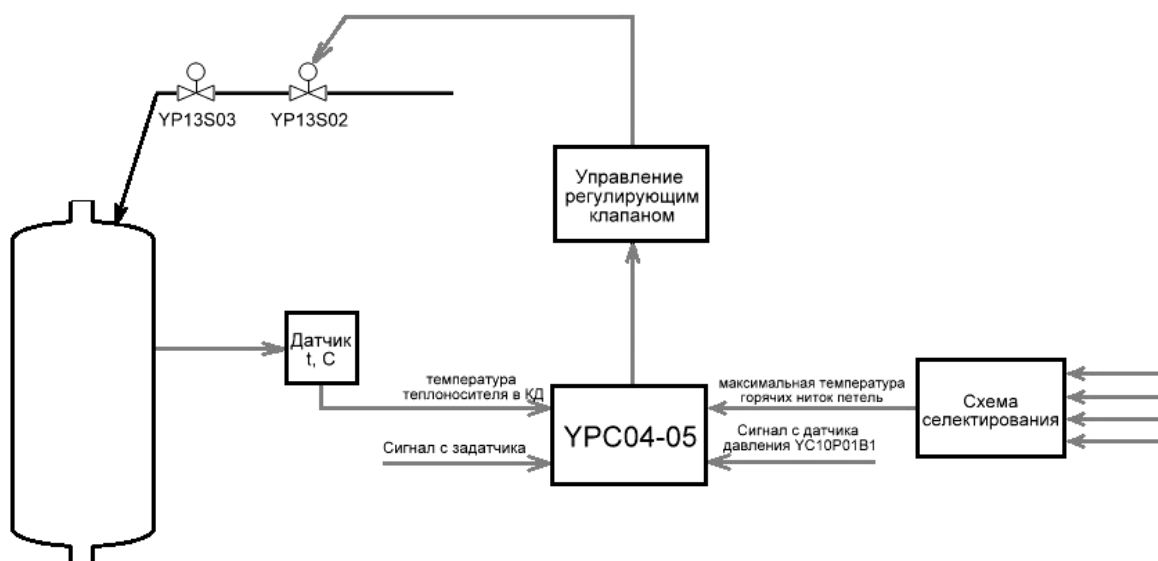


Рис. 7. Схема модернизированного регулятора YPC04-05

Среди режимов работы КД предлагается выделить следующие:

- 1) пусковой режим;
- 2) стационарный режим на постоянной мощности при нормальной эксплуатации;
- 3) переходной режим при нормальной эксплуатации;
- 4) режим расхолаживания;
- 5) аварийный режим.

В качестве параметров, по которым следует выполнять идентификацию, можно использовать:

- а) концентрацию азота или пара в КД;
- б) температуру и давление в КД, а также скорости их изменения;
- в) концентрацию бора в первом контуре;
- г) скорость изменения уровня воды в КД.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорин, В.М. Исследование и математическое моделирование АЭС на основе системного подхода [Текст] / В.М. Зорин. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 88с.
2. Демченко, В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС [Текст] / В.М. Демченко. – Одесса: «Астропринт», 2001. – 305 с.
3. Андрушечко, С.А. и др. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта [Текст] / С.А. Андрушечко, А.М. Афров, Б.Ю. Васильев, В.Н. Генералов, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семченков, В.Ф. Украинцев. — М.: Логос, 2010. — 604 с.

### **Features of Management in Technological Parameters of Pressurizer System of the Nuclear Power Plant with the VVER-1000 Reactor**

**A.A. Tyamalov, Y.A. Dubchenko**

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

**Abstract** – The feature of management processes in pressurizer system of VVER-1000 is that some of regulators influence the same executive mechanisms in various operating modes. The way of simplification of system of regulation is given in article at the expense of association of regulators with similar functions.

**Keywords:** pressurizer, VVER-1000, regulator, operating influence, operating mode of the pressurizer, identification of parameters.

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

УДК 621.039:006.1

**ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ В АТОМНОЙ  
ЭНЕРГЕТИКЕ: ПОНЯТИЕ, СИСТЕМА, ПЕРСПЕКТИВЫ**

© 2014 г. Н.В. Абросимова

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

В статье исследуется понятийно-категориальный аппарат профессионального стандарта и его ключевые характеристики, раскрываются основные направления деятельности по разработке, утверждению и применению профессиональных стандартов в атомной энергетике, рассматриваются вопросы систематизации действующих профессиональных стандартов в атомной отрасли, а также дается неоднозначная оценка перспективам применения профессиональных стандартов в практической деятельности.

*Ключевые слова:* атомная энергетика, профессиональный стандарт, квалификация работника, уровни квалификаций, обобщенная трудовая функция, трудовое действие.

Поступила в редакцию 09.04.2014 г.

Еще несколько веков назад так называемые первые профессиональные стандарты были у всех на виду в буквальном смысле: над мастерской сапожника висел сапог, над пекарней – калач и т.д.

Времена меняются, под влиянием научно-технического прогресса требования к профессиям стали предъявляться с позиций, диктуемых работодателями. Современные приоритеты сводятся к наличию у специалиста, трудоустраивающегося в организации, таких квалификационных характеристик, при наличии которых он сразу способен приступить к работе, без дополнительного обучения или вынужденного наставничества.

Ранее работодатели в процессе трудоустройства потенциальных работников руководствовались квалификационными справочниками (ЕТКС и ЕКС). Однако описание профессий в них было чрезвычайно куцым, и не давало полного представления о том, что должен знать и уметь человек, чтобы считаться профессионалом. Кроме того, деление одной профессии на множество подвидов привело к существованию в общей сложности свыше 7,5 тыс. профессий, из них: 5 тыс. – профессий рабочих и 2,5 тыс. – должностей служащих. Для сравнения в Европе их, например, 600-700.

Таким образом, назрела насущная потребность, во-первых, «укрупнить» существующие профессии с учетом запроса работодателей, во-вторых, провести ревизию невостребованных профессий, и, в-третьих, подвергнуть правовому регулированию вновь появившиеся профессии, сформировавшиеся под влиянием современного уровня развития науки и техники.

Для того, чтобы решить такую непростую задачу необходимо было на законодательном уровне разработать понятийно-категориальный аппарат и определить ключевые направления деятельности, связанной с разработкой, утверждением и применением профессиональных стандартов.

Термин «профессиональный стандарт» появился в российской правовой системе относительно недавно. Федеральным законом от 03.12.2012 № 236-ФЗ Трудовой кодекс

Российской Федерации был дополнен статьей 195.1, которая установила, что профессиональный стандарт – это характеристика квалификации, необходимой работнику для осуществления определенного вида профессиональной деятельности. Под квалификацией работника при этом стали понимать уровень знаний, умений, профессиональных навыков и опыта работы работника.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 № 597 «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики», в период до 2015 года должно быть разработано и утверждено не менее 800 профессиональных стандартов.

Правовую основу деятельности по разработке и утверждению профессиональных стандартов составляют:

1) Постановление Правительства Российской Федерации от 22.01.2013 № 23 «О Правилах разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов»;

2) План разработки профессиональных стандартов на 2012 – 2015 годы, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.11.2012 № 2204-р;

3) План-график подготовки профессиональных стандартов в 2013-2014 годах, утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 30.11.2012 № 565.

Для методического обеспечения деятельности по разработке профессиональных стандартов были подготовлены следующие документы:

а) Макет профессионального стандарта, утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12.04.2013 № 147н;

б) Уровни квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов, утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12.04.2013 № 148н;

в) Методические рекомендации по разработке профессионального стандарта, утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29.04.2013 № 170н.

Необходимо отметить, что атомная отрасль, одна из немногих, где профессиональные стандарты, как нигде, востребованы. Именно профессиональные стандарты в итоге будут влиять на государственные образовательные стандарты подготовки специалистов для предприятий атомной энергетики. В настоящее время выпускники технических вузов, получив дипломы, зачастую, не владеют необходимыми навыками и знаниями для выполнения своих обязанностей и, в целом, для успешной карьеры. Дело в том, что в высшей школе до недавнего времени большое внимание уделялось теоретической подготовке в ущерб практическому обучению, например, через деловые игры, практикумы и др.

Такая ситуация побудила законодательные органы Российской Федерации, работодателей, научную общественность переосмыслить фундаментальные методологические подходы к сущности и содержанию образовательного процесса в российской высшей школе, в том числе и к выпускникам инженерно-технических вузов [1]. В частности, речь идет о перестройке системы подготовки специалистов для работы в атомной промышленности.

В утвержденной Правительством Российской Федерации Программе создания и развития федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» на 2009-2017 годы отмечается, что существенная роль в создании современной экономики инновационного типа отводится атомной отрасли. Именно она должна стать «локомотивом» отрасли высоких технологий российской

экономики с целью обеспечения расширенного воспроизводства продукции атомной промышленности на основе развития ядерного оружейного, ядерного энергетического и научно-технологического комплексов, а также комплекса по обеспечению ядерной и радиационной безопасности, повышения международной конкурентоспособности и совершенствования потенциала государственного управления.

Как видно, подготовка кадров в России должна опережать реализацию программ разработки и развития технологий, строительства ядерных объектов и ввода их в эксплуатацию. Масштабный ввод атомных электростанций и других ядерных объектов опасен без тщательной проработки и реализации кадровой политики.

Следует отметить, что подобная ситуация складывается не только в России. В течение последних 20 лет более чем в 100 странах мира идет работа в области создания и внедрения национальных квалификационных структур и стандартов (НКС), национальных систем квалификаций (NQF). Лишь пять из них, в том числе Россия, осуществляют разработку НКС, NQF самостоятельно, для всех остальных Всемирным банком и Европейским союзом в рамках ряда программ, выделяются «донорские материалы и средства».

Интересной в этой связи представляется взаимосвязь таких международно-правовых категорий, как национальная рамка квалификаций, национальная система квалификаций и отраслевая рамка квалификаций, под которыми понимают:

– Национальная рамка квалификаций – организованные в единую структуру описания квалификаций, признаваемые на национальном и международном уровнях, посредством которых осуществляется измерение и взаимосвязь результатов обучения и устанавливается соотношение дипломов, свидетельств и других сертификатов об образовании.

– Национальная система квалификаций – инструмент повышения качества профессионального образования и его значимости для рынка труда, призванный обеспечить официальное признание результатов обучения независимо от места обучения, будь то учебное заведение или рабочее место (рынок квалификаций, а не рынок дипломов).

– Отраслевая рамка квалификаций предназначена для объединений работодателей, органов управления образованием, компаний, образовательных организаций, граждан и позволяет, в частности, разрабатывать процедуры оценки результатов образования и сертификации квалификаций, формировать систему сертификатов.

В России разработка профессиональных стандартов, в том числе, применительно к атомной энергетике, несомненно, должна учитывать национальные традиции, но все-таки, с опорой на международно-правовой опыт.

Для того чтобы учесть интересы работодателей в атомной отрасли должны быть разработаны и внедрены такие профессиональные стандарты, которые смогли бы учесть не только ключевые характеристики конкретной профессии, но и иные компетенции, рассматриваемые как крайне желательные и необходимые, например, коммуникабельность, лидерство, работа в команде, психология делового общения, специфика национальных культур и др.

Важно отметить, что любой профессиональный стандарт в целях унификации и единообразия правоприменения облекается в специальную форму – макет, учитывающую конкретный вид экономической деятельности, функциональную карту вида профессиональной деятельности, характеристику обобщенных трудовых функций, трудовых функций, трудовых действий, необходимых умений и знаний с учетом дополнительных характеристик (возможные наименования должностей, требования к образованию и обучению, к опыту практической работы, особые условия допуска к

работе). При этом, обобщенных трудовых функций в рамках конкретного профессионального стандарта может быть две и более, соответственно трудовые функции должны отражать назначение обобщенной трудовой функции, а трудовые действия, необходимые умения и знания – характеристику определенной трудовой функции. Кроме того, уровень квалификации, предусмотренный профессиональным стандартом, с максимальной точностью должен соответствовать объему полномочий и ответственности определенного вида деятельности, а также характеру умений и знаний, основным путям достижения данного уровня квалификации.

Например, профессиональный стандарт специалиста в области электроэнергетики учитывает следующие характеристики для должности мастера (инженера):

1) вид профессиональной деятельности – эксплуатация электротехнического оборудования АЭС;

2) требования к образованию и обучению – среднее профессиональное образование по программам подготовки специалистов среднего звена; высшее образование (бакалавр, специалист);

3) требования к опыту практической работы – без предъявления требований к стажу работы либо стаж работы в должности техника 1-й категории не менее 3-х лет;

4) особые условия допуска к работе – прохождение медицинского осмотра (отсутствие противопоказаний по состоянию здоровья), а также прохождение проверки знаний, инструктаж, стажировка, дублирования и получение допуска к самостоятельной работе;

5) обобщенная трудовая функция – техническое обслуживание, ремонт и диагностика сложного электротехнического оборудования и устройств главной схемы электрических соединений;

6) трудовая функция – техническое обслуживание устройств релейной защиты автоматики и средств электрических измерений на микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе;

7) трудовые действия – изучение работы устройств релейной защиты и электроавтоматики по записям аварийных режимов; проведение технического обслуживания и ремонта устройств релейной защиты и электроавтоматики в соответствии с графиком; организация устранения неисправностей и дефектов и др.;

8) необходимые умения – соблюдение требований техники безопасности на электроустановках, пожарной, радиационной и технической безопасности; применение средств индивидуальной защиты от поражения электрическим током; проверка отсутствия напряжения; устранение неисправностей в работе закрепленных устройств и др.;

9) необходимые знания – основные правила обеспечения эксплуатации АЭС; межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок; инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых на электроустановках; нормы и правила радиационной безопасности и др.;

10) уровень квалификации – 5 (пятый), предполагающий самостоятельную деятельность по решению практических задач, требующих самостоятельного анализа ситуации и ее изменений; участие в управлении решением поставленных задач в рамках подразделения; ответственность за решение поставленных задач или результат деятельности группы работников либо подразделения.

Следует подчеркнуть, что основное отличие ЕТКС и ЕКС от профессиональных стандартов состоит в следующем, если первые принимались и вводились в действие на законодательном уровне соответствующими органами государственной власти, то последние приобретают формат нормативного документа при условии прохождения специальной процедуры разработки с непосредственным участием заинтересованных

лиц (объединений работодателей, работодателей, профессиональных сообществ, саморегулируемых организаций, образовательных учреждений и др.).

По этому принципу в разработке и обсуждении профессиональных стандартов для атомной энергетики традиционно участвуют Концерн Росэнергоатом, НИЯУ МИФИ, ЗАО «НИИ», НИКИЭТ, НТЦ ЯРБ, профсоюзы разных уровней и др.

Кроме того, обязательным этапом формирования проектов профессиональных стандартов является их общественное обсуждение путем:

- размещения проекта профессионального стандарта на сайте разработчика проекта профессионального стандарта и сайтах участников его разработки;
- организации специальных форумов в сети Интернет;
- проведения конференций, круглых столов, семинаров и других публичных мероприятий;
- размещения информации о ходе разработки профессионального стандарта в средствах массовой информации.

Такой подход позволяет учесть мнение не только самих разработчиков, но и всех заинтересованных лиц прямо не задействованных в разработке проекта профессионального стандарта (работники, замещающие обсуждаемую должность, в настоящее время; работодатели, заинтересованные во введении данной должности в штатное расписание либо имеющие штат соответствующих работников; научные работники; студенты (будущие специалисты) и др.).

В целях согласования проектов нормативных правовых актов и методических рекомендаций по вопросам разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов, а также рассмотрения и подготовки экспертных заключений по проектам профессиональных стандартов в структуре Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации создан экспертный совет по профессиональным стандартам. Экспертный совет по итогам своей деятельности готовит мотивированное заключение о готовности проекта профессионального стандарта к утверждению либо о направлении его на доработку. Положительное решение экспертного совета ложится в основу утверждения профессионального стандарта приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации.

Основными документами, используемыми при разработке профессионального стандарта, по-прежнему остаются ЕТКС и ЕКС, положения которых принимаются за основу формирования профессиональных компетенций по конкретной должности. Однако макет профессионального стандарта отражает максимум информации о системе квалификационных требований, отражающей объемы компетенций работников, которые необходимы и достаточны для качественного выполнения ими своих должностных обязанностей (трудовых функций).

Для того чтобы учесть новые экономические условия, формирующие конкурентную среду и стимулирующие ускорение научно-технического прогресса, процесса вывода на рынок новых продуктов, техники и технологий, для разработанных и утвержденных профессиональных стандартов предусмотрен пятилетний срок действия.

В соответствии с требованиями действующего законодательства Российской Федерации система профессиональных стандартов представляет собой информационную базу, сгруппированную по видам экономической деятельности и роду занятий в единый реестр, создание и ведение которого осуществляется Министерством труда и социальной защиты Российской Федерации.

В настоящее время в атомной энергетике процедуру разработки и согласования прошли следующие профессиональные стандарты: оператор транспортно-технологического оборудования реакторного отделения, слесарь по обслуживанию

оборудования электростанций, машинист котлов в атомной энергетике, машинист-обходчик турбинного оборудования, оператор реакторного отделения, переработчик радиоактивных отходов, специалист в области ядерной безопасности, инспектор в атомной энергетике, оператор хранилища отработанного ядерного топлива и др.

Особо следует подчеркнуть, что помимо, собственно, разработки новых профессиональных стандартов, разработчики столкнулись с необходимостью актуализации ранее утвержденных профессиональных стандартов, но утративших юридическую значимость в связи с совершенствованием их правового регулирования.

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 [2].

В перспективе профессиональные стандарты должны стать основой для:

- разработки в установленном порядке федеральных государственных образовательных стандартов профессионального образования;
- конкретизации требований работодателей к работникам при выполнении ими трудовой функции;
- необходимой частью решения широкого круга задач в области управления персоналом (разработки стандартов предприятия, систем мотивации и стимулирования персонала, должностных инструкций);
- тарификации должностей, отбора и подбора персонала, планирования карьеры;
- установления систем оплаты труда с учетом особенностей организации производства, труда и управления;
- проведения процедур стандартизации и унификации в рамках вида (видов) экономической деятельности (установление и поддержание единых требований к содержанию и качеству профессиональной деятельности, согласование наименований должностей, упорядочивание видов трудовой деятельности и пр.);
- проведения оценки квалификации, аттестации и сертификации работников-специалистов;
- важным фактором при увольнении – в случае если работник не отвечает профессиональным требованиям (для защиты интересов работника).

Подводя итог, можно сделать вывод, что действующие профессиональные стандарты в атомной энергетике отражают наиболее устойчивые и воспроизводимые функции и компетенции работников, которые характерны для обеспечения технологических процессов в организациях атомной промышленности, что предполагает возможность признания профессиональной компетентности работников (сертификации) и способствует их мобильности.

Со временем планируется дополнить описание профессий визуальным рядом – фотографиями с рабочего места, а также видеороликами, чтобы люди, достигшие определенных высот в профессии, рассказали о ней подрастающему поколению [3].



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Даурина, В.Ф.* Уровень знаний российских выпускников не соответствует требованиям рынка труда [Электронный ресурс] // Карьерист: сетевой журн. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://www.career-st.ru/news/519> – 03.04.2014.
2. *Руденко, В.А. и др.* К вопросу об актуализации действующих профессиональных стандартов [Текст] / В.А. Руденко, Н.Н. Подрезов, Г.А. Доблер, Н.В. Абросимова // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 82-85.
3. *Сафонов, А.Л.* Специалист должен быть стандартным [Электронный ресурс] // Российская Бизнес-газета – Карьера и менеджмент. – 2012. – № 838(9). – Режим доступа: URL: <http://www.rg.ru/2012/03/06/sertifikat.html> – 08.04.2014.

## **Professional Standards in Nuclear Power Engineering: the Concept, System, Prospects**

**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: abnatvik@yandex.ru*

**Abstract** – The article considers the conceptual-categorical apparatus of a professional standard, and its key features, describes the major directions of activity on development, approval and application of professional standards in nuclear energy, the issues of systematization of existing professional standards in the nuclear industry, and also provides a mixed assessment of the prospects of application of professional standards in practice.

*Keywords:* atomic energy, professional standard, the qualifications of the employee, the levels of qualifications, generalized labor function, labour action.

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

УДК 378 : 621.311.25

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ  
СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ  
ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКОВ АЭС**

© 2014 г. А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, И.А. Якубенко

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

В работе обозначена необходимость введения в учебный процесс вузов, обеспечивающих подготовку специалистов для атомной отрасли, образовательного модуля, включающего изучение вопросов по производству монтажных работ при выводе из эксплуатации блоков атомных электрических станций (АЭС). Предложена структура и содержательное наполнение указанного модуля.

*Ключевые слова:* подготовка специалистов; образовательный модуль, структура и содержание модуля, вывод из эксплуатации, блок АЭС, монтажные работы.

Поступила в редакцию 15.06.2014 г.

## 1. ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Демонтаж оборудования и металлоконструкций – обязательная процедура заключительной стадии жизненного цикла энергоблоков атомных электростанций [1]. В нашей стране прекращена эксплуатация блоков первой очереди Белоярской АЭС и Нововоронежской АЭС. В этом и последующем десятилетии в связи с выработкой уже продленного срока службы предстоит остановить эксплуатацию еще 28 блоков, построенных в советское время. Вывод из эксплуатации блоков АЭС (ВЭ БАС) – сложный технологически и затратный экономически процесс, реализуемый в радиационно-опасных условиях. Работы по демонтажу оборудования и металлоконструкций занимают в этом процессе значительное место.

В разработке и реализации технологий монтажных работ должны участвовать специалисты, обладающие профессиональными компетенциями в этой области. Для их обучения образовательным организациям, осуществляющим подготовку по профильным специальностям (направлениям подготовки), необходимо провести корректировку основных образовательных программ с введением в них соответствующего модуля (новых дисциплин или выделением разделов в уже имеющихся) [2].

В настоящее время Волгодонский инженерно-технический институт – филиал НИЯУ МИФИ (далее – ВИТИ НИЯУ МИФИ) ведет подготовку инженеров по специальности 141403 – «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». В рабочем учебном плане специальности вопросы ВЭ БАС в части проведения монтажных и дезактивационных работ не имеют достаточного отображения.

Кроме того, учитывая высокую значимость и относительную новизну вопросов ВЭ БАС, а также наличие большого числа технологических и конструкторских решений, которые могут быть при этом реализованы, использование указанного

направления видится весьма перспективным в научно-исследовательской работе студентов (НИРС). Известно [3], что НИРС способствует проявлению индивидуальности, творческих данных, готовности к самореализации личности, обеспечивает развитие способностей к самостоятельным обоснованным суждениям и выводам, формированию объективной самооценки, приобретению навыков самостоятельной работы и работы в творческом коллективе, что является важнейшими компонентами становления современного выпускника, как специалиста.

Учитывая сказанное выше, становится актуальной задача разработки учебно-методических материалов, обеспечивающих изучение вопросов проектирования и реализации демонтажных технологий при ВЭ БАС. Эти учебно-методические материалы требуются как для обучения студентов специальностей, связанных с проектированием, технической эксплуатацией АЭС, так и при подготовке и переподготовке специалистов, уже работающих на АЭС и привлекаемых к данному направлению деятельности.

В настоящей работе представлены материалы по разработке концепции образовательного модуля (дисциплины) данного направления. Эти материалы отражают некоторый опыт авторов их применения в образовательном процессе ВИТИ НИЯУ МИФИ.

## 2. СТРУКТУРА МОДУЛЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ ТЕХНОЛОГИЙ ДЕМОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ НА БЛОКАХ АЭС, ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

По мнению авторов настоящей работы, модуль или учебная дисциплина должны быть структурированы следующим образом:

– *вводная часть*, представляющая современные взгляды на проблему ВЭ БАС, варианты реализации этой заключительной стадии их жизненного цикла, в том числе принятые варианты для российских АЭС;

– *общая часть*, охватывающая вопросы нормативного регулирования стадии вывода из эксплуатации, разработки программы и проекта вывода из эксплуатации, проведения комплексного инженерно-радиационного обследования (КИРО) и обращения с радиоактивными отходами, образующимися при демонтажных работах;

– *основная часть*, в расширенном изложении, чем предыдущие, представляющая материалы по разработке технологий демонтажа оборудования в части:

- а) использования проблемно-ориентированной системы проектирования;
- б) выполнения подготовительных и вспомогательных работ;
- в) обеспечения безопасности работ;
- г) методов и способов демонтажа оборудования.

– *заключительная часть*, рассматривающая опыт проведения демонтажных работ на отечественных и зарубежных блоках АЭС.

Модуль должен давать возможность понять проблему ВЭ БАС в целом и изучить ее составляющую – проектирование технологий и производство демонтажа оборудования.

## 3. СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ

### 3.1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Во вводной части необходимо дать определение понятия ВЭ БАС, сформулированное в [4], представить ситуации, возникающие на заключительном этапе жизненного цикла российских АЭС в ближайшей перспективе и осветить принятую

ОАО «Концерн Росэнергоатом» (далее – Концерн) концепцию ВЭ БАС.

Необходимо проанализировать концепцию, принятую в 1991 году Концерном и провозглашенной в качестве технической политики в области ВЭ БАС. В рамках этой политики подробно рассмотреть основные этапы ВЭ БАС, изложенные в [5].

Будущий специалист должен четко представлять проблемы, которые необходимо будет решать на каждом из этапов:

– *подготовка блока к ВЭ БАС* (в рамках условий действия лицензии на эксплуатацию блока);

– *окончательный останов блока*;

– *подготовка блока к ВЭ БАС* (в рамках условий действия лицензии на эксплуатацию блока, как остановленного для вывода из эксплуатации), включающую:

1) перевод блока АЭС в ядерно-безопасное состояние (удаление ядерного топлива из активной зоны реактора и в дальнейшем – с территории блока АЭС);

2) удаление радиоактивных рабочих сред и эксплуатационных радиоактивных отходов с блока АЭС и их переработка;

3) разработку всей необходимой технической и разрешительной документации, получение лицензии Ростехнадзора на ВЭ БАС;

– *ВЭ БАС.*

### 3.2. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

В общей части необходимо дать краткий анализ законодательного и нормативного регулирования в области ВЭ БАС, рассмотреть принципы технического регулирования в области ВЭ БАС и мероприятия, проводимые на различных этапах жизненного цикла блока АЭС в направлении обеспечения условий проведения ВЭ БАС, а также современное состояние проблемы обращения с радиоактивными отходами (РАО), темпы роста и объемы которых резко увеличатся с началом демонтажных работ на блоках АЭС.

В общую часть необходимо включить соответствующие разделы, приведенные ниже.

#### 3.2.1 *Законодательная и нормативная база, регламентирующие вопросы ВЭ БАС, которая содержит:*

– Федеральный закон № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (от 21.11.1995 г.);

– Федеральный закон № 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения" (от 9.01.1996г.);

– Федеральный закон №7-ФЗ "Об охране окружающей среды" (от 10.01.2002);

– РД ЭО 0013-93. Основные положения по снятию с эксплуатации блоков АС, отработавших проектный срок службы;

– НП 012-99. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции;

– РБ-013-2000. Требования к содержанию программы вывода из эксплуатации блока атомной станции;

– СП 2.6.1.2205-07. Обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции. Санитарные правила СП ВЭ БАС-07.

#### 3.2.2 *Принципы технического регулирования в области ВЭ в современном представлении*

Разработанная Концерном в 2009 г. вторая «Концепция подготовки и вывода из

эксплуатации блоков АС» учитывает, что экономическая эффективность и конкурентоспособность атомной энергетики выходят на первый план наряду с безопасностью. Поэтому при безусловном обеспечении безопасности необходимо разрабатывать и внедрять организационно-технические мероприятия, направленные на снижение стоимости работ по ВЭ БАС и обращению с РАО и эффективное управление издержками. Следует рассмотреть виды работ и мероприятий, влияющие на стоимость ВЭ.

Необходимо изучить вторую Концепцию ВЭ АЭС, в которой конкретизированы и детализированы мероприятия, выполняемые на каждой стадии их жизненного цикла для учета последующего их вывода из эксплуатации.

### *3.2.3 Мероприятия, выполняемые на стадии проектирования и эксплуатации блока АЭС*

Должны быть рассмотрены:

- концепция ВЭ БАС с описанием вариантов ВЭ БАС и указанием возможных вариантов использования площадки блока после завершения работ по ВЭ;
- перечень основных мероприятий по обеспечению безопасности ВЭ БАС;
- перечень систем и оборудования, необходимых для выполнения работ по ВЭ БАС, а также требования к их техническому состоянию;
- предложения по демонтажу элементов основных систем, оборудования и конструкций блока АЭС и рекомендуемые технологии для дезактивации и демонтажа при выполнении работ по ВЭ БАС.
- изучение опыта эксплуатирующей организации по обеспечению сбора, обработки информации и созданию базы данных по ВЭ БАС в объеме, необходимом для разработки программы и проекта ВЭ БАС.

### *3.2.4 Мероприятия, выполняемые при окончательном останове и переводе блока АЭС в ядерно-безопасное состояние*

Необходимо рассматривать вопросы:

- удаления радиоактивных рабочих сред из оборудования и технологических систем;
- штатной дезактивации оборудования, систем и строительных конструкций;
- переработки или удаления эксплуатационных радиоактивных отходов;
- КИРО блока АЭС в объеме, необходимом для разработки проекта ВЭ;
- разработки проекта ВЭБАС в сроки, установленные программой ВЭ;
- подготовки персонала для проведения работ по ВЭ.

### *3.2.5 Мероприятия, выполняемые на стадии вывода из эксплуатации*

Здесь требуется рассмотреть вопросы:

- локализации высокоактивного оборудования в помещениях реакторного отделения блока на период, определяемый проектом ВЭ БАС;
- создания дополнительных защитных барьеров и охранных зон для защиты от ионизирующего излучения персонала при проведении работ по ВЭ БАС;
- консервации оборудования, систем и строительных конструкций блока АЭС, использование которых предполагается на последующих этапах ВЭ.

Необходимо учесть, что на этапе подготовки блока к сохранению под наблюдением могут выполняться:

- работы по переработке накопленных и вновь образующихся РАО;
- демонтаж и удаление нерадиоактивного, слабозагрязненного и низко активированного оборудования и систем блока, не задействованных в обеспечении

безопасности и выполнении работ на последующих этапах ВЭ;

– последующая утилизация нерадиоактивного оборудования и переработка, кондиционирование и отправка кондиционированных РАО на организованное хранение или захоронение, в том числе, во временные хранилища на промплощадке АЭС.

Здесь же необходимо рассмотреть этап ликвидации блока АЭС, как «радиационного» объекта, включающий в себя:

– полный демонтаж локализованного и не демонтированного на предыдущих этапах радиоактивного оборудования и конструкций;

– переработку и вывоз всех РАО в федеральный объект окончательной изоляции на хранение или захоронение;

– доведение освобождаемой площадки блока АЭС до состояния, позволяющего ее неограниченное промышленное использование («серая лужайка»).

### *3.2.6 Мероприятия по обращению с РАО*

Должны быть рассмотрены основные решения, существующие на настоящее время по обращению с РАО с учетом действующего законодательства и нормативного регулирования.

## 3.3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЕМОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ

Разработка технологий демонтажа оборудования составляет основную часть учебной дисциплины и включает следующее.

### *3.3.1 Использование проблемно-ориентированной системы проектирования*

На основании анализа опыта проектирования и применения технологий демонтажа оборудования блоков АЭС в нашей стране и за рубежом разработана проблемно-ориентированная система технологического проектирования [6–9]. Основное назначение системы – информационная и методическая поддержка эксперта в решении технологических проблем ведения демонтажных работ на блоках АЭС, связанных:

– с обеспечением соответствия технологии демонтажа ограничениям и условиям проекта и технологического регламента ВЭ БАС в целом, в том числе технологии переработки радиоактивных отходов и утилизации материалов повторного (ограниченного и неограниченного) использования, получаемых при демонтаже;

– 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;

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

– с обеспечением радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды;

– с существующими ограничениями в потребных для производства демонтажных работ ресурсах (экономических, дозовых, временных, людских и других).

Как при разработке системы проектирования, так и в ее использовании оказалось полезным применение опыта оптимизационного подхода проектирования технологических процессов в машиностроении [8, 10, 11]. Технологический процесс понимается как структурная система, основным элементом которой является операция, при этом первая операция производится над объектом воздействия с начальным

набором характеристик, последующие операции – над объектами с промежуточными наборами характеристик и на выходе продукция имеет заданный набор характеристик.

При оптимизации технологического процесса необходимо, во-первых, сформировать оптимальным образом сам набор технологических факторов для всех операций, а, следовательно, количество и виды операций (произвести структурную оптимизацию), во-вторых, определить оптимальное значение каждого технологического фактора в операции (произвести параметрическую оптимизацию). Причем параметрическая оптимизация проводится на первом этапе технологического проектирования.

Для задач структурной оптимизации технологического процесса демонтажа оборудования блоков АЭС характерна конечность множества возможных вариантов и отсюда – возможность применения экспертом метода поиска оптимального варианта путем прямого перебора вариантов с оценкой по принятому критерию оптимальности.

Набор структурных оптимизационных факторов технологического процесса демонтажа оборудования обширен, эксперт отбирает их в массивах [6–8]:

- составляющих демонтажных работ (94 позиции);
- факторов действия технологии (6 видов, 195 факторов).

Среду условий и ограничений, представляемых реляционной моделью [6], составляют:

- данные по среде действия и демонтируемому оборудованию (9 классов объектов, 145 экземпляров отношений);
- граничные условия и условия безопасности (3 класса объектов, 75 экземпляров отношений).

Для обращения со столь развитым факторным массивом эксперт организует пространство проектирования путем формирования матриц отношений. Для разработки решений по отдельным факторам действия технологии эксперт сжимает пространство проектирования путем расчленения матрицы на кортежи сечений (построчных подмножеств) по каждому фактору.

Эксперт принимает решение, анализируя сведения и данные матрицы отношений и сопоставляя возможные альтернативы с системой критериев, определяемых средой условий и ограничений, в которой выполняются демонтажные работы. Система критериев также является частью пространства, предлагаемой системы проектирования.

### *3.3.2 Подготовительные и вспомогательные работы*

Рассматриваются виды подготовительных и вспомогательных работ, связанные с технологическими процессами демонтажа оборудования при ВЭ БАС, а именно:

- обустройство функциональное: рабочих зон; зон вспомогательных работ; трасс перемещения;
- подготовка: средств технологического оснащения (СТО) [12]; систем энерго-, жизнеобеспечения; систем и средств радиационной защиты;
- дезактивация и очистка помещений, систем и оборудования;
- дезактивация и очистка: зоны работ, СТО, упаковок РАО;
- контроль радиационный: зоны работ, СТО вне зоны работ, РАО, упаковок РАО;
- обращение с вторичными (сопутствующими) РАО: газообразными, жидкими, твердыми;
- техническое обслуживание СТО;
- утилизация СТО, средств радиационной защиты, вспомогательных средств по окончании демонтажных работ (при выходе из строя).

### 3.3.3 Обеспечение безопасности работ

В подготовке специалистов для работ, связанных с ВЭ БАС, этой стороне демонтажных работ должно быть уделено большое внимание. При проектировании и реализации технологии демонтажных работ действует множество факторов, определяющих условия обеспечения безопасности [6–9]:

- учет всех видов безопасности: радиационной; пожарной; экологической; безопасности труда и др.;
- факторы безопасности, обеспечиваемые способами демонтажа оборудования: при демонтаже целиком; при разборке; при разделке; при упаковке с перемещением продукции демонтажа;
- факторы безопасности, обеспечиваемые методами демонтажа оборудования: последовательность демонтажа по блоку, по помещению, по объекту воздействия; применение механизации, автоматизации, дистанционного управления операциями; использование приемов демонтажа;
- факторы безопасности, обеспечиваемые подготовительными и вспомогательными работами и за счет применения этих работ: подготовка рабочих и вспомогательных зон, трасс перемещения; подготовка, перемещение, очистка и дезактивация СТО; очистка и дезактивация рабочих зон и др.;
- факторы безопасности, обеспечиваемые техническим уровнем СТО: механизацией и автоматизацией; дистанционным управлением; надежностью; удобством обслуживания, дезактивации, ремонта и др.;
- факторы безопасности, обеспечиваемые применением радиационно-защитных экранов и устройств пыле-, влагозащиты и подавления; вентиляции и спецканализации; технологий, минимизирующих выделение вторичных РАО;
- факторы безопасности, обеспечиваемые организационно-техническими мероприятиями: применением средств индивидуальной защиты; дисциплинирующих ограждений и вывесок, выполнение работ по нарядам и под строгим дозиметрическим контролем и т.д.

Неотъемлемым условием производства демонтажных работ является соблюдение культуры безопасности и требований нормативных документов при проведении работ, связанных с радиационной безопасностью.

### 3.3.4 Методы и способы демонтажных работ

ВЭ БАС характеризуются разнообразием технологий и технических средств демонтажа, применяемых в зависимости от конкретных условий ведения работ.

Применяемые технологии демонтажа оборудования можно разделить по следующим основным вариантам [8, 9]:

- демонтаж оборудования целиком, например на АЭС Шиппингпорт, США;
- демонтаж оборудования целиком и крупными фрагментами с последующей разделкой на площадке блока (АЭС Уиндскейл, Англия);
- разделка оборудования по месту установки на фрагменты, пригодные для контейнеризации (реактор JPDR, Япония).

Демонтаж оборудования *крупными фрагментами* следует принимать как наиболее целесообразный. Под крупными фрагментами понимаются сборочные единицы и элементы оборудования с массогабаритными параметрами, которые требуют дальнейшей фрагментации на комплексе переработки РАО или, в меньшей степени, при подготовке к утилизации в качестве материалов повторного использования.

При этом разделка крупных фрагментов на специализированном посту комплекса переработки РАО после дезактивации и с использованием производительного



оборудования и процедур радиационной защиты выполняется при значительно меньших трудовых и дозовых затратах по сравнению с разделкой оборудования на мелкие фрагменты по месту его установки.

Рассматривается также выбор методов демонтажа оборудования, определяемый последовательностью демонтажных работ по зданиям блока в целом, по помещениям в зданиях блока, по отдельному помещению и отдельному виду оборудования. Выбор последовательности обосновывается проектом ВЭ БАС, планировкой и строительной конструкцией зданий и помещений, конструкцией оборудования и способом его установки, техническими и технологическим факторами.

В учебном пособии представлены современные способы фрагментации оборудования, оцениваются их преимущества и недостатки с позиций специфических условий ведения демонтажа оборудования при ВЭ БАС.

### 3.4. ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ВЭ БАС

Для будущих специалистов полезен анализ практического опыта демонтажных работ при крупных ремонтах и ВЭ БАС. Представлены известные к настоящему времени работы, выполненные на российских АЭС (при подготовке блоков к выводу из эксплуатации) и работы на ряде зарубежных АЭС (США, Англия, Германия, Япония).

Пособие заканчивается списком литературных источников, представляющих интерес для ознакомления с проблемой ВЭ БАС и производством демонтажных работ на этом заключительном этапе жизненного цикла блоков АЭС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе материалы отражают взгляд авторов на подготовку специалистов для разработки и производства демонтажных работ при ВЭ БАС. Проблему такой подготовки следует решать уже в настоящее время, так как в этом десятилетии должна быть остановлена эксплуатации ряда российских блоков АЭС, построенных в советское время, и они выходят на заключительный этап жизненного цикла – вывод из эксплуатации. Очевидно, что и в целом проблема ВЭ БАС становится одной из первоочередных в области ядерной энергетики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Берела, А.И. и др.* Вывод из эксплуатации блоков АЭС. Демонтажные технологии [Электронный ресурс] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]: тез. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф., 23-24 мая 2013 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгоград: [Б.и.], 2013. – 1 электрон. опт. диск [CD].
2. *Берела, А.И. и др.* Разработка образовательного модуля для подготовки специалистов по выводу из эксплуатации блоков АЭС [Электронный ресурс] / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, И.А. Якубенко // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]: тез. докл. X Междунар. науч.-практ. конф., 28-30 мая 2014 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгоград: [Б.и.], 2014. – 1 электрон. опт. диск [CD].
3. *Томилин, С.А. и др.* Научно-исследовательская работа студентов при проектировании установки фрагментации радиоактивных пеналов [Текст] / С.А. Томилин, А.И. Берела, А.Г. Федотов, О.Л. Приходько // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №4 (9). – С. 77–81.
4. ПНАЭ Г-1-011-89. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97) [Текст]. – Госатомнадзор, 1998.
5. РД ЭО 0013-94. Основные положения по снятию с эксплуатации атомных станций, отработавших проектный срок службы [Текст]. – Госатомнадзор, 1994.

6. Былкин, Б.К., Берела, А.И. 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.
7. Берела, А.И. и др. Анализ и представление среды действия в системе проектирования технологии демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока АЭС [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №1(10). – С. 25–31.
8. 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.
9. Берела, А.И. 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. – 2013. – Т. 25 – №2(25). – С. 64. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734> – 14.06.2014.
10. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов [Текст]: учеб. для вузов по спец. «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» / С.Н. Корчак, А.А. Кошин, А.Г. Ракович, Б.И. Сеницын; под общ. ред. С.Н. Корчака. – М.: Машиностроение, 1988.
11. Берела, А.И. и др. Выбор значений параметров технологического процесса демонтажа оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3 (8). – С. 60–64.
12. 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.

## **Educational Component for Preparation of Specialists of Dismantling Works during NPP Blocks Exploitation Withdrawal**

**A.I. Berela, S.A. Tomilin, A.G. Fedotov, I.A. Jakubenko**

*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*

**Abstract** – This article describes the necessity of introducing in the educational process of institutes which prepare nuclear engineering specialists the educational component. This component includes the studying of questions devoted to the dismantling works during NPP blocks exploitation withdrawal. The research suggests the structure and substantial filling of this component.

**Keywords:** preparation of specialist, educational component, structure and substance of the component, exploitation withdrawal, NPP block, dismantling works.

СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ  
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС

УДК 159.91

**ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА РАБОТНИКОВ,  
КАК ЧАСТЬ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ  
НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА РОСТОВСКОЙ АЭС**

© 2014 г. А.Д. Речкина

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

Для сохранения профессионального долголетия работников Ростовской АЭС, внедрена инновационная программа по психологической и психофизиологической поддержке с использованием интерактивной среды комнаты психоэмоциональной разгрузки.

*Ключевые слова:* психологическая и психофизиологическая поддержка, психоэмоциональное напряжение, продление профессионального долголетия, интерактивная комната психоэмоциональной разгрузки.

Поступила в редакцию 25.05.2014 г.

Лаборатория психофизиологического обеспечения (ЛПФО) является структурным подразделением службы персонала Ростовской атомной станции. Ежедневно психологи ЛПФО ведут работу, и вся она подчинена единственной цели – свести к нулю вероятность негативного влияния человеческого фактора и обеспечить надежную и безопасную работу атомной станции.

В число основных задач ЛПФО входит проведение мероприятий по психологической и психофизиологической поддержке персонала. Актуальность этой работы заключается в том, что оперативный персонал АЭС подвержен влиянию длительных раздражителей и стрессовых факторов, таких как: повышенная ответственность, психоэмоциональное напряжение, отличный от биологического график работы и т.д. В связи с этим, встает вопрос профилактики нервно-психического напряжения, повышения стрессоустойчивости организма, с целью поддержания и повышения уровня профессиональной работоспособности, продления профессионального долголетия работников АС.

Для сохранения профессионального долголетия работников, в сентябре 2013г. в ЛПФО Ростовской АЭС внедрена **инновационная программа по психологической и психофизиологической поддержке** с использованием интерактивной среды комнаты психоэмоциональной разгрузки.

Сеансы психоэмоциональной разгрузки в интерактивной комнате направлены на решение ряда задач:

- снятие психоэмоционального и мышечного напряжения;
- активацию процессов, внимания, памяти и способности к переработке информации;
- создание положительного эмоционального фона и преодоление нарушений в эмоционально-волевой сфере;
- обучение саморегуляции через достижение состояния релаксации и душевного равновесия;
- аккумуляирование ресурсов организма;
- повышение мотивации к продлению профессионального долголетия (забота о собственном физическом и психическом здоровье).

Сеансы психоэмоциональной разгрузки в интерактивной комнате оперативному персоналу проводятся в соответствии с **индивидуальной** программой, разработанной с учетом результатов периодического психофизиологического обследования, единым курсом, по 10

дней, 1 раз в год.

При проведении сеансов используются специально разработанные и целенаправленно **комплексно выстроенные методики**: цвето- и светотерапии, звуко- и музыкотерапии, ароматерапии, глубокой мышечной релаксации средствами механического и воздушно-компрессионного массажа с использованием релаксационных массажных кресел. Данный **комплексный подход** позволяет восстановить утраченные или ослабленные функции, снизить психоэмоциональное напряжение, аккумулировать ресурсы и активировать потенциал организма. Прохождение 10-дневного курса сеансов психоэмоциональной разгрузки персоналом АЭС, позволяет получить пролонгированный эффект.

За 4 месяца 2013г. курс мероприятий психоэмоциональной разгрузки прошли 158 человек.

Для оценки эффективности, проведенных мероприятий по психофизиологической поддержке **проведено исследование** по объективным и субъективным показателям у 75 работников, с использованием **психодиагностических методов** до и по окончании реабилитации.

1) Методика САН – оценка актуального психоэмоционального состояния (самочувствия – активности – настроения);

2) «Модифицированный восьмицветовой тест Люшера» Л.Н.Собчик – выявление степени непродуктивного психического напряжения, определение уровня устойчивости эмоционального фона и коэффициента вегетативного баланса;

3) Анкета обратной связи – субъективная оценка курса мероприятий психоэмоциональной разгрузки.

**Результаты оценки эффективности проведенных мероприятий психологической и психофизиологической поддержки:**

1) Отмечается повышение общего психологического психофизиологического тонуса: улучшение физического самочувствия, повышение активности и работоспособности, преобладание положительных эмоций у 64% обследуемых лиц, прошедших полный, 10-дневный курс мероприятий в комнате психоэмоциональной разгрузки. У 3% работников (2 человека) отмечается отрицательная динамика в оценке самочувствия, активности и настроения по методике САН. Причин для ухудшения эмоционального фона и снижения активности может быть много, в том числе соматическое заболевание, непредвиденные события, низкая мотивация к поддержанию здоровья. Поэтому данным лицам назначены дополнительные индивидуальные мероприятия по психологической поддержке.

2) Динамика показателя непродуктивного психического напряжения после прохождения мероприятий работниками в целом показала, что у 26% работников отмечается снижение уровня непродуктивного психического напряжения и повышение уровня устойчивости эмоционального фона (рис. 1):

– на 8% снизилось количество человек, характеризующихся неустойчивостью эмоционального фона, преобладанием негативных эмоций и повышенной утомляемостью, низкой надежностью в экстремальных ситуациях (1 и 2 уровень);

– 18% работников, имеющих на начало реабилитации средне-благоприятный прогноз, после курса мероприятий изменили внутренние установки на активную деятельность, позитивность настроения, способность выдерживать длительные психические нагрузки (3 уровень).

3) Анализ динамики коэффициента вегетативного баланса работников, в целом показал, что у 32% работников отмечается положительная динамика по показателям уровня энергетического баланса организма, способности к энергозатратам (рис. 2):

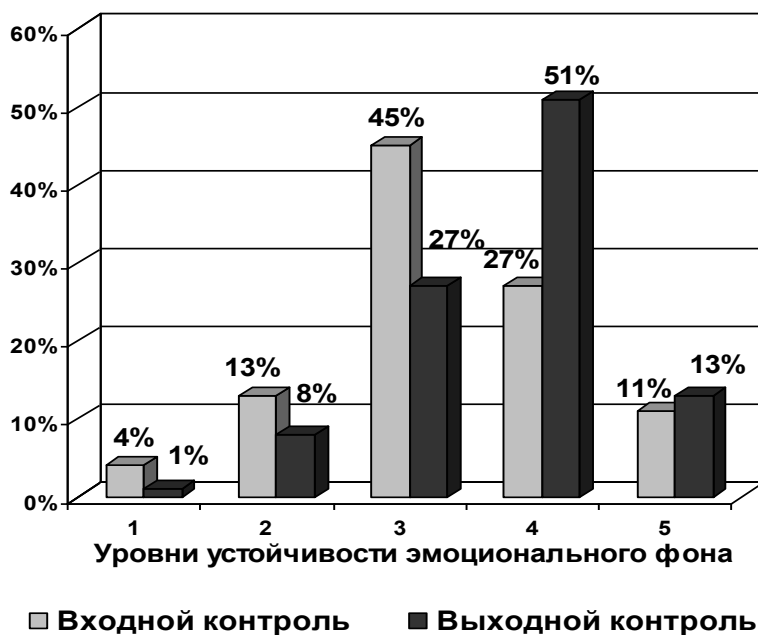


Рис. 1. Диаграмма динамики показателя непродуктивного психического напряжения

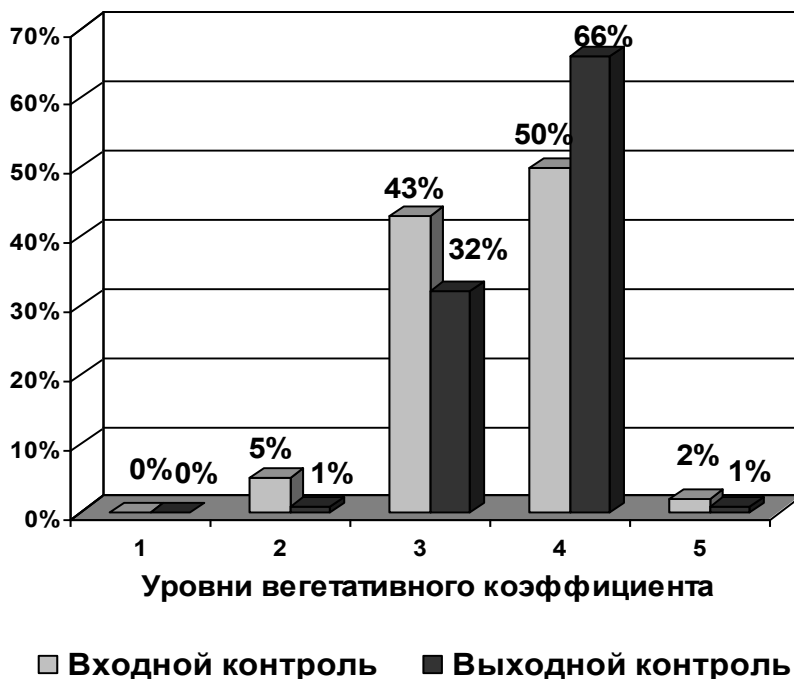


Рис. 2. Диаграмма динамики по показателю коэффициента вегетативного баланса

- на 4% снизилось количество работников с показателями признаков хронического утомления (2 уровень);
- на 11% уменьшилось количество человек, переживающих компенсируемое состояние усталости (3 уровень);
- у 1% по окончании сеансов психоэмоциональной разгрузки состояние перевозбуждения уравнилось до оптимальных показателей (5 уровень);
- на 16% выросла группа лиц с показателями оптимальной работоспособности (4 уровень).

4) По результатам субъективной оценки персонала собственного состояния по окончании курса мероприятий с использованием карт обратной связи выявлено наличие общей положительной динамики у 67% персонала. Большинство работников отмечают: повышение общего тонуса (86%), улучшение физического самочувствия (83%), улучшение настроения (82%), снижение эмоционального напряжения (78%), повышение физической работоспособности (62%), снижение утомляемости (61%), уменьшение напряжения и боли в спине (58%), улучшение умственной работоспособности (55%), нормализацию сна (49%), нормализацию артериального давления (41%). Отрицательной динамики персоналом не отмечается.



Рис. 3. Диаграмма результатов субъективной оценки психологического состояния работников по анкете обратной связи

5) Оценка удовлетворенности персонала АЭС качеством проведения сеансов психоэмоциональной разгрузки составила 97 %.

Данные выводы указывают, что проведение мероприятий в зале психоэмоциональной разгрузки ЛПФО с использованием интерактивной сенсорной среды комнаты психологической разгрузки, способствует снижению физического и психологического напряжения, формированию и поддержанию энергетических ресурсов работников, поддержанию и повышению уровня профессиональной работоспособности и в целом, подтверждают эффективность применяемых методов психологической и психофизиологической поддержки.

**Дальнейшее развитие программы по психологической и психофизиологической поддержке включает в себя:**

1) Внедрение программно-аппаратного комплекса для тренингов с биологической обратной связью (БОС процедуры). Внедрение БОС процедур позволит обеспечить персональный подход в формировании навыков управления своим психофизиологическим состоянием, преодоления различных страхов и тревоги, повышения адаптивных возможностей организма, повышения стрессоустойчивости и оптимизации психоэмоциональной сферы, особенно для персонала с трудностью переключения нервных процессов из обычного состояния в иное (ригидностью).

2) Внедрение системы комплексного компьютерного исследования функционального состояния организма человека «Омега» с 2014г. позволит проводить

скрининговый контроль показателей сердечно-сосудистой системы, вегетативной и центральной регуляции для определения возможностей саморегуляции, оценки уровня энергетических ресурсов и совершенствования индивидуального подхода в реабилитации персонала Ростовской АЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баевский, Р.М.* прогнозирование состояний на грани нормы и патологии [Текст] / Р.М. Баевский. – М.: «Медицина». – 1979. – 298 с.
2. *Грибак, Л.П. и др.* Психическая саморегуляция в деятельности человека – оператора [Текст] / Л.П. Грибак, В.М. Звонников. – Л.:1984. – 124 с.
3. *Журавлев, Г.Е. и др.* Опыт психологической и психотерапевтической работы с персоналом ТЭЦ [Текст] / Г.Е. Журавлев, С.В. Лазарев, Б.А. Саков // Материалы IV Международного конгресса по изучению человеческого фактора в промышленной энергетике. – Будапешт, 1992.
4. *Звоников, В.М. и др.* Принципы построения системы психофизиологического обеспечения спец. контингента в экстремальных условиях деятельности [Текст] / В.М. Звоников, А.Б. Стрельченко / Современные направления психотерапии и их клиническое применение: материалы 1-ой Всероссийской конференции по психотерапии. – М.: Институт психотерапии, 1996.
5. Сборник трудов психологов Мосэнерго. Психологические аспекты безопасности и надежности деятельности персонала в энергетике [Текст] / Ю.Н. Вавилов, С.В. Лазарев. – Изд. ОАО «Мосэнерго», 2001. – 134 с.

### **Psychophysiologic Support of Employees as a Part of the Professional Reliability Assurance System of Rostov NPP's Personnel**

**A.D. Rechkina**

*Branch of Joint-Stock Company of open type «Concern Rosenergoatom» «Rostov Nuclear Power Plant»,  
Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388  
e-mail: sl\_personal@rosnpp.ogr.ru*

**Abstract** – The article is devoted to the innovation program on psychological and psychophysiologic support with the use of the interactive media of a psychoemotional relief room implemented to maintain professional longevity of the Rostov NPP's employees.

**Keywords:** psychological and psychophysiologic support, psychoemotional tension, the extension of professional longevity, an interactive psychoemotional relief room.

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

УДК 621.039

**РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ  
СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ СРЕДСТВАМИ  
МАТЕМАТИКИ**

© 2014 г. А.И. Замыслова

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

На современном этапе развития общества большое внимание при подготовке специалистов уделяется развитию профессиональных компетенций. Основой такого подхода должно стать изучение математических дисциплин в технических вузах, и средствами математики обеспечить формирование профессиональных компетенций, повышение эффективности и качества подготовки молодых специалистов.

*Ключевые слова:* компетентность, математическая компетентность, профессиональные компетенции, профессиональная деятельность, качество подготовки специалистов, математическое образование студентов.

Поступила в редакцию 16.05.2014 г.

Основной целью образования становится подготовка высококвалифицированных специалистов, которые свободно владеют своей профессией, способны к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, являются конкурентоспособными на рынке труда, готовы к профессиональному росту и профессиональной мобильности, обладают ответственностью за результаты своей профессиональной деятельности.

Образование должно обеспечить целостное развитие личности будущего специалиста, формирование его как носителя не только совокупности знаний и норм поведения, общечеловеческих и профессиональных ценностей. Цели и содержание профессиональной подготовки современного специалиста детерминированы потребностями общества в конкурентоспособных кадрах [5].

Учреждения высшего профессионального образования, согласно Национальной доктрине образования в Российской Федерации, должны создавать условия для подготовки высокообразованных людей и высококвалифицированных специалистов, обладающих профессиональными компетенциями. Современный образовательный процесс в высшей школе ориентирован на развитие компетенций личности. Понимание компетенции как практически направленного результата образования, отражающегося в способности успешно справляться с определенным кругом профессиональных задач, предполагает сближение учебно-познавательной и будущей профессиональной деятельности студента университета [8]. Реализация компетентностной модели в высшей школе основана на применении технологий обучения, ориентированных на компетентностный подход. Любая учебная дисциплина в вузе изучается в контексте будущей профессиональной деятельности студента, а ее содержание зависит от профиля получаемой профессии [2].

«Контекстным является такое обучение, в котором на языке наук с помощью всей системы традиционных и новых педагогических технологий в формах учебной



деятельности, все более приближающихся к формам профессиональной деятельности, динамически моделируется предметное и социальное содержание профессионального труда. Тем самым обеспечиваются условия трансформации учебной деятельности студента в профессиональную деятельность специалиста» [2].

В нашей стране с начала 2000-х годов активно начали появляться научные работы, посвященные формированию понятийного аппарата, связанного с определениями «компетенции» и «компетентности». (А.А. Гетманская, Э.Ф. Зеер, И.А. Зимняя, Д.А. Иванов, О.Е. Лебедев, Ю.Г. Татур, И.Д. Фрумин, А.В. Хуторской, Т.И. Шамова и др.). В этих исследованиях приоритетными направлениями являются анализ сущности понятий и формирование списка ключевых компетенций, представляющих собой высшую ступень в иерархии компетенций и соответствующих метапредметному содержанию образования. Формированию математических компетенций при обучении студентов в технических вузах посвящены диссертации М.М. Миншина, В.Г. Плаховой, Я.Г. Стельмах; в экономических вузах – С.А. Севастьяновой, Г.В. Серой. Общим для всех исследователей является понимание математической компетенции, как составляющей профессиональной компетентности будущего специалиста, и определение ее, как способности применять математические знания в профессиональной деятельности. Основной подход к формированию математических компетенций специалистов основан на развитии умения применять математические знания к решению задач профессионально-ориентированного характера. В работах прослеживается общий подход, основанный на использовании в учебном процессе профессионально-ориентированных математических задач.

В последние годы в России наметилась тенденция повышения стратифицирующей роли профессии и профессионализма. Выпускника, обладающего профессиональными компетенциями, характеризует не только сумма его знаний и умений, но и способность применять их на практике, создавать конкурентно способную продукцию, осознавать перспективы технического, экономического и социального развития.

Успех профессиональной деятельности зависит и от профессиональных умений. Умения предполагают четкий самоконтроль, овладение общими способами выполнения различных задач. Формирование умения в процессе обучения требует сознательных упражнений по применению знаний в различной обстановке, систематического сочетания теоретической и практической подготовки студентов. Профессиональные знания и умения составляют ту основу, которые охватывают важнейшие стороны профессиональных компетенций.

Усиление математической подготовки будущих специалистов обуславливает успешность и эффективность их деятельности не только в производственной сфере, но и в научной деятельности. Изучение курса математики формирует у студентов как теоретическую базу для усвоения общепрофессиональных дисциплин, так и практические умения, позволяющие будущему специалисту находить рациональные решения проблемных задач прикладного направления. Главная цель содержания всех математических дисциплин заключается в приобретении выпускниками ВПО определенной математической подготовки, в умении использовать изученные математические методы, в развитии интуиции, в воспитании математической культуры. Будущие специалисты должны знать основы математического аппарата, который необходим для решения различных теоретических и практических задач, иметь высокий уровень развития логического мышления. Математические дисциплины способствуют формированию у будущих специалистов определенной системы профессионально значимых качеств.

В современном обществе социальный статус в наибольшей степени определяется образованием, престижной профессией, а в дальнейшем – профессиональными

достижениями. Профессиональные успехи в свою очередь обусловлены готовностью специалиста к данной профессиональной деятельности, качеством полученного им образования, умением использовать знания, опыт, перестраиваясь и сохраняя самоконтроль при появлении непредвиденных трудностей, способностью к индивидуальной творческой деятельности, самообразованию и повышению своего интеллектуального и культурного уровня. Повышение требований к качеству подготовки специалистов говорит о необходимости целенаправленной деятельности по формированию и развитию профессионально важных качеств.

Анализ состояния обучения математике, сложившегося в настоящий момент в системе высшего профессионального образования, показал, что практика подготовки студентов в вузах накопила немалый потенциал методов, форм и средств обучения математике. В сфере высшего образования появилась новая образовательная цель – основным результатом обучения является набор образовательных компетенций – совокупности смысловых ориентаций, знаний, умений, опыта деятельности учащегося. В ФГОС ВПО (V раздел) в качестве требований к результатам освоения бакалаврами основных образовательных программ выделено два основных блока компетенций: общекультурные, обязательные для всех профилей, и профессиональные, отражающие специфику определенной профессиональной деятельности. В учебных программах, составленных на основе ФГОС ВПО, в качестве требований к результатам освоения конкретных дисциплин выделяются также предметные компетенции, включающие предметные знания, умения, навыки, способы мышления.

Математика в техническом вузе является методологической основой естественнонаучного знания. Поэтому усиление математической подготовки будущих инженеров обуславливает успешность и эффективность их деятельности не только в производственной сфере, но и в научной деятельности. Знание математических методов на современном этапе развития производственного процесса перестает служить только целям общего развития и приобретения навыков элементарных расчетов, а математический склад мышления становится необходимым для специалистов основных направлений научной и практической деятельности. Изучение курса высшей математики формирует у студентов, как теоретическую базу для усвоения общепрофессиональных и специальных дисциплин, так и практические умения, позволяющие будущему инженеру находить рациональные решения проблемных задач прикладного направления. В связи с этим возрастают требования к качеству знаний и уровню подготовки обучаемых по математике.

Цель математического образования студентов инженерных специальностей на современном этапе подготовки их к профессиональной деятельности предполагает формирование активной жизненной позиции, подготовку не только к профессиональной трудовой деятельности, но и творческой, связанной с открытием новых способов решения профессиональных задач. Знания из основной и единственной цели образования превращаются в средство развития личности обучаемых.

Для более прочного усвоения математических знаний необходима организация целенаправленной активной деятельности студентов с элементами самостоятельности, поэтому основная задача математического образования в вузе состоит не только в приобщении студентов к сознательному усвоению теоретических знаний, но и в обучении их основным приемам применения к решению практических задач.

Решение задач – наиболее эффективная форма не только для развития математической деятельности, но и для усвоения знаний, навыков, методов и приложений математики. Решение задач является важнейшим видом учебной деятельности, в процессе которой студентами усваивается математическая теория, развиваются творческие способности и самостоятельность мышления. С помощью

задач формируются умения, составляющие основу применения знаний в конкретных ситуациях. В процессе решения задач формируются логическая, эвристическая, алгоритмическая составляющие мышления и многие нравственные качества студентов.

Математика практически единственный учебный предмет, в котором задачи могут использоваться и как цель, и как средство, и как предмет изучения. При этом учебные задачи в процессе обучения математике выступают в качестве носителей математического содержания, а также средства включения их в математическую и интеллектуальную творческую деятельность. Таким образом, целенаправленное формирование умения решать математические задачи является условием эффективного формирования математической компетенции у студентов.

Во все времена математика имела огромное значение в формировании стиля мышления студента. С переходом на стандарты нового поколения, разработанные с позиций компетентного подхода в образовании, вопрос повышения качества обучения математике приобретает особую актуальность.

Одной из задач преподавания математики является развитие интереса к дисциплине, что достигается внедрением в учебный процесс преподавателями инновационных технологий обучения, активных и интерактивных методов обучения, использованием электронных образовательных ресурсов, направленных на подготовку будущего квалифицированного специалиста.

Цель обучения математике состоит в том, чтобы студент получил фундаментальную математическую подготовку в соответствии с программой и овладел навыками математического моделирования в области будущей профессиональной деятельности. Фундаментальная математическая подготовка выпускника является основой для его будущей профессиональной жизни, так как именно фундаментальные знания обеспечивают выпускнику возможность понимать и осваивать новую технику и технологии, новые принципы организации производства.

Навыки математического моделирования можно рассматривать, как навыки применения математических знаний на практике, а значит, в формировании профессиональных компетенций выпускника. Математическое моделирование прикладных задач по специальности позволяет соединить теоретические знания студентов с их потребностями, даёт возможность искать пути расширения применения теоретических знаний в будущей специальности непосредственно в процессе обучения. С другой стороны, необходимость развития у студентов способности самостоятельно решать проблемы, составляющие содержание образования, стимулирует движение к большей индивидуализации обучения.

Математическая компетентность есть результат освоения математической компетенции, ее практическая реализация. Основные положения методики заключаются в необходимости отбирать содержание обучения, ориентируясь на сформулированный результат – достижение определенного уровня математической компетентности; развитие познавательной, коммуникативной и личностной активности студентов; изменение роли преподавателя от руководителя к помощнику; поиске процедур и средств оценки достижений математических компетенций.

В связи с новыми требованиями к результатам освоения учебной дисциплины, организация образовательного процесса должна быть направлена на создание условий для формирования у студентов опыта самостоятельного решения проблем, составляющих содержание обучения. Самостоятельная работа становится одной из базовых форм подготовки студентов к успешной практической деятельности в информационном обществе, основой перестройки позиции обучаемого в учебно-воспитательном процессе и главным резервом повышения качества его образования [6].

Если в процессе обучения математике в техническом вузе использовать значительное увеличение времени, отводимого на самостоятельную работу в ходе аудиторных занятий, и непрерывное управление процессом обучения, то уровень сформированности математических компетенций повысится. Учение становится преимущественно активной самостоятельной деятельностью.

В ходе лекционных и практических занятий происходит совместное создание преподавателем и студентами моделей поэтапного решения типовых заданий, опорных схем, обобщающих таблиц, которые впоследствии используются в самостоятельной работе. Значимым фактором, определяющим качество подготовки специалиста, является формирование математической грамотности [3].

Внедрение компетентного подхода в учебный процесс предполагает применение межпредметных связей, расширение в структуре учебных программ по общеобразовательным дисциплинам межпредметного компонента (межпредметные задачи, которые не могут быть решены средствами одного предмета) [1].

Особо нужно отметить роль и место математической, предметной компетенции в формировании общепрофессиональной компетенции в подготовке будущих специалистов в рамках интегрированного преподавания. В настоящее время с возрастающей ролью математики в современной науке и технике, большое число будущих специалистов нуждаются в серьезной математической подготовке, которая давала бы возможность математическими методами исследовать широкий круг проблем, применять современную информационную технологию, использовать теоретические достижения в практике. Обучение математике нельзя подменить обучением рядом ее приложений и методов, не разъясняя сущности математических понятий и не учитывая внутреннюю логику самой математики. Так подготовленные специалисты могут оказаться беспомощными при изучении новых конкретных явлений, поскольку будут лишены необходимой математической культуры и не приучены к рассмотрению абстрактных математических моделей. Методы математики, как методы исследования и описания явлений, их моделирования широко проникают во все науки, и с их помощью часто удается достигнуть значительного прогресса.

При продуманном и целенаправленном изучении математики у студентов развивается наблюдательность, внимание, сосредоточенность, инициатива, настойчивость, четкость, точность, порядок, краткость, аккуратность, обязательность, ответственность. Все это способствует нравственному воспитанию студентов, формированию их характера. Математическое образование различных уровней должно поставлять такие соответствующие социальной системе компетенции, которые связаны с запросом общества и являются оптимальным вкладом образования с точки зрения критериев качества и результативности, поддерживая внутреннее единство научного знания. Не менее важно, в то же время, чтобы студент овладел навыками математического моделирования в области будущей профессиональной деятельности. Это не только стимуляция метапрофессиональных умений и качеств личности – способность к саморазвитию, к творчеству, работе в команде, умение анализировать, адаптироваться к условиям труда и работать в команде, но и общепрофессиональные компетенции.

От качества математической подготовки в значительной степени зависит уровень компетентности будущего специалиста, степень его подготовленности к атмосфере реального профессионального мира, где нужно не только найти применение своим способностям, но и грамотно адаптироваться к социальной среде, живущей по законам жесткой мультифункциональной конкурентности. Изучение математических дисциплин вооружает студентов математическими методами суждений, поднимает их математическую культуру до уровня, продиктованного потребностями современного общества.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бородин, Ю.И.* Компетентностно-ориентированный подход к подготовке конкурентоспособных специалистов для легкой промышленности [Текст] / Ю.И. Бородин : дис. канд. пед. наук. – М.: 2006. – 206 с.
2. *Вербицкий, А.А.* Контекстно-компетентный подход к модернизации образования [Текст] / А.А. Вербицкий // Высшее образование в России. – 2010. – №5. – С. 32–37.
3. Гарантии качества профессионального образования [Текст]: тезисы докладов Международной науч.-практ. конф. – Барнаул: Издательство АлтГТУ, 2010. – 346 с.
4. *Давыдов, В.В.* Виды обобщения в обучении [Текст] / В.В. Давыдов. – М.: Педагогика, 1972. – 424 с.
5. *Замыслова, А.И.* Коммуникативная компетентность преподавателя как средство повышения качества обучения [Текст] / А.И. Замыслова // Наука и образование XXI века: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 31 мая 2013 г. : в 5 ч. – Уфа, 2013. – Ч. 3. – С. 58–62.
6. *Крючкова, О.В.* Комплексная информатизация образования [Текст] / О.В. Крючкова. – Минск: Красико-Принт, 2006. – 169 с.
7. Национальная доктрина образования в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.humanities.edu.ru> – 15.05.2014.
8. *Орлова, Л.В.* Компетентностный подход в образовательном процессе вуза [Текст] / Л.В. Орлова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 13 . – 2011. – №2. – С. 41–44.

## The Development of Students Professional Competence in Technical Institutes of Higher Education by Means of Mathematics

**A.I. Zamyslova**

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

**Abstract** – This article considers the question that nowadays in modern society much attention is paid to the development of professional competence in specialists training. The basis of this approach should be studying of mathematics in technical colleges. It can help to form professional competence, improve effectiveness and quality of students training.

*Keywords:* competence, mathematical competence, professional competence, professional activity, quality of specialists training, mathematical education of students.

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

УДК 33.338.45

**ФОРМИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНО-  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЫНКОВ**

© 2014 г. И.А. Прядко

*Волгодонский институт (филиал) Южного федерального университета, Волгодонск, Ростовская обл.*

В работе рассматривается топливно-энергетический потенциал России и, в частности, экономическое развитие Юга России. Разумеется, топливно-энергетический комплекс считается основным объектом внимания в стратегии развития государства на ближайшее время. До сих пор топливно-энергетический комплекс страны справлялся со своими задачами, однако в настоящее время необходимо выводить весь топливно-энергетический комплекс (ТЭК) на новый уровень на основе модернизации производства и использования самых передовых технологий.

*Ключевые слова:* топливно-энергетический комплекс (ТЭК), экономическое развитие региона, нефтяная промышленность.

Поступила в редакцию 27.05.2014 г.

Нефтяная промышленность, являясь составной частью топливно-энергетического комплекса, представляет собой сложную отрасль производства. Размещение нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) зависит от размеров потребления нефтепродуктов в разных районах, техники переработки и транспортировки нефти. Исторически под воздействием сырьевого фактора НПЗ и НХК размещены в районах добычи нефти [2]:

- Поволжском: Самара, Волгоград, Саратов, Сызрань;
- Уральском: Ишимбай, Салават, Уфа, Орск, Пермь, Краснокамск;
- Северо-Кавказском: Нефтегорск, Туапсе, Краснодар;
- Северном: Ухта;
- Западно-Сибирском: Омск.

Обострилось состояние обеспеченности сырьем действующих предприятий ТЭК, требующих интенсификации действующих месторождений и разработки новых залежей.

На современном этапе развития главными становятся альтернативные методы решения энергетических проблем, которые в своей основе опираются на экологизацию экономики. Они носят комплексный характер и касаются не только развития ТЭК, а всего народного хозяйства: структурной перестройки экономики, изменения экспортной политики и конверсии.

Анализируя опыт создания вертикально интегрированных нефтяных компаний в странах Запада, среди важнейших предпосылок вертикальной интеграции следует отметить следующие: стремление нефтяных компаний к контролю над рынками сбыта нефтепродуктов и нефтехимикатов; необходимость создания эффективно управляемой организации производства и сбыта; концентрация капитала и производства, наличие единой инфраструктуры, возможности маневрирования (капиталом, мощностями, потоками сырья и продукции) способствуют сокращению удельных затрат в производстве и приводят к росту сбытовой деятельности, росту массы и нормы прибыли; обеспечение в рамках вертикально интегрированных структур контролируемых источников сырьевого обеспечения;

В настоящее время нефтяная промышленность представлена 12 вертикально интегрированными компаниями (ВИНК). Вертикальная интеграция предусматривает производственное и организационное объединение в рамках единой собственности процессов, обеспечивающих поиск, разведку, строительство скважин, добычу, переработку, транспортировку и сбыт продукции.

Сегодня в нефтяной промышленности функционируют 4 разновидности ВИНК: В современной структуре мирового нефтяного бизнеса, которая сформировалась еще в 30-е годы прошлого столетия, доминируют вертикально интегрированные нефтяные компании. Они являются наиболее известными и эффективно действующими нефтяными компаниями мира. Свой выбор в пользу ВИНК сделала и Россия. Под вертикальной интеграцией понимают объединение на финансово-экономической основе различных технологически взаимосвязанных производств. В нефтяном деле сюда входят предприятия, относящиеся к последовательным стадиям технологического процесса: разведка и добыча нефти – транспортировка – переработка – нефтехимия – сбыт нефтепродуктов и нефтехимикатов [1].

В целом в нефтяном бизнесе, во многом вследствие процессов вертикальной интеграции, имеет место чрезвычайно сложное переплетение экономических и политических интересов. Сама вертикальная интеграция, в том числе опирающаяся на систему финансового участия и совместного владения, приобрела многоступенчатый характер, адекватный условиям современной рыночной экономики.

В принципе, разделение роли Штаб-квартиры (материнской компании) и входящих в ее состав компаний, фирм и отделений состоит в том, что первая определяет стратегию, а текущая работа сконцентрирована в низовых звеньях.

1) ОАО «Лукойл», ОАО «Сургутнефтегаз» – они базируются на корпоративной собственности.

2) Нефтяная компания «Роснефть» – она находится под контролем государства.

3) НК «Сиданко» – находится под контролем финансово-промышленной группы.

4) «Татнефть» и «Башнефть» – находятся под контролем субъектов федерации.

Для российской нефтяной промышленности, обладающей всеми стадиями нефтяного цикла, реформирование путем создания ВИНК правильно, но, вместе с тем, существует ряд характерных отличий классических вертикально интегрированных компаний от российских в их теперешнем состоянии.

Во-первых, западные компании росли органично под воздействием рыночных сил, отвечая на запросы и вызовы потребителя и регулирующих мер государства. Каждая из существующих компаний прошла через серию слияний и продаж своих дочерних структур, которые продолжают и поныне. Российские же компании были созданы одномоментно, в соответствии с президентскими и правительственными нормативными актами под уже готовую и проверенную жизнью, правда, в других экономических условиях, идею. В их составе объединились предприятия, десятилетиями функционировавшие в рамках различных министерств и ведомств в условиях централизованно планируемой, разобщенной в отраслевом отношении, экономики. При этом набор объединяемых предприятий далеко не всегда имел достаточно содержательное обоснование. Поэтому проблема их взаимодействия и превращения в единый экономический организм, одной из целей функционирования которого является получение оптимальной совокупности прибыли, пока еще не решена [3].

Форма организации взаимодействия предприятий, входящих в большинство российских компаний, известна в мире как "мягкий холдинг". Он предполагает, что дочерние структуры практически независимы друг от друга в том смысле, что их производственная деятельность и маркетинг не согласованы в рамках единого стратегического подхода. При такой ситуации главная цель создания ВИНК

практически теряется, но предприятия получают полную возможность оптимизировать результаты своей деятельности. Причина, по которой российские компании находятся в состоянии "мягкого холдинга", имеет другое происхождение. Она объясняется уже упоминавшимся одномоментным "директивным" их образованием. Создалась такая ситуация, когда различные предприятия нефтяного комплекса, сохраняя свои болезни, были слиты в новые организационные структуры, призванные эти болезни вылечить. Однако механическое слияние пока не приносит ожидаемых плодов.

Важной уникальной особенностью российских нефтяных компаний является то, что они функционируют в условиях двух существенно отличающихся друг от друга ценовых условий на сырую нефть.

Наиболее существенной особенностью российских ВИНК можно назвать достаточно высокую степень государственного участия, которая остается, несмотря на проводимые залоговые и другие аукционы. Это происходит не только из-за наличия государственных пакетов акций и участия государства в управлении компаниями, но и вследствие природы российских компаний.

По характеру функционирования и управления своими дочерними предприятиями образованные в РФ нефтяные компании являются холдингами.

В РФ можно выделить три группы существующих холдингов:

- государственные (где доля государственной собственности составляет 100% в Уставном капитале, например, АО "Росуголь", АО "Транснефть");
- частично государственные (доля госсобственности составляет значительную часть: 38—51%, например АО "Восточно-Сибирская нефтегазовая компания", НК "Роснефть" и др.);
- новые холдинги, созданные без участия государства. Все без исключения нефтяные холдинги в России созданы на базе государственных приватизированных предприятий.

1) Высокая доля государства в Уставных капиталах компаний. Контрольные пакеты акций практически всех нефтяных компаний закреплены в федеральной собственности.

2) Строгая ориентация на полноту и завершенность технологического цикла – "от скважины до бензоколонки".

3) Наделение нефтяных холдингов функциями, которые до недавнего времени находились в исключительной компетенции правительства и ряда отраслевых министерств: экспорт нефти и разработка нефтегазовых месторождений. Наличие у компании крупных и перспективных месторождений привлекает к холдингу отечественных и иностранных инвесторов, что в свою очередь влияет на рыночные котировки акций компании и, соответственно, повышает величину ее рыночной капитализации.

4) Право государства определять долю иностранного капитала в Уставном капитале каждой компании. Доля иностранных инвестиций для ряда холдингов строго ограничена. Для таких компаний, как "ЛУКойл", "Сургутнефтегаз", "СИДАНКО", "КомиТЭК" она составляет не более 15% при первичном предложении акций [4].

Юг России представляет собой один из уникальнейших объектов по особенностям своего глубинного строения. При этом Северо-Кавказская нефтегазоносная провинция, имеющая почти столетнюю историю существования, была и остается одной из важнейших территорий для решения проблем сегодняшней Российской нефтегазовой отрасли. На юге России в настоящее время региональные работы практически полностью прекращены. Негативным, особенно для Северного Кавказа, явилась раздробленность геологических служб на 10 территориальных (геологических) управлений субъектов Российской Федерации, границы которых пересекают установленные границы



тектонических элементов, зон нефтегазообразования и даже отдельных месторождений. Особенно наглядно этот факт прослежен при нефтегазогеологическом районировании региона, поскольку подвижные углеводороды заполняют ловушки, простирающиеся на большие расстояния, подчиняясь только существующим структурно-тектоническим условиям. В этих условиях проявляются также конъюнктурные цели. Анализ перспектив и возможных путей развития нефтегазовой отрасли Южного региона базируется не только на анализе выявленных и разрабатываемых месторождений, стоящих на балансе. Необходим учет прогнозных ресурсов, которые будучи вероятностными обосновывают долгосрочные программы ГРП.

Таким образом, можно выделить три основных этапа развития российских ВИНК.

1) Стабилизация базовых производств и подразделений, их адаптация к новым условиям хозяйствования, выбор основных направлений деятельности компаний в стратегической перспективе.

2) Структурная перестройка подразделений компаний для обеспечения максимального их соответствия корпоративным интересам, ведущая к образованию органичных вертикально интегрированных систем.

3) Динамичное развитие и возможный рост "адаптированных" ВИНК в условиях ожидаемого экономического подъема в России и формирования основ экономики рыночного типа.

Первый этап для большинства отечественных нефтяных компаний можно считать почти завершенным, поэтому сейчас важно прорабатывать цели двух последующих стадий их развития. Они будут различаться существом решаемых задач, горизонтом планирования, степенью неопределенности ряда факторов. Эти цели должны быть сформулированы так, чтобы их достижение заставляло эффективно работать все подразделения в течение данного периода и в то же время не противоречило стратегическим долгосрочным целям ВИНК. Уже на втором этапе в планы нефтяных компаний надо закладывать основные стартовые условия третьего этапа с тем, чтобы добиться наиболее полного их сопряжения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия до 2030 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.eprussia.ru> – 29.05.2014.
2. Независимая газета [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.ng.ru> – 29.05.2014.
3. Амелин, А. Экономика ТЭК сегодня [Текст] / А. Амелин // Энергоэффективность и энергоснабжение. – 2009.
4. Анопченко, Т.Ю. Эколого-экономические риски урбанизированных территорий: концепция, принципы, последствия [Текст] / Т.Ю. Анопченко : дисс. докт. экон. наук. – Ростов-н/Д.: ГОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет», 2008.

## Script Development Creating of Fuel and Energy Markets

I.A. Pryadko

*Volgodonsk Institute the branch of Southern Federal University,  
47 Mira St., Volgodonsk, Rostov region, Russia, 347380  
e-mail: irinapriadko@yandex.ru*

**Abstract** – This paper considers the fuel and energy potential of Russia and in particular the economic development of the South of Russia. Of course the fuel and energy complex is considered the main focus of attention in the development strategy of the state for the near future. Until now, the fuel and energy complex of the country cope with its tasks, but now needs to display all the fuel and energy complex (FEC) to a new level by modernizing production and use of the most advanced technologies.

**Keywords:** fuel and energy complex (FEC), economic development of the region, petroleum industry.

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

УДК 621.039:378

**МОТИВАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЛИЧНОСТИ  
В КУЛЬТУРЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

© 2014 г. Н.П. Василенко, В.А. Руденко

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

В статье анализируется роль мотивационной составляющей в культуре безопасности на предприятиях атомной отрасли. Приводятся материалы исследований по изучению мотивационного профиля студента вуза, ориентированного на работу в атомной отрасли.

*Ключевые слова:* подготовка кадров, мотивация, мотивационный профиль, мотивационная ошибка, культура безопасности, персонал АЭС.

Поступила в редакцию 25.06.2014.

Нет сомнений в роли человеческого фактора в обеспечении безопасности в атомной отрасли. Так как человеческий фактор мы рассматриваем, как характеристики деятельности человека, его психологическое и психофизиологическое состояние, способности, возможности и ограничения, определяющие направление его действия в определенной ситуации, то естественно особое внимание, которое проявляется к психологическим характеристикам персонала АЭС. Одной из таких характеристик личности работника АЭС, которая рассматривается в данной статье, является мотивация.

В истории развития психологии представлены потребностные, бихевиористские, когнитивные, психоаналитические, биологизаторские и др. теории мотивации, в зарубежной психологии имеется более 50 теорий мотивации, что говорит о неоднозначности трактовки понятий «мотив» и «мотивация» и роли мотивации в регуляции поведения и деятельности человека.

Как отмечает Е.П. Ильин, понимая под мотивацией процессы детерминации активности человека или формирования побуждения к действию или деятельности, «в это понятие можно включать что угодно: ведь детерминировать и побуждать может безграничное множество вещей и явлений» [1].

Аналогичная ситуация в трактовке понятия «мотив», в качестве которого «называют самые различные психологические феномены: представления и идеи, чувства и переживания, потребности и влечения, побуждения и склонности, желания и хотения, привычки, мысли и чувство долга, морально-политические установки и помыслы, психические процессы, состояния и свойства личности, предметы внешнего мира, установки и, даже, условия существования» [1].

Все это и объясняет те разносторонние подходы к рассмотрению роли мотивации в деятельности персонала АЭС, где рассматриваются такие понятия, как мотивационная сфера, потребностно-мотивационная сфера, мотивационно-ценностные аспекты, мотивационная регуляция, мотивационно-установочная регуляция, мотивация труда, мотивация безопасности, мотивы (познавательные, утилитарные, престижа, притязания, избегания неудач, конфликтов), личностные мотивы, мотивация самосохранения, естественная человеческая мотивация избегания неприятностей,

мотивация деятельности, мотивация поведения, познавательная мотивация, мотивация достижений, мотивация престижа, утилитарная мотивация, аномалии в мотивации, мотивационная ошибка [2].

Анализ причины аварий в системе «человек-машина», показывает, что более 60% происходит из-за ошибок персонала «рисковых» объектов. При этом отмечается, что в основе ошибок всех типов (ошибки проектирования, операторские ошибки, ошибки изготовления, ошибки технического обслуживания, внесенные ошибки, ошибки контроля, ошибки обращения, ошибки организации рабочего места, ошибки управления коллективом) лежат психологические мотивы поведения человека в разных ситуациях»[3].

О значимости мотивационной составляющей в безопасной эксплуатации АЭС, говорит психологический анализ причин аварии на Чернобыльской АЭС В.Н. Абрамова, которая указывает на содержание познавательной мотивации персонала, ориентированной только на заданную целевую установку (эксперимент), находящуюся в подчинении мотивации достижений, что привело к неадекватной оценке опасности [2].

В.А. Машин, представляя метод психологического анализа причин неправильных действий персонала, в качестве основных факторов ошибки Саботаж (sabotage), указывает, что при этом движущей силой служат личностные мотивы индивида (например, обида, злоба за «несправедливое», по его мнению, распределение премии, наказание или увольнение). Кроме того, проводя сравнительный анализ типов неверных действий, автор отмечает, что мотивация лежит в основе всех типов неверных действий персонала [4].

Характеризуя сознательно неправильные действия персонала, В.А. Машин и В.Н. Абрамова выделяют «мотивационную ошибку персонала». На практике, если выдвигается гипотеза о мотивационной ошибке персонала (злонамеренном, грубом нарушении правил), то проверяется наличие признаков снижения культуры безопасности, неадекватной мотивации, неприемлемой системы ценностей [2].

Поэтому в профессиограммы должностей работников АЭС включается психограмма, одним из пунктов которой является характеристика мотивационно-ценностных аспектов работника: приоритет безопасности в работе; мотивация достижения (стремление к высокому качеству работы); познавательная мотивация (интерес к содержанию труда, производственным задачам); честность, а как одно из недопустимых качеств указывается приоритет познавательной мотивации (склонность к экспериментированию) [2].

В настоящее время, когда по утверждению В.В. Путина, «качество инженерных кадров становится одним из ключевых факторов конкурентоспособности государства» [5], а для атомной отрасли это еще и гарантия безаварийной эксплуатации АЭС, значимость качества подготовки специалистов, ориентированных на работу для данной отрасли нельзя недооценивать.

Все вышесказанное обязывает вуз, особенно, ориентированный на подготовку кадров для атомной отрасли, уделять особое внимание мотивационной составляющей личности студента, рассматривая мотивацию, как побуждение к любому виду деятельности и главную движущую силу в процессе формирования будущего профессионала. Поэтому в системе изучения и формирования мотивов учебно-профессиональной деятельности студентов мы применяем современные методики и технологии в течение всего периода обучения студентов.

Начальным этапом в данной системе служит диагностики готовности первокурсников к продолжению обучения в вузе. Данная диагностика проводится в режиме он-лайн на сайте ФЭПО, целью которой является выявление особенностей

мотивации к учению и интеллектуальных способностей, как факторов дальнейшего успешного обучения студентов в вузе. По итогам данного тестирования определяются: мотивация поступления в вуз, мотивы учения и профессиональная мотивация студентов.

Индивидуальные личностные характеристики студентов первокурсников автоматически размещаются в «личных кабинетах студентов» и доступны только им и их родителям. А обобщенные результаты, доступны в личных кабинетах организаторам вуза, и предназначены психологам, кураторам академических групп, специалистам отделов по воспитательной работе, заведующим кафедрами и деканам. Данные материалы используются ими для организации социально-психологических тренингов, индивидуальных психологических консультаций, дополнительных учебных занятий. В целом, данная диагностика позволяет «спрогнозировать успешность учебной деятельности студентов, а также разработать ряд организационных и управленческих воспитательных психолого-педагогических мер по развитию и саморазвитию студентов в целях их эффективного продвижения на различных этапах обучения в вузе» [6].

По окончании первого курса, все студенты становятся участниками исследования по изучению их адаптации в вузе, которое позволяет подвести некоторые результаты работы по данному направлению за год, оценить комфортность обучения студентов в вузе и выявить проблемы, решению которых необходимо уделить особое внимание. Данная диагностика в вузе имеет особое значение, так как для успешности обучения, как и любой другой деятельности, необходимо «урегулирование состояния потребностно-мотивационной сферы работника на всех уровнях этой сферы» [2]. Для студентов на уровне биолого-физиологических потребностей – это создание нормальных бытовых условий и условий обучения, организация питания, режима труда и отдыха; на уровне потребности в защищенности – обеспечение социальной безопасности, соблюдение требований и норм безопасности, удовлетворение мотивации и избегания опасностей и неприятностей; на уровне потребности в самоактуализации и социальном одобрении – обеспечение систематической, адекватной оценки учебной деятельности, поддержание интереса к обучению, к решению предстоящих профессиональных задач, повышение престижности обучения в вузе, подкрепление мотивации достижений.

Учитывая, что «мотивы являются мобильной системой, на которую можно влиять», то, целенаправленно формируя устойчивую систему мотивов деятельности, можно помочь будущему специалисту в профессиональной адаптации и профессиональном становлении [7].

Дальнейший учет мотивов выбора будущей профессии и динамики мотивов учения в процессе овладения специальностью, через интерактивные формы обучения и социально-воспитательную работу, позволяет корректировать мотивы учения и влиять на профессиональное становление студентов.

Учитывая то, что эффективность учебного процесса, а, следовательно, и качество обучения, прямо связаны с тем, насколько высока мотивация овладения будущей профессией, особое внимание в вузе уделяется изучению мотивационного профиля выпускника. Организуя процесс обучения студентов мы должны учитывать, что на предприятии, в работе по управлению мотивационной сферой в профессиональной деятельности, особое внимание обращается на базовые ценности: организационную культуру, культуру безопасности, психологическую готовность к работе, ответственное отношение, уважение к сотрудникам и руководству, приверженность организации, социальный самоконтроль как результат социальной адаптации. Кроме того, в профессиограмму должностей работников входят показатели мотивационно-ценностных аспектов личности: приоритет безопасности в работе, мотивация

достижения (стремление к высокому качеству работы), познавательная мотивация (интерес к содержанию труда, производственным задачам), честность [2].

Очевидно, что и в вузе данному аспекту должно уделяться соответствующее внимание. Ранее, в статьях данного журнала нами были представлены результаты исследований по изучению и анализу ценностной составляющей культуры безопасности [8]. В данной статье мы представляем результаты исследований по мотивации труда и мотивационному профилю студента, как результат диагностической работы в рамках дисциплины «культура безопасности», так как, отмеченное нами выше, в оценке нарушений персонала АЭС по мотивационной ошибке проверяется наличие признаков снижения культуры безопасности, неадекватной мотивации, неприемлемой системы ценностей. Кроме того, в своих исследованиях ученые отдельно выделяют психологические аспекты культуры безопасности и мотивацию [2; 9]. А, также, рассматривая структуру психологической готовности студентов инженерных специальностей электроэнергетической отрасли к деятельности, ученые особо выделяют мотивационный компонент, который «раскрывается через следующие показатели: положительное отношение к выбранному виду профессиональной деятельности, потребность успешно решать профессиональные задачи, интерес к процессу их решения, стремление добиться успеха и т.д.» [10].

В исследовании применялся тест, разработанный и апробированный специалистами по подготовке персонала Шейлой Ричи и Питером Мартином (Sheila Ritchie, Peter Martin) для того, чтобы выявлять факторы мотивации, которые высоко оцениваются работником, а также те факторы, которым он придает мало значения как потенциальным источникам удовлетворения выполняемой работой [11]. В инструкции теста студентам предлагалось распределить 11 баллов между четырьмя вариантами каждого из 33 утверждений (363 балла). Завершив работу над тестом, представленным компьютерной программой, студенты получают общий результат по каждому из 12 мотивационных факторов. Большое количество баллов, присужденных какому-либо фактору, свидетельствует о его высокой значимости, малое количество баллов показывает низкий уровень потребности относительно прочих факторов.

По итогам тестирования формировался мотивационный профиль студента (рис.1), на основе показателей их потребностей по следующим мотивационным профилям:

1) Потребность в высокой заработной плате и материальном вознаграждении; желание иметь работу с хорошим набором льгот и надбавок.

2) Потребность в хороших условиях работы и комфортной окружающей обстановке.

3) Потребность в четком структурировании работы, наличии обратной связи и информации, позволяющей судить о результатах своей работы, потребность в снижении неопределенности и установлении правил и директив выполнения работы.

4) Потребность в социальных контактах: общение с широким кругом людей, легкая степень доверительности, тесных связей с коллегами.

5) Потребность формировать и поддерживать долгосрочные стабильные взаимоотношения, малое число коллег по работе, значительная степень близости взаимоотношений, доверительности.

6) Потребность в завоевании признания со стороны других людей в том, чтобы окружающие ценили заслуги, достижения и успехи индивидуума.

7) Потребность ставить для себя дерзновенные сложные цели и достигать их; это показатель потребности следовать поставленным целям и быть самомотивированным. (Показатель стремления наметать и завоевывать сложные, многообещающие рубежи.)

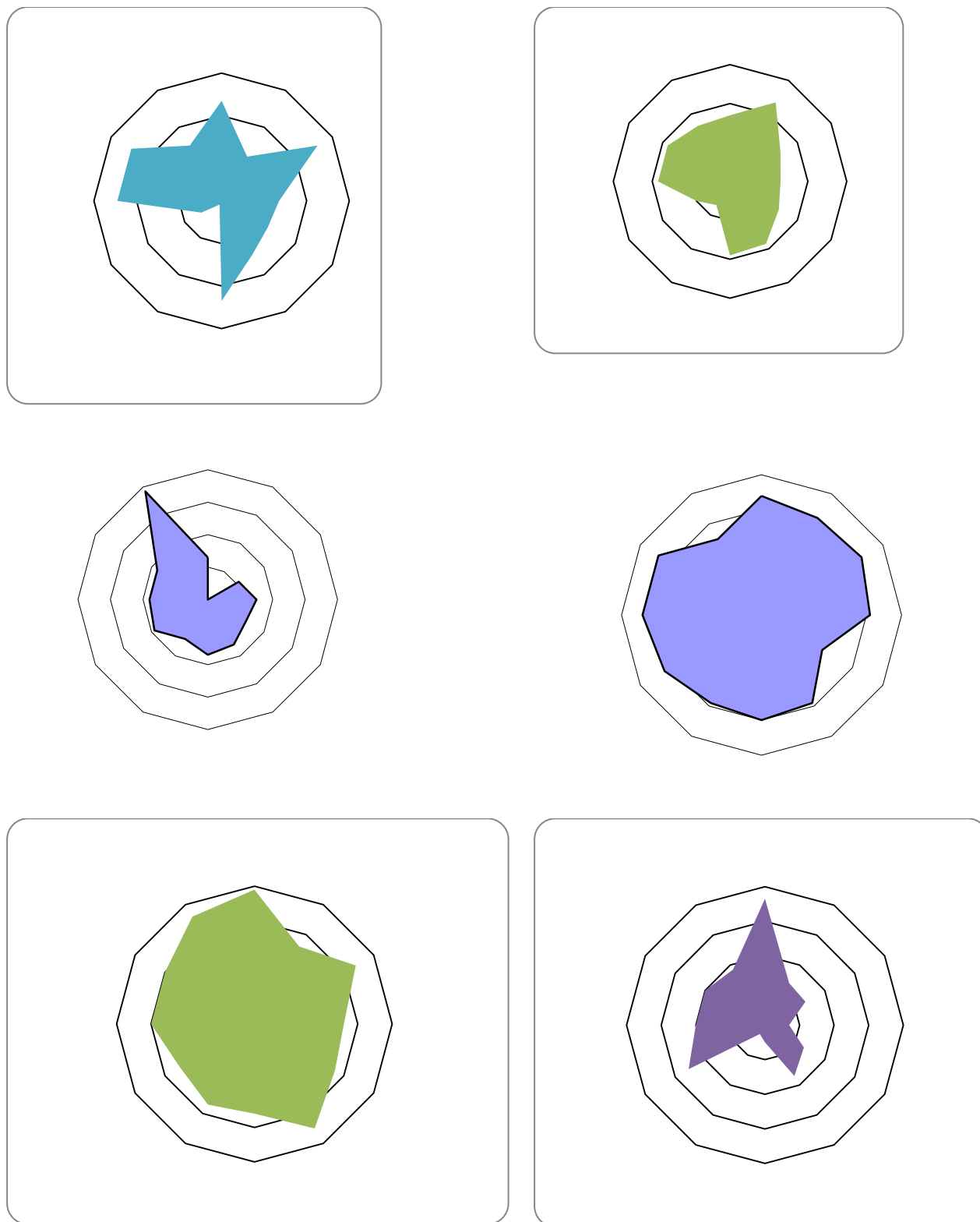


Рис. 1. Варианты мотивационных профилей студентов

8) Потребность во влиятельности и власти, стремление руководить другими; настойчивое стремление к конкуренции и влиятельности.

9) Потребность в разнообразии, переменах и стимуляции; стремление избегать рутины (скуки).

10) Потребность быть креативным, анализирующим, думающим работником, открытым для новых идей.

11) Потребность в совершенствовании, росте и развитии, как личности.

12) Потребность в ощущении востребованности в интересной общественно полезной работе.

Как показало исследование, у большинства студентов ориентация мотивационного профиля на потребность в высокой заработной плате и материальном вознаграждении; желание иметь работу с хорошим набором льгот и надбавок. Причем, имея первый ранг в мотивационных профилях многих студентов, у всех в сочетании с другими потребностями она проявляется на разных уровнях. У одних студентов, она единственно значима, а у других она проявляется почти наравне с другими потребностями. Плохо это или хорошо? Трудно делать обобщение по данному фактору, та как даже в методике заложено, что это может быть не ценностная характеристика личности студента, а проявления недостатка средств на реализацию других потребностей, т.е. наличие долгов, возникновение новых семейных обязательств, необходимые дополнительные траты или тяжелые финансовые обстоятельства обуславливают повышение значения этой потребности.

Кроме того, о значимости данной тенденции у выпускников вузов, ориентированных на специальности в ядерно-оружейном комплексе на заседании Совета при Президенте С.В. Кириенко отметил: «Мы с каждым из ребят разговариваем, они говорят: «Я, конечно, хочу, чтобы мне было чем кормить семью. Безусловно, если мне не заплатят нормальных денег... Я себя ценю». Но дальше, в общем, мотивация другая. В общем, человеку важно гордиться тем, что он делает. В инженерных специальностях вот это чувство гордости является не менее важным – может быть, более важным, чем заработная плата. Но она тоже важна» [5].

Второй по значимости для большинства студентов оказалась потребность в совершенствовании, росте и развитии как личности, которая рассматривается как показатель желания самостоятельности, независимости и самосовершенствования. На третьем месте по значимости проявилась потребность быть креативным, анализирующим, думающим работником, открытым для новых идей, которую рассматривают как показатель, «свидетельствующий о тенденции к проявлению пытливости, любопытства и не тривиального мышления, но идеи, которые вносит и к которым стремится данный индивидуум, не обязательно будут правильными или приемлемыми» [11].

Все это, подтверждает значимость изучения и формирования мотивационной составляющей личности студента в вузе. Очень важно, чтобы диагностируемые потребности студентов не шли в противоречии с требованиями к личностным характеристикам их будущих профессий. Для студентов, ориентированных на работу в атомной отрасли, желание самостоятельности, независимости, потребность быть креативным сочетались с характеристикой культуры безопасности на индивидуальном уровне: строгого соблюдения нормативной документации; качественного ведения документации, своевременное и полное информирование о своих действиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ильин, Е.П.* Мотивация и мотивы [Текст] / Е.П. Ильин – СПб: Питер. 2000.- 512с.
2. *Абрамова, В.Н.* Организационная психология, организационная культура и культура безопасности в атомной энергетике [Текст] / Часть II. Психология формирования и повышения организационной культуры и культуры безопасности на атомных станциях. – М., Обнинск: ИГ – СОЦИН, 2011.

3. Причины совершения ошибок//Надежность технических систем и техногенный риск [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.obzh.ru/nad/7-1.html> (дата обращения 20.05.2014 г.)
4. *Машин, В.А.* Метод психологического анализа причин неправильных действий персонала. Аналитический обзор. Доклад для семинара "Работа психолога в комиссии по расследованию нарушений в работе АС, связанных с неправильными действиями персонала", 14.02-17.02.2012. ЦИПК, г. Обнинск [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mashinva.narod.ru/safety.html> (дата обращения 20.03.2014 г.)
5. Модернизация инженерного образования и качества подготовки технических специалистов. Стенографический отчет о заседании Совета при Президенте по науке и образованию [Электронный ресурс] – Режим доступа: / <http://www.kremlin.ru/news/45962> (дата обращения 23.06.2014 г.)
6. Диагностика готовности первокурсников к продолжению обучения в вузе/ссузе [Электронный ресурс] – Режим доступа: / <http://diag.i-exam.ru/node/303> (дата обращения 23.04.2014 г.)
7. *Жданова, Л.Г.* Педагогические и психологические науки: современные тенденции» материалы международной заочной научно-практической конференции [Текст] / Л.Г. Жаднова. – Новосибирск, 2012.
8. *Руденко, В.А., Василенко Н.П.* Ценностная составляющая культуры безопасности [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. №4(9). 2013. С.82-86.
9. *Гордиенко, О.В.* Формирование мотивации безопасности в профессиообразовании оперативного персонала атомной станции [Текст] / Автореферат на соискание ученой степени кандидата психологических наук. – Обнинск. 2001.
10. *Крюкова, Т.Б.* Психологическая готовность студентов инженерных специальностей электроэнергетической отрасли к деятельности [Текст] / Автореферат на соискание ученой степени кандидата психологических наук. – Москва. 2011.
11. *Ритчи, Ш., и др.* Управление мотивацией [Текст] / Ш. Ритчи, П. Мартин – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004.

## Individual's Motivational Component in Safety Culture

**N.P. Vasilenko \*, V.A. Roudenko \*\***

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

**Abstract** – This article describes the significance of motivational component in safety culture at nuclear engineering enterprises. It also gives research materials of the students' motivational profile studying, which are oriented towards the work in nuclear power industry.

*Keywords:* personnel training, motivation, motivational profile, motivational mistake, safety culture, NPP staff.



**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА 2, 2014**

Абидова Е.А.	86, 91
Абросимова Н.В.	104
Берела А.И.	111
Богоровская С.А.	39
Бродягин В.Н.	71
Бурдаков С.М.	54
Василенко Н.П.	135
Гавриленко Д.С.	86
Горская О.И.	36
Грузинцев Д.С.	59
Гуляев М.В.	36
Доронин Ю.В.	71
Дорошенко Ф.Е.	71
Дубченко Я.А.	98
Елохин А.П.	5
Ефименко Е.Е.	29
Замыслова А.И.	125
Заяров Ю.В.	44
Ишигов И.О.	49
Каренгин А.Г.	21
Козловцев В.М.	54
Кузнецов П.С.	71
Кривин В.В.	49
Лабашев Д.А.	5
Малик О.В.	86
Опекунов В.С.	44
Пимшин Ю.И.	44
Подгорная О.Д.	21
Проскураков К.Н.	29
Прядко И.А.	131
Пугачёв А.К.	91
Пугачева О.Ю.	91
Речкина А.Д.	120
Руденко В.А.	44, 135
Садчикова Г.М.	64
Слепов М.Т.	79
Соловьёв В.И.	91
Стамбулко А.В.	44
Сысоев Н.П.	79
Томилин С.А.	111
Толстов В.А.	49
Тямалов А.А.	98
Федотов А.Г.	111
Шелегов А.С.	59
Шлотгауэр Е.Э.	21
Якубенко И.А.	111

**AUTHOR INDEX OF VOL. 2, 2014**

Abidova E.A.	86, 91
Abrosimova N.V.	104
Berela A.I.	111
Bogorovskaya S.A.	39
Brodjagin V.N.	71
Burdakov S.M.	54
Doronin Y.V.	71
Doroshenko F.E.	71
Dubchenko Y.A.	98
Efymenko E.E.	29
Elokhin A.P.	5
Fedotov A.G.	111
Gavrilenko D.S.	86
Gorskay O.I.	36
Grusintsev D.S.	59
Gulayev M.V.	36
Ishigov I.O.	49
Jakubenko I.A.	111
Karengin A.G.	21
Kozlovtssev V.M.	54
Kuznetsov P.S.	71
Kravin V.V.	49
Opekynov V.S.	44
Labashev D.A.	5
Malik O.V.	86
Podgornaya O.D.	21
Proskuryakov K.N.	29
Pryadko I.A.	131
Pugachyov A.K.	91
Pugachyova O.J.	91
Pimshin Y.I.	44
Rechkina A.D.	120
Roudenko V.A.	44, 135
Sadchikova G.M.	64
Shelegov A.S.	59
Shlotgauer E.E.	21
Slepov M.T.	79
Soloviev V.I.	91
Sysoyev N.P.	79
Stambylko A.V.	44
Tomilin S.A.	111
Tyamalov A.A.	98
Tolstov V.A.	49
Vasilenko N.P.	135
Zamyslova A.I.	125
Zayarov Y.V.	44

## 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).

6) Литература приводится в порядке упоминания в конце статьи. В тексте

должны быть ссылки в квадратных скобках только на опубликованные материалы. Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, с указанием на перевод.

Рекомендуется проверка статей через программу Антиплагиат на сайте <http://www.antiplagiat.ru>

Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТу 7.1-2003 «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

**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**

**№ 2(11) 2014**

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

Сдано в набор 20.06.2014 г.

Компьютерная вёрстка Вишнёва М.М.

Корректор Вишнёва М.М. ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ

Подписано к печати 25.06.2014 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м<sup>2</sup>. Объем 16,06 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ