

ISSN 2305-414X

# ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



Генеральный редактор  
Д. Н. Котельник, И. А. Дубинин

**Научно-практический журнал**

**№ 4 (9) 2013**

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

## ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 4(9) 2013

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),  
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 4, 2013

### ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Применение метода подобия при разработке полукольцевой системы крепления опасных грузов в упаковках <i>О.Ю. Жабунина, Ю.С. Зуев</i> .....	5
Долгосрочное прогнозирование погоды в зонах чрезвычайных ситуаций <i>Л.Н. Закутнева, В.В. Мякушко</i> .....	14
Дефосфотация хозяйственно-бытовых сточных вод на Ростовской АЭС с помощью «Аква-Аурата 30» <i>Е.К. Шеронова, О.И. Горская</i> .....	19

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

Согласованность экспертных оценок на основе математической теории нечетких множеств <i>Н.А. Бродягина, В.В. Мякушко</i> .....	23
Рекомендации к разработке технологического процесса получения нитридов элементов актиноидной группы методом карботермического синтеза <i>Р.М. Власевский, Ю.С. Зуев</i> .....	29

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС

Модернизация системы управления перегрузкой ядерного топлива на энергоблоке №1 Ростовской АЭС <i>И.А. Якубенко</i> .....	35
Аппаратно-программный комплекс для оперативного определения влагосодержания турбинного масла на агрегатах АЭС <i>К.С. Сидоров, В.В. Шапошников</i> .....	40
Интерактивная система паспортизации оборудования АЭС <i>Ю.Е. Ульянова, О.Ю. Пугачева, В.И. Сиротина</i> .....	46
Ядерное топливо для АЭС: современное состояние и перспективные разработки <i>Д.Н. Казьмин, И.А. Якубенко</i> .....	53

### СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС

Применение методологии структурного анализа к разработке новых профессиональных стандартов для атомной отрасли <i>В.А. Руденко, В.Г. Бекетов, С.А. Томилин, А.Г. Федотов</i> .....	58
Акустические технологии для «интеллектуальных» систем мониторинга функционального состояния оперативного состава управления объектами атомной энергетики <i>М.В. Алюшин, В.М. Алюшин, С.В. Дворянкин, Л.В. Колобашкина</i> .....	63
Роль компетенций владения языком в формировании культуры производства <i>Л.А. Гунина, Л.В. Захарова, И.В. Зарочинцева</i> .....	72
Научно-исследовательская работа студентов при проектировании установки фрагментации радиоактивных пеналов <i>С.А. Томилин, А.И. Берела, А.Г. Федотов, О.Л. Приходько</i> .....	77
Ценностная составляющая культуры безопасности <i>В.А. Руденко, Н.П. Василенко</i> .....	82
Авторский указатель номера 4, 2013.....	87

## CONTENTS

---

Number 4, 2013

---

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

The Similarity Method Usage in Development of Semi-ring Mounting Systems of the Hazardous Cargo Packages Fastening <i>O.Y. Zhabynina, Y.S. Zyev</i> .....	5
Long-term Weather Forecasting in Emergency Zones <i>L.N. Zakutneva, V.V. Myakushko</i> .....	14
Utility Sewage Dephosphatization at Rostov Nuclear Power Plant with help of “AQWA-AURAT 30” <i>E.K. Sheronova, O.I. Gorskaya</i> .....	19

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

Peer Inspections Coherence on the Mathematical Theory Basic Fuzzy Sets <i>N.A. Brodyagina, V.V. Myakushko</i> .....	23
Recommendations to the Development of Technological Process of Receiving Nitride Elements of Actinide Group by the Method of Carbonthermal Synthesis <i>R.M. Vlasevskiy, Y.S. Zyev</i> .....	29

### NPP EXPLOITATION

Control System Modernization for Overloading Nuclear Fuel at Unit #1 Rostov Nuclear Power Plant <i>I.A. Jakubenko</i> .....	35
Hardware-Software System for Moisture Content Operational Determination in Aggregates NPS Turbine Oil <i>K.S. Sidorov, V.V. Shaposhnikov</i> .....	40
The Certification Interactive System of Nuclear Power Plant Equipment <i>J.E. Ulyanova, O.Y. Pugacheva, V.I. Sirotina</i> .....	46
Nuclear Fuel for NPP: Nowadays Situation and Development <i>D.N. Kazmin, I.A. Jakubenko</i> .....	53

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

Control System Modernization for Overloading Nuclear Fuel at Unit #1 Rostov Nuclear Power Plant <i>V.A. Roudenko, V.G. Bekhetov, S.A. Tomilin, A.G. Fedotov</i> .....	58
Acoustic technologies for “intellectual” monitoring systems of atomic energetic objects’ operational control staff current functional state <i>M.V. Alyushin, V.M. Alyushin, S.V. Dvoriankin, L.V. Kolobashkina</i> .....	63
The role of language competence in production standards building <i>L.A. Gunina, L.V. Zakharova, I.V. Zarochintseva</i> .....	72
Students’ Scientific Research Work in the Projecting of the Installation of Radioactive Cases Fragmentation <i>S.A. Tomilin, A.I. Berela, A.G. Fedotov, O.L. Prihodko</i> .....	77
Value Component of Safety Culture <i>V.A. Roudenko, N.P. Vasilenko</i> .....	82

---

AuthorIndexofvol. 4, 2013.....	87
--------------------------------	----

---

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 623.454.8

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОДОБИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
ПОЛУКОЛЬЦЕВОЙ СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ  
В УПАКОВКАХ**

© 2013 г. О.Ю. Жабунина, Ю.С. Зуев

*Снежинский физико-технический институт –  
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,  
Снежинск, Челябинская обл.*

Поступила в редакцию 25.11.2013 г.

Рассматриваются вопросы обоснования безопасности упаковок опасных грузов с полукольцевыми системами крепления на основе выполнения нормативных требований. Исследуется возможность использования масштабных моделей для экспериментального обоснования вибро- и ударостойкости разрабатываемых полукольцевых систем крепления в упаковках.

*Ключевые слова:* упаковки, полукольцевые системы крепления, масштабные модели, экспериментальное обоснование, АЭС.

Обеспечение безопасности при обращении с опасными грузами (ОГ), которые могут содержать радиоактивные, вредные и другие опасные вещества, является актуальной задачей. Средства обеспечения безопасности при транспортировании ОГ включают конструктивные меры, которые заключаются, в частности, в размещении ОГ в упаковках, обеспечивающих многофакторную защиту. Упаковки должны обеспечивать сохранность груза при обычных и нормальных условиях транспортирования, то есть, обладать способностью противостоять воздействию вибрации в обычных условиях транспортирования без нарушения целостности упаковки. Во всех условиях транспортирования, включая ударные нагрузки при регламентированных уровнях аварийных воздействий (РУАВ), упаковки должны обеспечивать безопасность окружающей среды от своего опасного содержимого. Соответствие упаковок требованиям может подтверждаться проведением испытаний на моделях, содержащих исследуемые элементы, испытаниями на масштабных моделях, возможно использование предыдущего удовлетворительного подтверждения аналогичного характера, а также расчет или обоснованная аргументация [1, 2].

Лабораторно-конструкторская отработка упаковок с ОГ на действие транспортной вибрации заключается в определении параметров виброустойчивости конструкции и подтверждении её вибропрочности. В первом случае экспериментально определяется амплитудно-частотная характеристика конструкции и коэффициенты динамичности. Во втором – проводятся испытания нагружением гармонической вибрацией и широкополосной случайной вибрацией с амплитудами ускорения до 4g. При этом контролируется динамичность конструкции в диапазоне частот до 70Гц.

Испытания упаковок с ОГ, имитирующие возможные аварии при транспортировании, включают ударные нагрузки, в частности, падение с 9 м на плоскую стальную поверхность.

Использование масштабных моделей при разработке упаковок может подтвердить

теоретические исследования, законы движения, а также получить ответы на вопросы прочности и стойкости основных элементов конструкции на экономичных сборках. Модель должна включать исследуемый элемент конструкции или его подобие – пропорционально уменьшенную копию и соответствующим образом имитировать условия нагружения и общие закономерности реальной конструкции.

Обоснование подобия масштабной модели натурной конструкции подразумевает выявление основных факторов, законов движения, определяющих процесс. Для этого задача формулируется математически и определяется совокупность определяющих параметров, задание которых необходимо и достаточно для определения искомых величин в уравнениях задачи. Критерий подобия явлений заключается в постоянстве значений безразмерных комбинаций, образующих базу [3].

Понятие подобия конструкций включает несколько аспектов:

- 1) физическое подобие – подобие свойств материалов деталей;
- 2) геометрическое подобие – геометрические параметры деталей пропорциональны, отношение однородных величин (симплексов) постоянно;
- 3) механическое подобие – детали при подобных нагрузках работают одинаково – по одному закону движения с подобной реакцией.

Основными сборочными узлами упаковки являются контейнер и система крепления. Серийные контейнеры, которые, как правило, используются в упаковках ОГ, отработаны на весь комплекс регламентированных воздействий и являются многофакторной защитой для упаковываемых грузов (от климатических воздействий, пожаров и неаккуратного, несанкционированного обращения). Системы крепления, которые разрабатываются для конкретного ОГ, с учётом его инерционных, габаритных характеристик и допускаемых перегрузок, являются индивидуальной защитой для упаковываемого груза. Основные функции систем крепления – надёжное закрепление груза, вибростойкость и амортизация ударных нагрузок.

К системам крепления ОГ в упаковках, которые жёстко фиксируют груз и эффективно амортизируют ударные нагрузки, относится полукольцевая система крепления (ПСК) [4].

ПСК представляет собой сварную конструкцию из стали 20, основным амортизирующим элементом которой является криволинейная балка – полукольцо (рис. 1).

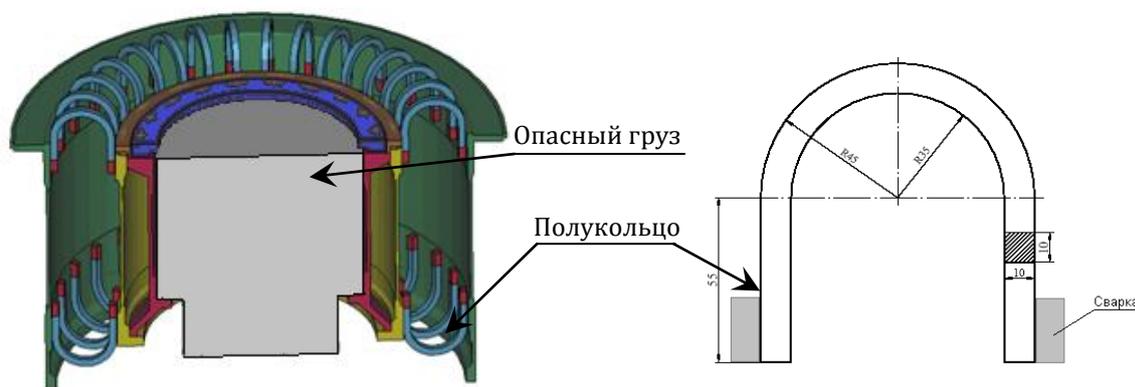
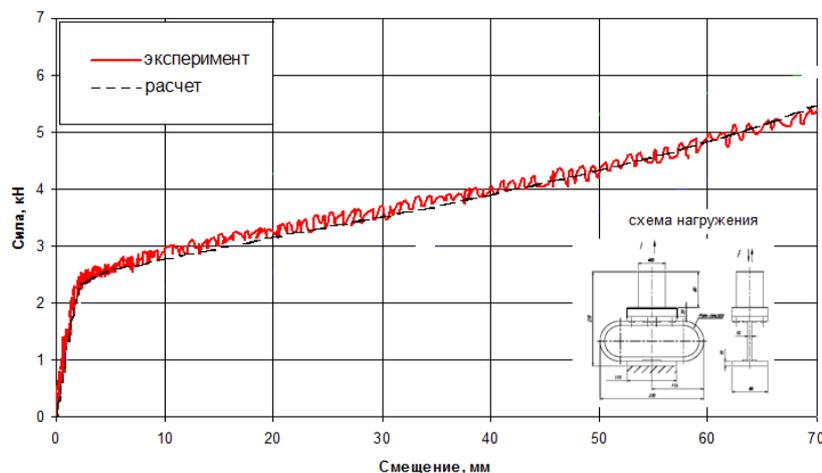


Рис. 1. Схема полукольцевой системы крепления груза в упаковке и полукольца

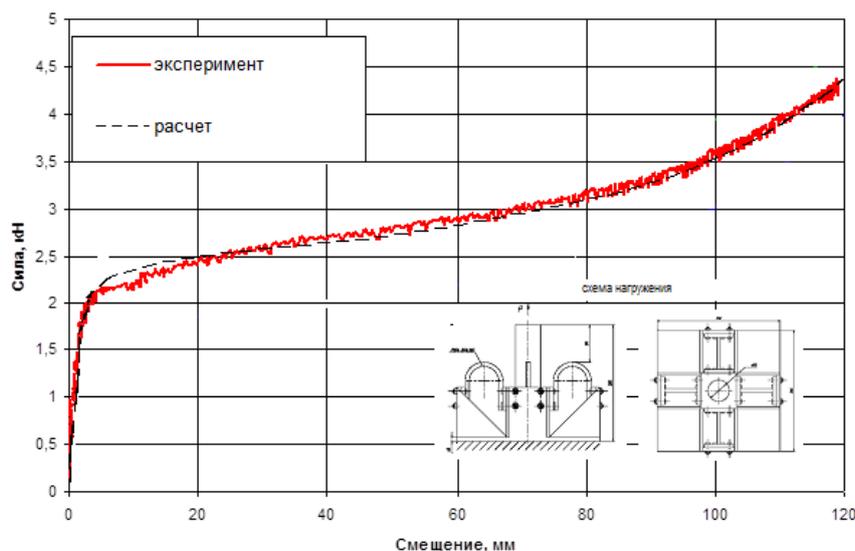
Полукольцевая система крепления, состоящая из 64 полукольцев первого типоразмера (первый типоразмер имеет квадратное сечение со стороной  $h_1=10$  мм,  $R=L=35$  мм, см. рисунок 1) в составе упаковок с грузом массой, приходящейся на полукольца 100 кг, подвергалась вибрационным и ударным испытаниям. Полукольца в

составе лабораторных блоков (по 2 или 4 полукольца) предварительно подвергались статическим испытаниям.

На рисунках 2 и 3 приведены схемы испытаний и силовые характеристики, полученные по результатам поперечного и продольного нагружений численно и экспериментально.



**Рис. 2.** Силовая характеристика полукольца 1-го типоразмера. Поперечное нагружение лабораторной сборки



**Рис. 3.** Силовая характеристика полукольца 1-го типоразмера. Продольное нагружение лабораторной сборки. Результаты испытаний и расчётов

Вибрационные испытания подтвердили вибростойкость упаковки с ПСК груза. Минимальная собственная частота колебаний груза на системе крепления составила 100 Гц. По результатам проведённых ударных испытаний были сделаны выводы об ударостойкости упаковки. При падении с 9 м ПСК обеспечила эффективное снижение перегрузок на ОГ до 200 ед., что обусловлено силовой характеристикой ПСК, близкой к оптимальной.

В дальнейшем для транспортирования ОГ больших масс встал вопрос о разработке полуколец с увеличенным размером поперечного сечения и о минимизации лабораторно-конструкторской отработки. На основании предварительных расчётов

были выбраны геометрические параметры полуколец второго типоразмера (квадратного сечения с длиной стороны –  $h_2=12\text{мм}$ ). Анализ силовых характеристик полуколец двух типоразмеров, полученных на основе расчётно-экспериментальных исследований, показал, что при приведении к безразмерному виду  $q(s)$ ,

$$q = \frac{6 \cdot R}{h^3 \cdot \sigma_T} \cdot P, \quad s = \frac{\Delta}{\Delta_0}, \quad (1)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала полукольца;

$\Delta_0, \Delta$  – допускаемое и текущее перемещение груза на ПСК, силовые характеристики полуколец подобны, их отличие не превышает 10% [5].

Учитывая то, что в упаковке с ОГ при падении с 9 м (скорость встречи с преградой 13.3 м/с) реализуется квазистатическое нагружение ОГ на системе крепления, можно сделать вывод, что увеличение массы при пропорциональном увеличении силовой характеристики с выполнением условия  $q(s)=const$  позволит получить отклик груза на ПСК подобный экспериментальному при испытаниях упаковки с грузом массой 100кг на ПСК из полуколец 1-го типоразмера.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) груза на ПСК, полученная по результатам испытаний, приводится на рисунке 4.

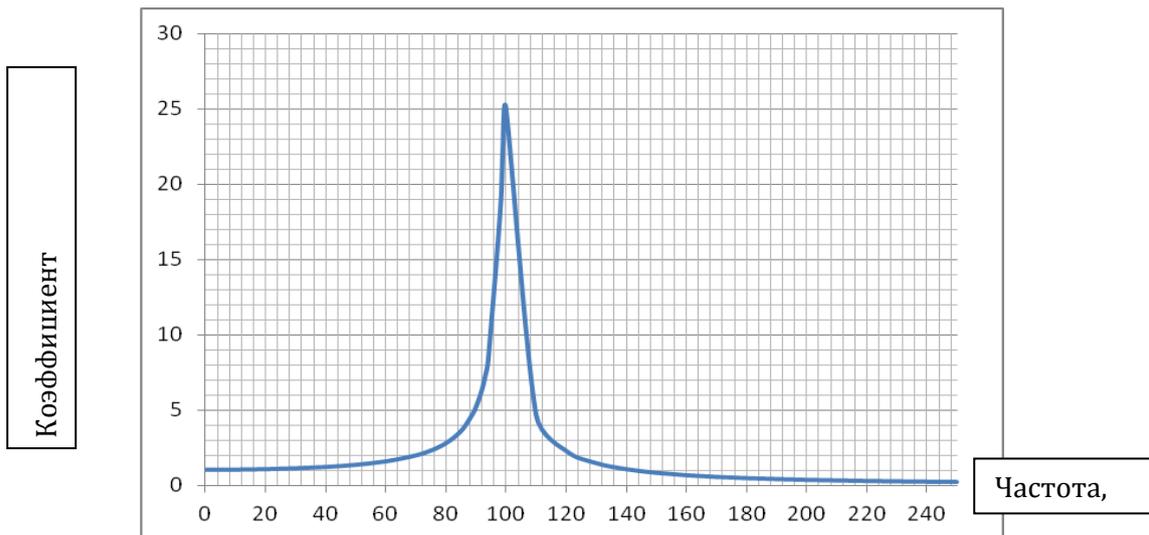


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика полукольцевой системы крепления с грузом

Анализ АЧХ ПСК с грузом показывает, что график соответствует моногармоническим колебаниям одномассовой системы с одной степенью свободы с наличием сил сопротивления. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний одномассовой системы при наличии сил сопротивления имеет вид [6]:

$$\begin{aligned} m \cdot \ddot{x} + R + F &= Q, \\ m \cdot \ddot{x} + \alpha \cdot \dot{x} + c \cdot x &= P \cdot \sin(\omega t + \delta) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $m$  – масса тела;

$t$  – текущее время;

$R$  – сила сопротивления, обусловленная упруго-вязким рассеянием энергии.

Согласно теории Фойхта при малых колебаниях в вязкой среде диссипация энергии зависит от скорости деформирования –  $R = \alpha \cdot \dot{x}$ ;

$\alpha$ –коэффициент сопротивления;

$F = c \cdot x$  –восстанавливающая сила;

$c$ – коэффициент жёсткости связи,

$Q = P \cdot \sin(\omega t + \delta)$  – возмущающая гармоническая нагрузка с круговой частотой собственных колебаний  $\omega$  и начальной фазой изменения возмущающей силы  $\delta$ .

Разделив члены уравнения (2) на  $m$  и проведя ряд замен:

$\frac{\alpha}{m} = 2\eta$  ,  $\frac{c}{m} = \omega_0^2$  ,  $\frac{P}{m} = p$  при  $\delta = 0$  получаем преобразованное дифференциальное уравнение движения тела:

$$\ddot{x} + 2\eta \dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = p \cdot \sin(\omega t + \delta), \tag{3}$$

где  $\eta$ – коэффициент затухания,

$\omega_0$  – круговая частота колебаний тела на связи.

Решение уравнения (3) при  $\eta < \omega_0$  имеет вид [6]:

$$x = a \cdot e^{-\eta t} \cdot \sin(\sqrt{\omega_0^2 - \eta^2} \cdot t) + \frac{p}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\eta^2 \cdot \omega^2}} \cdot \sin(\omega t), \tag{4}$$

где  $a$ – постоянная интегрирования.

Коэффициент динамичности системы определяется из выражения:

$$k_d = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \frac{4\eta^2 \cdot \omega^2}{\omega_0^2}}} \tag{5}$$

Для определения параметров  $\eta$  и  $\omega_0$  необходимо проанализировать работу полуколец в ПСК и соответствующий экспериментальный график АЧХ.

В транспортных средствах упаковки с ОГ, как правило, располагаются вертикально. При этом полукольца в ПСК растягиваются в продольном направлении. Жёсткость полукольца при транспортных нагрузках ( $n < 4$  ед) определяется изгибом участка полукольца в виде дуги, как участка имеющего минимальную жёсткость, и вычисляется по формуле

$$c = k \frac{E \cdot J}{R_{cp}^3} = 0.02 \frac{E \cdot h^4}{R_{cp}^3},$$

где  $E$ – модуль упругости материала полукольца, МПа;

$J$  – момент инерции сечения полукольца, мм<sup>4</sup>;

$R_{cp}$ – радиус срединной поверхности участка полукольца в виде дуги, мм;

$k$ – безразмерный коэффициент, характеризующий направление действия нагрузки. При действии нагрузки в продольном направлении  $k=0.24$ .

Для полукольца 1 -го типоразмера при  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $J = \frac{10^4}{12}$  мм<sup>3</sup>,

$R_{cp} = 40$  мм, коэффициент жёсткости при продольном нагружении равен

$$c = 0.02 \cdot \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 10^4}{40^3} = 6,25 \cdot 10^5 \text{ Н/м.}$$

При массе груза  $m=100$  кг и числе полуколец  $z=64$  частота собственных колебаний оценивается величиной

$$w_0 = \sqrt{\frac{c \cdot z}{m}} = \sqrt{\frac{6.25 \cdot 10^5 \cdot 64}{100}} = 632 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или } f_0 = 100 \text{ Гц,}$$

что согласуется с результатами экспериментов.

Величина коэффициента затухания  $\eta$  для линейных систем, движение которых подчиняется уравнению (1), определяется из выражения [6]

$$\eta = \frac{w_0 \cdot d}{\sqrt{\pi^2 - d^2}}, \quad (6)$$

где  $d$ - логарифмический декремент колебаний.

Величину  $d$  можно оценить методом кривой резонанса по АЧХ.

В соответствии с рисунком 4 величина декремента для уровня резонансного пика, равного половине его высоты, составляет  $d \approx 0.1$ . При резонансной частоте  $w_0=632$  рад/с величина коэффициента затухания по формуле (6) равна

$$\eta = \frac{632 \cdot 0,1}{\sqrt{\pi^2 - 0,1^2}} = 20 \text{ рад/с.}$$

Для полученных значений  $w_0$  и  $\eta$  по формуле (5) на рисунке 3 построен график АЧХ. Графики АЧХ рисунков 4 и 5 удовлетворительно согласуются: коэффициенты динамичности на резонансной частоте отличаются не более чем на 10%; в диапазоне наиболее динамичных транспортных частот (от 0 до 70 Гц) отличие графиков менее 3%. Проведённое исследование позволяет сделать вывод о правомочности применения одномассовой модели для оценки отклика ПСК с грузом на действие транспортной вибрации.

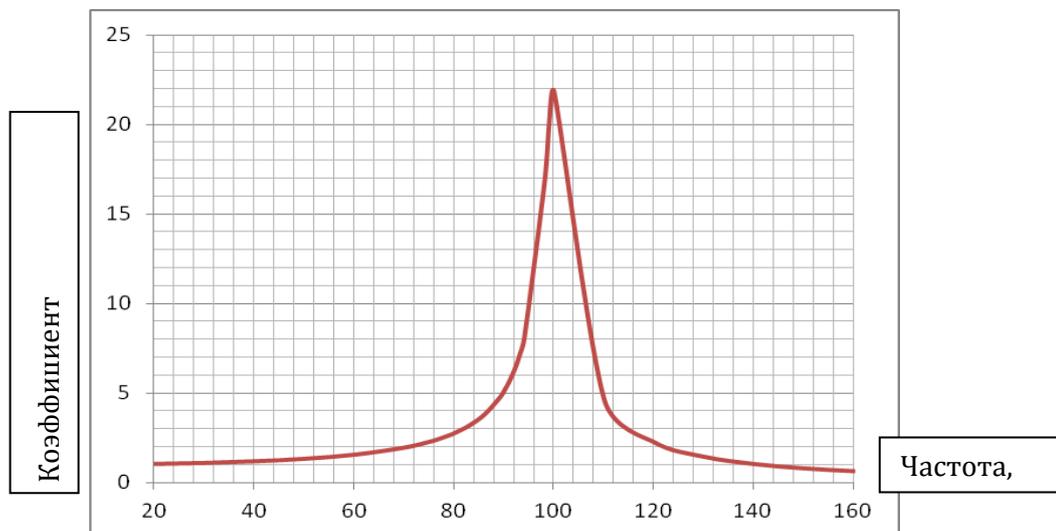


Рис. 5. Расчётная АЧХ полукольцевой системы крепления с грузом

## НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛУКОЛЕЦ В СОСТАВЕ ПСК

Напряжённно-деформированное состояние всех полуколец в составе ПСК в случае продольного деформирования одинаково. Максимальные напряжения в полукольце определяются изгибом и локализуются в области перехода дуговой части полукольца в линейный участок на внутренних волокнах. Величина максимальных нормальных напряжений для криволинейных балок определяется по формуле:

$$\sigma^{\max} = \frac{M}{z \cdot W} = 12 \frac{m \cdot g \cdot n \cdot k_d \cdot R_{cp}}{z \cdot h^3}, \quad (7)$$

где  $M$ – изгибающий момент, Н·мм;

$W$ – момент сопротивления сечения при изгибе, мм<sup>3</sup>,  $W = \frac{h^3}{6}$ .

Для полуколец 1-го типоразмера для максимальной величины перегрузки с учётом максимального коэффициента динамичности для диапазона частот до 70Гц ( $n \cdot k_d = 8 \cdot 2$ ) по формуле (7) получаем  $\sigma^{\max} = 97$  МПа.

Предел выносливости для деталей из стали 20, работающих на изгиб, равен  $\sigma_{-1} = 206$  МПа [7]. Коэффициент запаса усталостной прочности полуколец равен:

$$k_{\sigma_{-1}} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma^{\max}} = \frac{206}{97} = 2.1$$

То есть ПСК при вибрационном нагружении в составе упаковки может работать с неограниченным сроком службы. Проведённое исследование позволяет сделать вывод о возможности упрощения конструкции для проведения вибрационных испытаний ПСК, то есть использования масштабной модели. Для полукольцевых систем крепления, имеющих циклически повторяющиеся одинаковые детали, упрощение заключается, прежде всего, в снижении числа полуколец в ПСК.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СБОРКА – БЛОК ПОЛУКОЛЕЦ

Блок полуколец представляет собой конструкцию из 4 полуколец, приваренных к пластинам, которые с помощью резьбовых соединений крепятся с внутренней стороны к кубу, а с внешней к оснастке (рис. 3). На куб устанавливается дополнительный груз. Масса куба с грузом выбирается таким образом, чтобы снижение числа полуколец соответствовало снижению массы, приходящейся на полукольца сборки.

По результатам проведённых испытаний полученная АЧХ блока полуколец соответствует моногармоническим колебаниям одномассовой системы с одной степенью свободы, которые описываются уравнениями (2-5). Первая собственная частота колебаний сборки составляет 100 Гц с коэффициентом динамичности  $k_d = 30$ . В диапазоне частот до 70 Гц расчётная и экспериментальная кривые АЧХ удовлетворительно согласуются (отличаются не более чем на 10%).

Следствием равенства амплитуд при одинаковой форме колебаний конструкций является равенство НДС полуколец. Таким образом, коэффициенты запаса усталостной прочности модели и натурной конструкции аналогичны.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОДОБИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ ПСК

Понятие подобия применительно к ПСК упаковок с изделиями заключается в физическом подобии, то есть детали ПСК изготовлены из одного материала – стали 20, по одной технологии, что предполагает одинаковые свойства материалов.

Для конструкций, имеющих периодически повторяющиеся элементы (в данном случае полукольца), которые при рассматриваемом воздействии работают одинаково и параллельно, понятие геометрически подобных конструкций можно расширить за счёт изменения в них количества повторяющихся элементов ( $z$ ). В этом случае для определения всех параметров модели, включающей повторяющиеся элементы реальной конструкции, достаточно знать один параметр – коэффициент изменения числа повторяющихся элементов.

В условиях вибрации межзаводского транспортирования состояние ПСК с грузом в упаковке удовлетворительно описывается дифференциальным уравнением вынужденных колебаний одномассовой системы с учётом сил сопротивления (2).

Рассмотрим параметры, входящие в данное уравнение.

- 1) параметры, характеризующие конструкцию, – масса груза ( $m$ ); геометрические и физические параметры полукольца ( $z, h, R_{cp}, E$ ), которые определяют собственную круговую частоту колебаний груза на ПСК; коэффициент затухания;
- 2) параметры, характеризующие внешнее воздействие:  $p, g, w$ ;
- 3) параметры, характеризующие вибропрочность конструкции ( $\sigma_{-1}, \sigma$ );
- 4) параметры, характеризующие силовую характеристику полукольца (1).

Большая часть указанных параметров взаимосвязаны, имеют одинаковые или взаимосвязанные единицы измерения. Из них можно составить следующие безразмерные комбинации:

$$\left\{ \frac{0.02 \cdot z \cdot E \cdot h^4}{w_0^2 \cdot m \cdot R_{cp}^3}, \frac{\eta}{w_0}, n, \frac{w}{w_0}, \frac{\sigma_{-1}}{\sigma}, \frac{h^3 \cdot \sigma_T \cdot z}{6 \cdot R \cdot m \cdot g} \right\} \quad (8)$$

При введении симплекса  $\gamma = \frac{R_{cp}}{h}$  и выделении постоянных величин в параметры

$\xi_1 = \frac{0.02 \cdot E}{w_0^2}, \xi_2 = \frac{\sigma_{-1}}{12 \cdot g \cdot n \cdot k_d}, \xi_3 = \frac{\sigma_T}{6 \cdot g}$  система (8) приобретает вид:

$$\left\{ \xi_1 \cdot \frac{z \cdot h}{m \cdot \gamma^3}, \xi_2 \cdot \frac{z \cdot h^2}{m \cdot \gamma}, \xi_3 \cdot \frac{z \cdot h^2}{m \cdot \gamma} \right\} \quad (9)$$

Анализ определяющих параметров позволяет определить возможные варианты исполнения масштабных моделей:

- 1) пропорциональное изменение геометрических параметров полукольца в ПСК при сохранении условий  $z = const, \gamma = const$  преобразовывает систему (9) к двум

взаимоисключающим условиям:  $\frac{h}{m} = const, \frac{h^2}{m} = const$ ;

- 2) изменение числа полукольца в ПСК при  $h = const, \gamma = const$ . В этом случае система (9) преобразуется к одному условию  $\frac{h}{m} = const$ .

Проведённый анализ с использованием метода подобия позволяет сделать

следующие выводы:

1) пропорциональное снижение геометрических параметров полуколец и массы груза масштабной модели по сравнению с реальной конструкцией ПСК при постоянной частоте колебаний приводит к снижению коэффициента запаса усталостной прочности. То есть постоянство системы определяющих безразмерных параметров не соблюдается;

2) постоянство системы определяющих параметров соблюдается при снижении числа полуколец и соответствующем понижении массы груза масштабной модели по сравнению с реальной конструкцией ПСК при сохранении геометрических параметров полуколец.

Таким образом, для ПСК грузов при испытаниях на вибро- и ударостойкость возможно использование масштабных моделей, которые представляют собой ПСК с уменьшенным числом полуколец (отношение числа полуколец в реальной конструкции и модели соответствует отношению масс грузов, приходящихся на ПСК реальной конструкции и модели).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-04. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии [Текст]. – М., 2005.
2. Правила безопасной перевозки радиоактивных веществ. Требования безопасности №TS-R-1 [Текст]. – Вена:МАГАТЭ, 2009.
3. *Седов, Л.И.* Методы подобия и размерности в механике [Текст] / Л.И. Седов. М. : Наука, 1977. – 440 с.
4. *Жабунина, О.Ю.* Универсальная демпферная система крепления лабораторных сборок в защитных контейнерах [Текст] / О.Ю. Жабунина // Безопасность ядерных технологий: транспортирование радиоактивных материалов – «Атомтранс–2012»: Сб. докл. VII-й международного ядерного форума, Санкт-Петербург, 17–21 сент. 2012 г. – СПб. 2012.
5. *Жабунина, О.Ю.* Полукольцевая система крепления опасных грузов в упаковках. Метод определения параметров полуколец [Текст] / О.Ю. Жабунина // Наука и технологии: сб. науч. тр. XXXII-й всероссийской конференции по проблемам науки и технологий, Миасс, 12–14 апреля 2012 г. – М. : РАН, 2012.
6. Прочность. Устойчивость. Колебания : справочник в 3-х тт. [Текст] / Под общей ред. И.А. Биргера, Я.Г. Пановко. — М. : Машиностроение, 1968. – Том 1.
7. *Писаренко, Г.С. и др.* Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1988.

## The Similarity Method Usage in Development of Semi-ring Mounting Systems of the Hazardous Cargo Packages Fastening

**O.Y. Zhabynina\*, Y.S. Zuyev\*\***

*Snezhinsk Physisc-Technical Institute the Branch of National Nuclear Research University MEPHI  
8 Komsomolsk st., Snezhinsk city, Cheliabinsk reg. 456776  
e-mail: jabuni@yandex.ru ; e-mail: YSZuyev@mephi.ru*

**Abstract** – The report is devoted to the substantiation of the hazardous cargo packages safety with semi-ring mounting systems on the basis of meeting regulatory requirements. The authors consider the possibility of scale models usage for experimental substantiation of vibration and shock resistance of developing semi-ring mounting systems.

**Keywords:** package, semi-ring mounting system, scale models, experimental substantiation, NPP.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 551.509.313

**ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОГОДЫ  
В ЗОНАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

© 2013 г. Л.Н. Закутнева, В.В. Мякушко

*Снежинский физико-технический институт – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

Поступила в редакцию 25.11.2013 г.

Представлена методика долгосрочного прогнозирования погоды на основе нечеткого подобию, основное преимущество которой – значительно меньшие вычислительные затраты в сравнении с методами моделирования.

*Ключевые слова:* прогнозирование погоды, подобию, нечеткие множества, АЭС.

В настоящее время не существует методик долгосрочного прогнозирования погоды, состояние которой необходимо учитывать при проектировании и размещении АЭС, планировании работ, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Их последствия можно свести к минимуму, если мы заранее будем иметь представление о погодных условиях в период ЧС. Другими словами, в настоящее время необходимо предупреждать возможные последствия чрезвычайных ситуаций, для чего необходимы упреждающие действия, основанные на долгосрочном прогнозе. Долгосрочное прогнозирование погоды является также важной задачей для жизни человека, экономики, хозяйства страны.

Предсказание погоды с научной точки зрения – одна из сложнейших задач физики атмосферы. Существуют различные методы для прогнозирования, но в полном объеме ни один метод не обеспечивает пока точного прогноза. И не существует эффективных официально принятых методов прогнозирования на большие сроки (на год и более). В этой области требуется проведение трудоёмких научных исследований.

В связи этим, выбранная тема исследования «Долгосрочное прогнозирование погоды в чрезвычайных ситуациях» является наиболее актуальной в наши дни. Данное научное направление привлекает тем, что есть уникальная возможность применить имеющиеся знания и убедиться в правильности их использования на практике и, что немало важно, правильное прогнозирование принесет огромную пользу для предотвращения последствий чрезвычайных ситуаций.

На сегодняшний день имеются базовые методы, с помощью которых проводится прогнозирование.

*Синоптический метод* прогнозирования погоды состоит в одновременном обзоре состояния атмосферы на обширной территории, позволяющем определить характер развития атмосферных процессов и дальнейшее наиболее вероятное изменение погодных условий в интересующем районе. (На карты погоды наносятся данные метеорологических наблюдений на различных высотах и поверхности земли, производимых одновременно по одной программе в различных точках земного шара). Недостатком данного метода является его трудоёмкость.

*Численные (гидродинамические) методы* прогнозирования погоды основаны на математическом решении системы полных уравнений гидродинамики и получение

прогностических полей давления, температуры на определенные промежутки времени. Точность численных прогнозов зависит от скорости расчета вычислительных систем, от количества и качества информации, поступающей с метеостанций.

*Статистические методы* прогнозирования позволяют по прошлому и настоящему состоянию атмосферы определить на будущий период времени состояние погоды.

*Народные приметы* дают точность ~50%.

В оперативной практике синоптики используют комплексный подход. Но ни один из методов, включая комплексный подход, не может обеспечить долгосрочный прогноз, который необходим для предотвращения последствий чрезвычайных ситуаций.

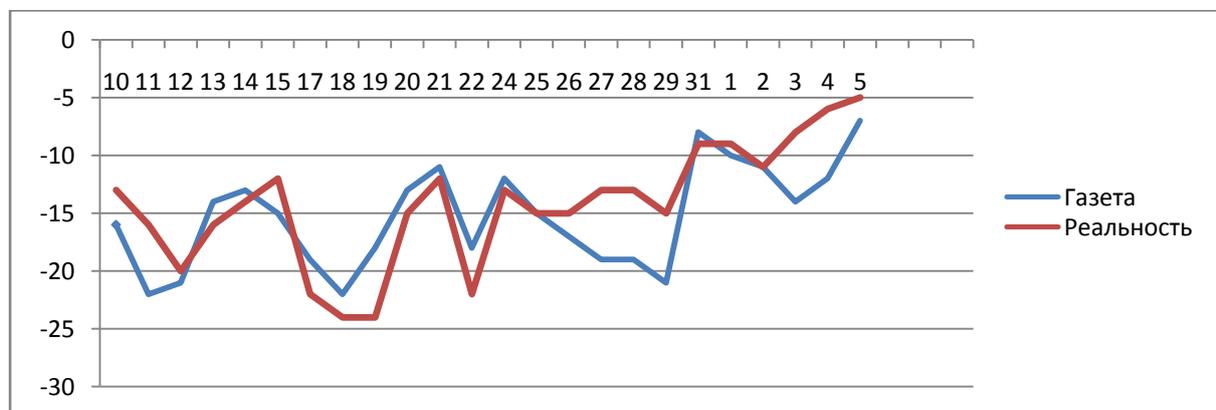
По сообщениям СМИ, приморские синоптики, опираясь на многолетний опыт, предсказывают погоду с высокой степенью оправдываемости. Приводятся результаты успешного предсказания погоды на основании прошлогодних данных с учётом смещения от вращения Земли (С. Станиславский, Витебская область). Предсказание погоды по цикличности солнечной активности предлагает методика профессора Е. Капустина (Мариуполь, Украина): если в какой-то календарный период колебания температуры совпадают с колебаниями давления, можно предполагать, что погода совпадёт с той, что наблюдалась в данном районе ровно 24 года назад. В СМИ приводился пример точного предсказания аномально жаркой летней погоды 2012 года энтузиастами-челябинцами на основе предшествующих наблюдений погоды в 90-е годы.

Всё это позволяет искать решение задачи долговременного прогнозирования на основе предшествующих наблюдений – нет более точной модели атмосферы, чем её истинное состояние в некотором интервале времени. А так как не бывает абсолютно точного совпадения состояния атмосферы и соответственно погоды, применить методы теории подобия.

Для облегчения поиска подобия из огромного массива данных по погоде на первой стадии целесообразно выделить некоторые отдельные признаки. Для исследования характеристик погоды принимается гипотеза (результаты наблюдений – рисунок 1):

- детерминированная составляющая состояния погоды в среднем за период;
- случайный характер изменения погоды на меньшем интервале времени.

Это позволяет производить обработку статистической информации с использованием математического аппарата теории вероятностей.



**Рис. 1.** Результаты наблюдений состояния погоды по температурно-временным признакам в вероятный период

Статистические характеристики случайного процесса достаточно полно отражаются следующими показателями:

- математическое ожидание  $MO(x)$  (по значению параметра погоды  $X_i$  за  $n$  наблюдений);
- среднеквадратическое отклонение  $\sigma(x)$  (дисперсия);
- автокорреляционная функция  $K_x$ , отражающая скорость изменения процесса (изменения погоды);
- взаимная корреляционная функция  $K_{xy}$  (ковариация), отражающая взаимосвязь явлений (в данном случае различных параметров погоды – ночные и дневные температуры, давление атмосферы и т.д.):

Для предварительного поиска подобных явлений (аналогов) целесообразно рассматривать или истинное состояние погоды, или наиболее точно прогнозируемый её параметр.

Учитывая названные выше свойства и имеющуюся информацию для сокращения затрат на поиск аналогов в большом объёме данных о погоде целесообразно использовать один из параметров первого дня еженедельного прогноза.

Характеристики любого явления в группе подобных могут быть получены с помощью теории подобия. Подобие – взаимнооднозначное соответствие между двумя процессами, при которых функция перехода параметров, характеризующих один из них, к другим параметрам известны, а математическое описание может быть преобразовано в тождественное. Это означает, что исследуемое явление можно получить подобным заданному путём такого его преобразования, когда размер каждой его величины поменяется в определённое число раз (подобное преобразование явлений) [1]. Детерминированные критерии отражают физическое подобие по функциям, параметрам, процессам. Стохастические критерии подобия отражают в обобщённом смысле наличие случайных факторов, разброс параметров, и т.д. Нечёткое подобие – при отсутствии числовых точных оценок и применении семантических оценок явлений.

Пределом подобия является тождество явлений, которое можно оценить простым сравнением. Однако для обработки большого массива данных при долгосрочном прогнозировании необходимо формализовать процедуру определения подобия.

После предварительного выбора аналога погоды  $X_i$  за некоторый ретроспективный период для оценки его близости к предпрогнозному периоду  $Y_i$  воспользуемся нормированным коэффициентом взаимной корреляции (ковариации) [2]:

$$K_{xy} = \frac{\sum [X_i - MO_x][Y_i - MO_y]}{\sqrt{\sum [X_i - MO_x]^2 \sum [Y_i - MO_y]^2}} \quad (1)$$

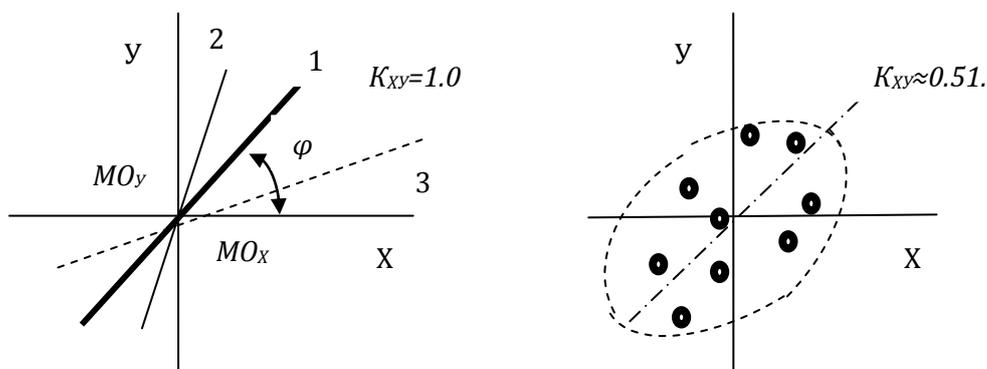


Рис. 2. Диаграмма распределения лингвистических оценок

Величины с  $K_{XY} \approx 1.0$  являются сильно коррелированными, при меньших значениях  $K_{XY}$  – слабокоррелированная связь (рисунок 2). Между этими крайними значениями может быть введена оценка в терминах математической теории нечётких множеств (по функциям принадлежности) и лингвистическая оценка нечёткости – процедура фаззификации [3]. Например, для пяти термов лингвистической оценки (связь «Очень малая», «Малая», «Средняя», «Выше средней», «Сильная») диаграмма распределения оценок приведена на рисунке 2.

Однако по  $K_{XY}$  можно установить только относительную связь явлений – значения ковариации для зависимостей 1-3 (рисунок 3) одинаковы, и не отражают однозначную связь 1 и взаимно противоположную по 2 и 3. То есть для определения степени подобия требуется также и абсолютное соотношение сравниваемых величин, о котором можно судить по углу прямой  $K_{XY}$  в секторе от  $\varphi_{XY} = 0^{\circ} \dots \pi/2$  относительно среднего значения  $\pi/4$ . Что можно также представить по функциям принадлежности и термами лингвистической оценки (например, «Меньше», «Равно», «Больше»).

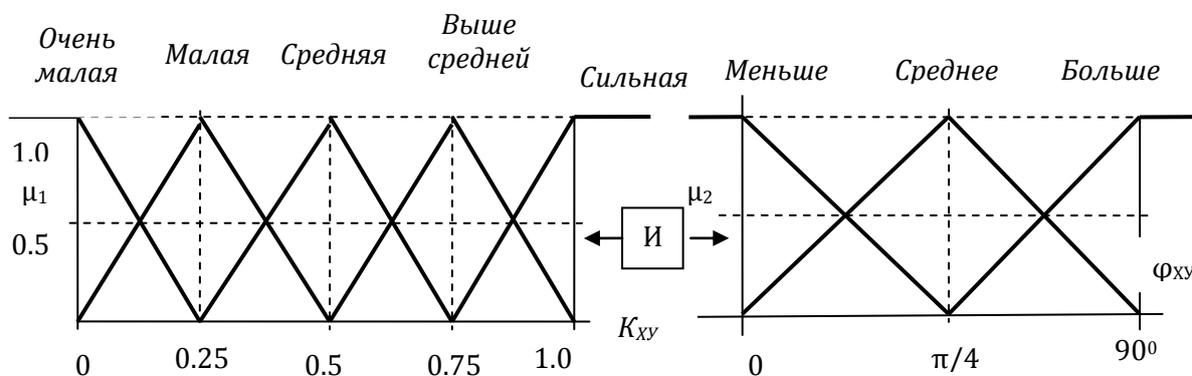


Рис. 3. Значения ковариации для зависимостей 1-3

Поэтому на первом этапе целесообразно вычислить значение ковариации, и при её приемлемом уровне («Выше среднего», «Сильная») оценить угол прямой  $K_{XY}$ . Далее осуществить объединение этих двух оценок (импликацию) логической связкой «И», которая может быть выполнена по значениям функций принадлежности и законам нечёткой логики.

Логический вывод можно сделать на базе применяемых в нечёткой логике базы правил, основанной на знании экспертов, позволяющая использовать в условиях и заключениях правил нечеткие формулировки, создаваемые на основе рациональной процедуры интуитивно-логического мышления в сочетании с количественными методами оценки и обработки полученных результатов. В наиболее общем виде база правил представляется в форме структурированного текста [2]:

$$\text{ПРАВИЛО\_R}_i: \text{ЕСЛИ } (X=A) \text{ И } (Y=B), \text{ ТО } (Z=C) \cdot F_i \tag{2}$$

где  $(X=A), (Y=B)$  – входные лингвистические переменные;  
 $(Z=C)$  – выходная лингвистическая переменная;  
 $F_i = [0 \dots 1]$  – весовые коэффициенты соответствующих правил.

Для прогнозирования одно из правил может выглядеть следующим образом:

ПРАВИЛО 1: Если  $K_{XY}$  «Сильная» И  $\varphi_{XY}$  «Среднее», ТО Подобие «Полное»

И можно предполагать, что погода на прогнозируемый период с высокой

вероятностью будет такой же, какой была после аналогичного периода в прошлом.

Условия (2) могут иметь более сложную форму и состоять из множества частей, связанных союзами *И*, *ИЛИ*. При задании или формировании базы правил необходимо определить множество правил нечетких продукций, множество входных лингвистических переменных и множество выходных лингвистических переменных. Входная или выходная лингвистическая переменная считаются заданными (определенными), если для них определено базовое терм-множество с соответствующими функциями принадлежности каждого терма. Для прогнозирования погоды имеется предостаточно ретроспективных данных для составления базы правил любого требуемого состава.

Имеются также другие методы импликации как способа вычисления общей функции принадлежности с дальнейшей дефазификацией результатов вывода (переходом от функций принадлежности и семантических оценок к числовым).

Основные преимущества метода:

- 1) большая заблаговременность, прогнозов;
- 2) высокая оперативность получения прогностической информации;
- 3) независимость составления прогноза от наличия данных с других метеостанций, позволяющая работать в условиях дефицита метеорологической информации;
- 4) экономичность, определяемая отсутствием необходимости в сборе огромного объёма информации и применения суперкомпьютеров;
- 5) автономность прогнозирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондат, Дж. и др.* Измерение и анализ случайных процессов [Текст] / Дж. Бондат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1974. – 484 с.
2. *Большаков, В.Д.* Теория ошибок наблюдения [Текст] / В.Д. Большаков. – М. : Недра, 1983. – 223 с.
3. Надёжность и эффективность в технике. Справочник в 10-ти тт. [Текст] / Под ред. В.А. Мельникова. – Т. 4. – М. : Машиностроение, 1987. – 280 с.: ил.
4. *Эльясберг, П.Е.* Измерительная информация: сколько её нужно? Как её обрабатывать? [Текст] / П.Е. Эльясберг. – М. : Наука, 1982. – 208 с.
5. *Пегат, А.* Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат ; пер. с англ. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

## Long-term Weather Forecasting in Emergency Zones

L.N. Zakutneva\*, V.V. Myakushko\*\*

*Snezhinsk Physisc-Technical Institute the Branch of National Nuclear Research University MEPHI  
8 Komsomolsk st., Snezhinsk city, Cheliabinsk reg. 456776*

*\*e-mail: zakutnevaln@yandex.ru ;\*\* e-mail: valery.myakushko@yandex.ru*

**Abstract** – This article presents the practical method of long-term weather forecasting in terms of indistinct similarity. The main advantage of this is the far less computing efforts in comparison with modeling methods.

**Keywords:** weather forecasting, similarity, fuzzy sets, NPP.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 628.19:628.3 : 621.311.25

**ДЕФОСФОТАЦИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД  
НА РОСТОВСКОЙ АЭС С ПОМОЩЬЮ «АКВА-АУРАТА 30»**

© 2013 г. Е.К. Шеронова, О.И. Горская

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

Поступила в редакцию 20.06.2013 г.

В статье анализируется влияние фосфат-ионов на водоем-охладитель Ростовской АЭС и рассматривается применение узла дефосфотации в схеме реконструированных очистных сооружений зоны "свободного" режима для его снижения с использованием в качестве коагулянта «Аква-Аурат 30».

*Ключевые слова:* водоем-охладитель, Ростовская атомная станция, фосфат-ионы, коагулянт «Аква-Аурат 30», хозяйственно-бытовые сточные воды.

Ростовская АЭС размещена на южном берегу Цимлянского водохранилища на расстоянии 13,5 км от перспективной границы г. Волгодонска.

Источником хозяйственно-питьевого водоснабжения атомной станции является водопроводная сеть г. Волгодонска. Забор воды из Цимлянского водохранилища, очистка и обработка ее до питьевого качества осуществляется на очистных сооружениях МУП «ВКХ» г. Волгодонска.

На Ростовской АЭС предусмотрены две отдельные системы канализации. В хозяйственно-бытовую канализацию зоны «строгого» режима предусмотрено поступление сточных вод от санузлов реакторного отделения, спецкорпуса, здания переработки радиоактивных отходов, а так же от душевых, воды от санпропускников после их дозиметрического контроля. В хозяйственно – бытовую канализацию зоны «свободного» режима отводятся бытовые сточные воды от промышленной и строительной площадок АЭС. Хозяйственно-бытовые сточные воды подвергаются полной биологической очистке и доочистке на очистных сооружениях канализации атомной станции.

Приемником очищенных сточных вод после очистных сооружений зоны «свободного» режима является водоем-охладитель. Он – часть оборотной системы охлаждения оборудования основного и вспомогательного производства. Водоем-охладитель образован глухой земляной плотиной в мелководной части Цимлянского водохранилища.

Водоем-охладитель является искусственным водоемом. Попав в водоем, биогенные элементы (в основном азот и фосфор) становятся питательной средой для микроорганизмов, в том числе – сине-зеленых водорослей. Продукты их жизнедеятельности приводят к изменению структуры сообщества организмов и к уменьшению содержания растворенного в воде кислорода. Биологическое потребление кислорода является одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами.

Наиболее распространенными формами, в которых фосфор присутствует в хозяйственно-бытовых сточных водах, являются органические соединения,

ортофосфаты и полифосфаты (30–50% фосфора поступает с фекальными водами, а остальные 50–70% обусловлены фосфатными компонентами, входящими в состав синтетических моющих средств).

Водоем – охладитель является водоемом рыбохозяйственного назначения и, поэтому необходимо учитывать ПДК рыбохозяйственных водоемов. Согласно нормативам допустимых сбросов, Ростовская АЭС может сбрасывать очищенные сточные воды хозяйственно-бытовой канализации зоны «свободного» режима с концентрацией фосфат-ионов не более 0,86 мг/дм<sup>3</sup>[1].

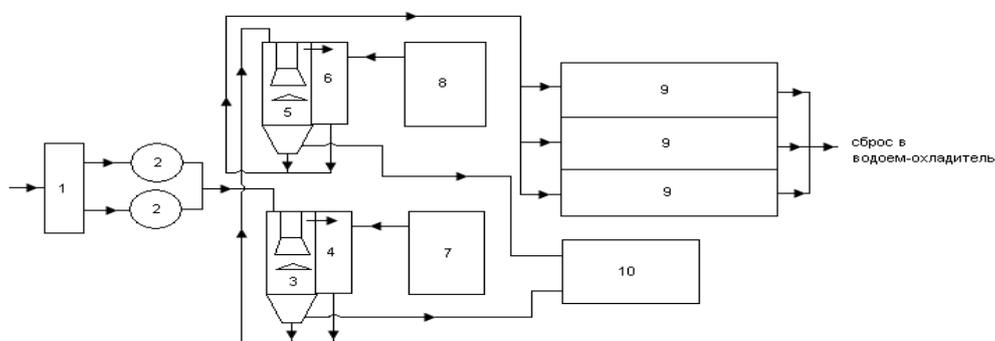
Для более эффективной работы очистных сооружений зоны «свободного» режима, а так же для снижения факторов, влияющих на интенсивность процессов эвтрофикации, была проведена их реконструкция.

В основу технологии очистки сточных вод зоны "свободного" режима была положена классическая схема очистки бытовых сточных вод в составе:

- механическая очистка на решетках, песколовках и первичных вертикальных отстойниках;
- биологическая очистка в аэротенках с регенераторами с пневматической аэрацией через фильтросы и вторичного отстаивания в вертикальных отстойниках;
- доочистка на песчаных фильтрах и дезинфекция хлором.

При реконструкции очистных сооружений было предусмотрено увеличение количества стадий обработки сточных вод (рис. 1):

- механическая очистка;
- биологическая очистка сточных вод в биореакторе;
- доочистка сточных вод на песчаных фильтрах;
- обеззараживание сточных вод;
- дефосфатация очищенных сточных вод;
- обработка осадков.



1 – канализационная насосная станция; 2 – песколовки; 3 – биореактор; 4 – контактный резервуар; 5 – вторичный отстойник; 6 – контактный резервуар; 7 – узел дефосфатации; 8 – узел обеззараживания; 9 – поля фильтрации; 10 – узел обработки осадка.

**Рис. 1.** Технологическая схема очистных сооружений зоны «свободного» режима после реконструкции

Механическая очистка предназначена для выделения из сточных вод плавающих и взвешенных веществ. Выделение происходит за счет процеживания сточной воды через сита и путем снижения скорости водного потока. В основу биологической очистки сточных вод заложена способность микроорганизмов использовать для своей жизнедеятельности органические загрязнения сточных вод в качестве продуктов питания и источника энергии. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов требуется кислород, биологические элементы и микроэлементы. В процессе своей жизнедеятельности микроорганизмы перерабатывают загрязнения, живут, размножаются и погибают. Биологическая очистка сточных вод Ростовской АЭС

осуществляется в биореакторе с ершовой загрузкой, а доочистка сточных вод производится на песчаных фильтрах. Обеззараживание очищенных сточных вод выполняется гипохлоритом натрия.

Для снижения концентрации фосфатов в очищенных сточных водах введен в эксплуатацию узел дефосфатации системы в составе:

- 2 насоса-дозатора;
- система подачи хозяйственно-питьевого водопровода;
- система подачи воздуха (для перемешивания воды и коагулянта);
- емкости на 300 литров.

Дефосфатация очищенных сточных вод производится с помощью алюминийсодержащих коагулянтов. Выбор обусловлен тем, что соли алюминия амфотерны и могут использоваться в щелочных средах. Одним из наиболее перспективных коагулянтов является полихлорид (оксихлорид) алюминия. Аква-Аурат 30 является коагулянтом нового поколения из указанного типоряда.

«Аквa-Аурат 30» – порошок кремового или желтого цвета, герметично упакованный в полипропиленовые мешки или мягкие контейнеры с полиэтиленовыми вкладышами соответственно по 25 кг и 850 кг. В исправной герметичной упаковке может храниться как в отапливаемых так и в неотапливаемых помещениях. После вскрытия упаковки «Аквa-Аурат 30» следует полностью использовать для приготовления водного раствора. Порошок гигроскопичен, легко растворяется в воде при комнатной температуре. С ростом температуры его растворимость повышается. Разлагается при температуре  $\geq 200^{\circ}\text{C}$  с выделением хлористого водорода. Продукт пожаровзрывобезопасен.

При работе с «Аквa-Ауратом 30» в качестве средств индивидуальной защиты применяются противопылевой респиратор типа «Лепесток» и защитные очки. Необходимо не допускать контакта коагулянта с кожным покровом, при попадании в глаза необходимо их промывать чистой водой не менее 15 минут, затем обратиться в медсанчасть атомной станции. При попадании порошка «Аквa-Аурат 30» на кожу его следует стряхнуть и кожные покровы обильно промыть водой или 2%-ным раствором питьевой соды.

Растворы «Аквa-Аурата 30» с массовой долей  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , более 17% приготавливать не рекомендуется, т.к. в таких растворах через некоторое время продукт начинает кристаллизоваться.

Таблица 1.– Технические характеристики коагулянта марки «Аквa-Аурат 30»

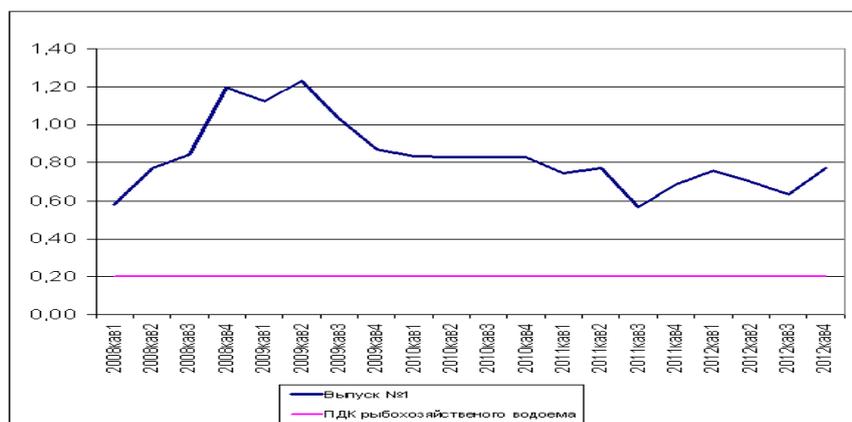
	Характеристики	Единици измерения	Величина
1	Массовая доля оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	%	30,0+3,0
2	Массовая доля хлора (Cl-)	%	35,0+5,0
3	Массовая доля нерастворимого в воде остатка, не более	%	0,1
4	Относительная молекулярная масса		109,37
5	Температура разложения	$^{\circ}\text{C}$	200
6	Растворимость в воде при $20^{\circ}\text{C}$	–	полностью
7	Растворимость в органических растворителях	–	Нет
8	Основность	–	43,0+5,0

Коагулянт «Аквa – Аурат 30» имеет следующие преимущества:

1) Обеспечивает хлопьеобразование в широком диапазоне без регулирования рН очищаемой воды. Установленный оптимум для оксихлорида составляет 6,0–8,5, для сульфата алюминия 6,0–7,0;

2) Практически не изменяет рН и щелочной резерв очищаемой воды, благодаря чему снижается кислотная коррозия коммуникации;

- 3) Образует более крупные хлопья, осаждение которых происходит быстрее, что позволяет уменьшить объем сооружений;
- 4) Коагулирующая способность практически не зависит от температуры;
- 5) Имеет длительный срок хранения, не требует для хранения отапливаемых помещений;
- 6) Легко и быстро растворяется в воде, что позволяет осуществлять точную дозировку.



**Рис.1.** «Динамика содержания фосфора фосфатов в очищенных сточных водах зоны «свободного» режима»

Внедрение узла дефосфотации в составе очистных сооружений хозяйственно-бытовых сточных вод Ростовской АЭС в третьем квартале 2009 г., как видно из рисунка 1, позволило снизить концентрацию фосфора фосфатов в очищенных сточных водах [2] до нормативов допустимых сбросов (0,86 мг/дм<sup>3</sup>). Это способствует уменьшению интенсивности процессов эвтрофикации, а, следовательно, сохранению биоценоза водоема-охладителя атомной станции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ростовская атомная станция. Отчет по экологической безопасности за 2011 год [Текст]. – М. : РоАЭС, 2012. – 36 с.
2. Ростовская атомная станция. Отчет по экологической безопасности за 2012 год [Текст]. – М.: РоАЭС, 2013. – 37 с.

### Utility Sewage Dephosphatization at Rostov Nuclear Power Plant with help of “AQWA-AURAT 30”

**E.K. Sheronova\*, O.I. Gorskaya\*\***

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

*\* e-mail: sorceress-666@mail.ru ; \*\*e-mail: admin@rosnpp.org.ru*

The article analyzes the phosphate-ions impact on the cooling pond of Rostov nuclear power plant and considers the use of the dephosphatization site in the scheme reconstructed treatment facilities zone "free" mode for reducing application as coagulating agent “Aqua-Aurat 30”.

**Keywords:** cooling pond, Rostov nuclear power plant, phosphate-ion, coagulating agent “Aqua-Aurat 30”, utility-domestic sewage.

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,  
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

УДК 51-7

СОГЛАСОВАННОСТЬ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК НА ОСНОВЕ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

© 2013 г. Н.А. Бродягина, В.В. Мякушко

*Снежинский физико-технический институт – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

Поступила в редакцию 25.11.2013 г.

Основной недостаток существующих методов экспертных оценок – формальное несоответствие обработки нечетких лингвистических оценок по строгим математическим зависимостям. При обработке информации одним из этапов является обобщение и согласование мнений экспертов. Для оценки согласованности коллективной работы экспертной группы авторами использована математическая теория нечетких множеств.

*Ключевые слова:* экспертные оценки, ранжирование характеристик, нечеткие множества, инженерное прогнозирование, энергетика.

Метод экспертных оценок широко применяется при проектировании сложных технических систем, оценке безопасности и решении других задач. Недостаток метода – возможность грубых субъективных ошибок экспертов. Один из приемов исключения этой ошибки – определение согласованности экспертных оценок, которое может быть выполнено различными методами.

Классическим методом оценки согласованности является обработка экспертных оценок, представленных точными числовыми значениями [1]. Оценки экспертов являются не только субъективными, но и имеющими некоторую неопределенность, даже если они даются не в лингвистической форме, а в виде некоторых цифровых коэффициентов. Недостатком данного подхода оценки согласованности экспертов является: большой объем вычислений, сложность восприятия искусственных зависимостей больших групп данных, требуется специальная интерпретация результатов.

Следовательно, для оценки согласованности экспертов, по мнению автора, целесообразно использовать математическую теорию нечетких множеств. Так, например, по методу Т. Саати оценка суждений эксперта относительно принимаемых значений выражается в лингвистических переменных с последующей фазификацией для алгоритма построения функций принадлежности и оценки индекса согласованности [2]. Недостаток этого метода – сложность представления суждений экспертов в виде отношений между элементами, техническая сложность обработки вынуждает прибегать к приближенным вычислениям.

Обработка экспертных оценок с применением математического аппарата нечетких множеств, проведена применительно к методу коллективной работы экспертной группы [5].

На первом этапе по этой методике производится опрос  $n$  – экспертов и ранжирование экспертами отобранных  $m$  характеристик объекта прогнозирования – оценка весов характеристик  $\alpha_{ij}$  ( $i=1 \dots m, j=1 \dots n$ ) (таблица 1).

**Таблица 1.** Веса характеристик

Эксперты	Вес характеристики				
	1	2	3	...	m
1	$\alpha_{11}$	$\alpha_{21}$	$\alpha_{31}$	...	$\alpha_{m1}$
2	$\alpha_{12}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{32}$	...	$\alpha_{m2}$
...	...	...	...	...	...
n	$\alpha_{1n}$	$\alpha_{2n}$	$\alpha_{3n}$	...	$\alpha_{mn}$

С точки зрения теории нечетких множеств оценки  $\alpha_{ij}$  характеристик множества экспертов  $n$  можно рассматривать как некоторые функции принадлежности  $\mu(\alpha_{ji})$  к множеству  $A_i$  характеристик объекта прогнозирования  $m$  (таблица 2) [3]. Следовательно, имеются все основания для использования математической теории нечетких множеств, при их обработке.

Предлагается метод ранжирования характеристик с применением теории нечетких множеств, путём нахождения наиболее весомой характеристики по пересечению и объединению нечетких множеств  $A_i$  [4]. Это может быть реализовано соответственно

взятием минимума функции принадлежности  $\min \mu_{A_i}(\alpha_{ij})$  и максимума функции принадлежности  $\max \mu_{A_i}(\alpha_{ij})$  (таблица 2) с последующим определением относительного обобщенного расстояния Хэмминга  $d$ :

$$d = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m |\max \mu_{A_i}(\alpha_{ij}) - \min \mu_{A_i}(\alpha_{ij})| \quad (1)$$

**Таблица 2.** Функции принадлежности

Эксперты	Функции принадлежности			
	1	2	...	m
	$A_1$	$A_2$		$A_m$
1	$\mu_{A_1}(\alpha_{11})$	$\mu_{A_2}(\alpha_{21})$	...	$\mu_{A_m}(\alpha_{m1})$
2	$\mu_{A_1}(\alpha_{12})$	$\mu_{A_2}(\alpha_{22})$	...	$\mu_{A_m}(\alpha_{m2})$
...	...	...	...	...
n	$\mu_{A_1}(\alpha_{1n})$	$\mu_{A_2}(\alpha_{2n})$	...	$\mu_{A_m}(\alpha_{mn})$
$\max \mu_{A_i}(\alpha_{ij})$	$\max \mu_{A_1}(\alpha_{1j})$	$\max \mu_{A_2}(\alpha_{2j})$	...	$\max \mu_{A_m}(\alpha_{mj})$
$\min \mu_{A_i}(\alpha_{ij})$	$\min \mu_{A_1}(\alpha_{1j})$	$\min \mu_{A_2}(\alpha_{2j})$	...	$\min \mu_{A_m}(\alpha_{mj})$

Достоинством данного метода является простота, недостаток – на результатах сильно сказывается случайная или намеренная ошибка одного из экспертов, в результате которой может возникнуть грубая ошибка или забракована работа всей группы экспертов.

Указанный выше недостаток устраняется предлагаемым авторами методом определения согласованности экспертных оценок по индексу нечеткости  $v(A)$  для среднеквадратического отклонения экспертных оценок весов характеристик (табл. 3).

Индекс нечеткости по определению является хорошим аналогом показателя согласованности экспертов (конкордации):

$$v = (A) = \frac{2}{n} \cdot d'(A, \tilde{A}) \quad (2)$$

где  $\tilde{A}$  – подмножество, ближайшее к нечеткому, т.е. расположенное на наименьшем евклидовом расстоянии от данного нечеткого подмножества  $A$ , для которого верно:

$$\begin{cases} \mu_{\tilde{A}}(\alpha_{ij}) = 0 & \text{при } \mu_A(\alpha_{ij}) \leq 0,5 \\ \mu_{\tilde{A}}(\alpha_{ij}) = 1 & \text{при } \mu_A(\alpha_{ij}) > 0,5 \end{cases} \quad (3)$$

$d'$  – обобщенное расстояние Хемминга:

$$d'(A, \tilde{A}) = \sum_{j=1}^n |\mu_A(\alpha_{ij}) - \mu_{\tilde{A}}(\alpha_{ij})| \quad (4)$$

**Таблица 3.** Индексы нечеткости оценок

Эксперты	Номер характеристики						
	1		2		...	m	
	$A_1$	$A_{\sim 1}$	$A_2$	$A_{\sim 2}$		$A_m$	$A_{\sim m}$
1	$\mu_{A_1}(\alpha_{11})$	$\mu_{A_{\sim 1}}(\alpha_{11})$	$\mu_{A_2}(\alpha_{21})$	$\mu_{A_{\sim 2}}(\alpha_{21})$	...	$\mu_{A_m}(\alpha_{m1})$	$\mu_{A_{\sim m}}(\alpha_{m1})$
2	$\mu_{A_1}(\alpha_{12})$	$\mu_{A_{\sim 1}}(\alpha_{12})$	$\mu_{A_2}(\alpha_{22})$	$\mu_{A_{\sim 2}}(\alpha_{22})$	...	$\mu_{A_m}(\alpha_{m2})$	$\mu_{A_{\sim m}}(\alpha_{m2})$
...	...	...	...	...	...	...	...
n	$\mu_{A_1}(\alpha_{1n})$	$\mu_{A_{\sim 1}}(\alpha_{1n})$	$\mu_{A_2}(\alpha_{2n})$	$\mu_{A_{\sim 2}}(\alpha_{2n})$	...	$\mu_{A_m}(\alpha_{mn})$	$\mu_{A_{\sim m}}(\alpha_{mn})$
$v(A_i)$	$v_1(A_1)$		$v_2(A_2)$			$v_m(A_m)$	
$\tilde{v}(A_i)$							

Тогда общий индекс нечеткости  $\tilde{v}(A_i)$  находится по индексам нечеткости отдельных характеристик.

Для проверки результатов расчетов определяется обобщенное относительное расстояние Хемминга всех взятых попарно нечетких множеств  $B_i$  от множества  $B_j$  оценок экспертов, для которых определяются индексы нечеткости:

$$d(B_i, B_j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\mu_{B_i}(\alpha_i) - \mu_{B_j}(\alpha_j)| \quad (5)$$

Общая оценка согласованности, соответствующая коэффициенту конкордации, определяется по индексам нечеткости  $v$  и  $\tilde{v}$ .

При полной согласованности  $v = 0$ , индекс нечеткости увеличивается при росте несогласованности.

По предложенной методике произведена оценка согласованности опроса экспертов одной из разработок при определении весовых коэффициентов основных

характеристик. Данные опроса экспертов приведены в таблице 4.

**Таблица 4.** Результаты опроса экспертов

	Веса характеристик					
	1	2	3	4	5	6
Номер эксперта	пространственное разрешение	плотностное разрешение	доза облучения	скорость сканирования	надежность	масса
1	1,0	0,5	1,0	0,8	1,0	0,7
2	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,0
3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
4	0,9	0,8	0,6	1,0	0,8	1,0
5	0,8	0,9	1,0	0,7	1,0	0,3
6	1,0	1,0	0,8	0,7	0,9	0,5
7	1,0	0,9	0,5	0,3	0,8	0,3
8	1,0	1,0	0,8	0,5	0,6	0,2
9	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8
10	0,9	0,2	1,0	0,8	0,1	1,0
$\max \mu_{A_i}(\alpha_{ij})$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$\min \mu_{A_i}(\alpha_{ij})$	0,8	0,2	0,5	0,3	0,1	0,0

Как видно, оценки экспертов имеют достаточно большой разброс, и появляется необходимость определения степени согласованности мнений экспертов в пределах каждой характеристики и в целом.

Обобщенное относительное расстояние Хемминга, рассчитанное по формуле (1):

Расчет индекса нечеткости оценок приведен в таблице 5.

$$d = \frac{1}{6} \cdot (0,2 + 0,8 + 0,5 + 0,7 + 0,9 + 1,0) = 0,683$$

**Таблица 5.** Индекс нечеткости оценок

Номер эксперта	1		2		3		4		5		6	
	$A_1$	$A_{\sim 1}$	$A_2$	$A_{\sim 2}$	$A_3$	$A_{\sim 3}$	$A_4$	$A_{\sim 4}$	$A_5$	$A_{\sim 5}$	$A_6$	$A_{\sim 6}$
1	1,0	1	0,5	0	1,0	1	0,8	1	1,0	1	0,7	1
2	1,0	1	1,0	1	0,9	1	1,0	1	1,0	1	0,0	0
3	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,8	1
4	0,9	1	0,8	1	0,6	1	1,0	1	0,8	1	1,0	1
5	0,8	1	0,9	1	1,0	1	0,7	1	1,0	1	0,3	0
6	1,0	1	1,0	1	0,8	1	0,7	1	0,9	1	0,5	0
7	1,0	1	0,9	1	0,5	0	0,3	0	0,8	1	0,3	0
8	1,0	1	1,0	1	0,8	1	0,5	0	0,6	1	0,2	0
9	1,0	1	1,0	1	1,0	1	0,8	1	1,0	1	0,8	1
10	0,9	1	0,2	0	1,0	1	0,8	1	0,1	0	1,0	1
$\nu(A)$	0,1		0,24		0,3		0,42		0,22		0,4	
$\nu'(A)$	0,56											

Для первой характеристики индекс нечеткости по формуле (2) равен:

$$v_1(A) = \frac{2}{10} \cdot [ |1,0-1,0| + |1,0-1,0| + |0,9-1,0| + |0,9-1,0| + |0,8-1,0| + |1,0-1,0| + |1,0-1,0| + |1,0-1,0| + |1,0-1,0| + |0,9-1,0| ] = \frac{2}{10} \cdot 0,5 = 0,1$$

**Аналогично находится индекс нечеткости для остальных характеристик.**

Тогда общий индекс нечеткости  $v(A)$  по формуле (2):

$$v(A) = \frac{2}{6} \cdot (|0,1-0| + |0,24-0| + |0,3-0| + |0,42-0| + |0,22-0| + |0,4-0|) = 0,56$$

Результаты расчетов обобщенного относительного расстояния Хемминга по формуле (5) приведены в таблице 6.

Общая оценка согласованности, соответствующая коэффициенту конкордации, определяется по индексу нечеткости индексов  $v = 0,5600$ ;  $v'' = 0,5324$ , что свидетельствует о недостаточной согласованности экспертных оценок.

**Таблица 6.** Обобщенного относительное расстояние Хэмминга

Номер эксперта	Номер эксперта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$d_1(B_i, B_j)$	$d_2(B_i, B_j)$	$d_3(B_i, B_j)$	$d_4(B_i, B_j)$	$d_5(B_i, B_j)$	$d_6(B_i, B_j)$	$d_7(B_i, B_j)$	$d_8(B_i, B_j)$	$d_9(B_i, B_j)$	$d_{10}(B_i, B_j)$
1	0	0,15	0,09	0,15	0,11	0,11	0,2	0,19	0,06	0,16
2	0,15	0	0,12	0,18	0,1	0,1	0,17	0,12	0,11	0,31
3	0,09	0,12	0	0,08	0,1	0,08	0,17	0,16	0,05	0,19
4	0,15	0,18	0,08	0	0,18	0,14	0,17	0,2	0,13	0,19
5	0,11	0,1	0,1	0,18	0	0,08	0,13	0,12	0,09	0,25
6	0,11	0,1	0,08	0,14	0,08	0	0,11	0,08	0,07	0,25
7	0,2	0,17	0,17	0,17	0,13	0,11	0	0,09	0,18	0,32
8	0,19	0,12	0,16	0,2	0,12	0,08	0,09	0	0,15	0,27
9	0,06	0,11	0,05	0,13	0,09	0,07	0,18	0,15	0	0,2
10	0,16	0,31	0,19	0,19	0,25	0,25	0,32	0,27	0,2	0
$v(B)$	0,244	0,272	0,208	0,284	0,232	0,204	0,308	0,276	0,208	0,428
$v''(B)$	0,532									

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гмошинский, В.Г. Инженерное прогнозирование [Текст] / В.Г. Гмошинский. – М. : Энергоиздат, 1982. – 208 с.
2. Саати, Т. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993.
3. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
4. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат ; пер. с англ. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
5. Бродягина, Н.А. и др. Метод теории нечётких множеств в инженерном прогнозировании [Текст] / Н.А. Бродягина, В.В. Мякушко // Теория нечётких множеств в прикладных инженерных задачах / Сборник науч. трудов. – Снежинск: СГФТА, 2008. С. 16–28.

## Peer Inspections Coherence on the Mathematical Theory Basic Fuzzy Sets

**N.A. Brodyagina, V.V. Myakushko**

*Snezhinsk Physisc-Technical Institute the Branch of National Nuclear Research University MEPHI  
8 Komsomolsk st., Snezhinsk city, Cheliabinsk reg. 456776  
e-mail: sfti@mephi.ru*

**Abstract** – The article describes the main drawback of current peer inspections methods which is the formal processing of fuzzy linguistic values irrelevance to strict functions. It is also deals with the information processing one of the stages is the experts' opinion generalization and accommodation. The authors used the fuzzy sets mathematical theory to estimate the coherence of experts' group collaboration.

*Keywords:* peer inspections, characteristic ranging, fuzzy sets, engineering forecasting, energetic.

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

УДК 621.039.546.8

**РЕКОМЕНДАЦИИ К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НИТРИДОВ  
ЭЛЕМЕНТОВ АКТИНОИДНОЙ ГРУППЫ МЕТОДОМ  
КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

© 2013 г. Р.М. Власевский, Ю.С. Зуев

*Снежинский физико-технический институт – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,  
Снежинск, Челябинская обл.*

Поступила в редакцию 25.11.2013 г.

В статье представлены результаты анализа современного состояния исследований по методам синтеза нитридов урана, плутония и их смешанных нитридов методом карботермического синтеза, обозначены основные проблемы и возможные методы решения для данного метода. По результатам анализа предложена теоретическая основа для разработки и оптимизации технологии изготовления порошков нитридов урана и плутония, необходимых для создания нитридного топлива для ЭТВС реакторов на быстрых нейтронах БН-600.

*Ключевые слова:* нитрид урана, нитрид плутония, карботермический синтез, карбонитрид, оксинитрид, кинетика синтеза, константа скорости, энергия активации.

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Реакция карботермического синтеза нитридов урана и плутония, как и реакция карботермического синтеза карбидов урана и плутония, протекает количественно до конца при эффективном удалении окиси углерода из зоны реакции. Одними из основных параметров процесса карботермического синтеза, от которых зависит какой продукт будет получен в результате – нитрид, карбонитрид или оксикарбонитрид – являются температура и парциальное давление азота и СО[1]. В работе [2] расчетами показано, что чистый нитрид урана (99,8% с остаточным кислородом менее 30 ppm) может быть получен при температуре 1400-2200<sup>0</sup>С при давлении азота 1 атм и давлении СО менее 10<sup>-4</sup> атм.

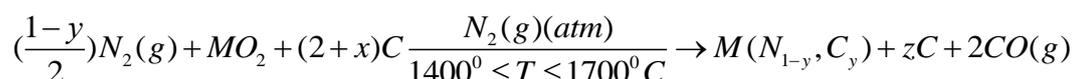
В отечественной открытой научно-технической литературе публикаций по синтезу нитридов урана и плутония карботермическим методом немного. Например, в книге [1] нет ни одной ссылки на отечественные публикации по данному вопросу. В последние годы появились статьи коллектива авторов во главе с Рогозкин Б.Д. по исследованию нитридного топлива в Российской Федерации [3-4]. Однако вопросы синтеза нитридов в этих работах освещены кратко и касаются в основном метода прямого синтеза.

В зарубежной литературе обзорных работ по карботермическому синтезу смешанных нитридов урана и плутония также не было выявлено. В работе [5] представлен достаточно подробный обзор по методам синтеза нитридов урана и

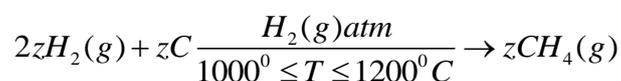
обширный список литературы по синтезу нитридов урана, плутония и смешанных нитридов. Далее будет приведен краткий реферат и выводы научных работ, в которых подробно представлены авторские результаты экспериментальных исследований по карботермическому синтезу нитридов актинидов.

Одной из первых научных публикаций по карботермическому синтезу нитридов урана, плутония и смешанных уран-плутониевых нитридов, является статья [6]. В работе приведены ссылки на предыдущие отчеты, статьи и патент (US № 3510434 C01B21/00), поэтому статью можно рассматривать, как обобщение результатов исследований по рассматриваемому вопросу в течение нескольких лет.

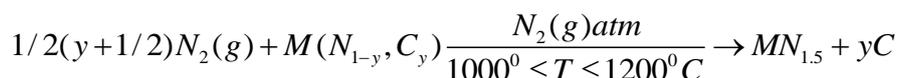
Разработанный метод карботермического синтеза нитридов состоит из пяти основных стадий. Первая стадия – это суммарная карботермическая реакция:



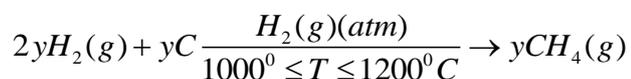
2-я стадия – реакция удаления избыточного углерода:



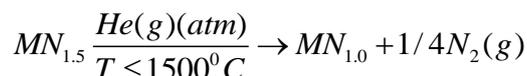
3-я стадия – реакция превращения карбонитрида в полуторный нитрид:



4-я стадия – реакция удаления углерода, выделившегося в предыдущей реакции:



5-я стадия – разложение полуторного нитрида до моонитрида:



В экспериментах использовали исходный материал (в количестве примерно 50 г) в виде частиц порошка, полученного при измельчении таблеток. Таблетки формировали из тщательно перемешанных порошка углерода субмикронного размера и порошка оксидов урана и плутония микронного размера. Исходный материал содержал избыток углерода (1% масс.) для гарантированного удаления всего кислорода (химически связанного и адсорбированного) и минимизации влияния диффузионных процессов на скорость реакции образования нитридов. Реакцию проводили в пористом вольфрамовом реакторе с подачей реакционного газа на слой порошка снизу.

Составы нескольких партий синтезированных нитридов представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Состав смешанных нитридов, синтезированных карботермическим методом

Состав	Номер партии				
	U-2	UP-4	UP-6	UP-7	P-1
N <sub>2</sub> (масс.%)	4,84	5,22	5,20	5,30	5,08
O <sub>2</sub> (масс.%)	0,04	0,10	0,08	0,18	0,07
C (масс.%)	0,25	0,17	0,18	0,29	0,07
отношение U/Pu	только U	4,0	4,0	4,2	только Pu
Параметр решетки, (нм)	4,890	4,893	4,893	4,893	

Эксперименты по изучению кинетики реакции синтеза смешанных нитридов урана и плутония проводили на 10-граммовых прессованных образцах. Образцы изготавливали из смеси оксидов урана и плутония (соотношение 4:1, размер частиц 60-100 меш) и углерода (примерно 9 масс.%). Образец помещали в молибденовую лодочку (длина – 100 миллиметров, ширина – 20 миллиметров), облицованную вольфрамом. Для нагрева использовали трубчатую муфельную печь из оксида алюминия. Реакцию проводили в диапазоне температур 1430-1625<sup>0</sup>С в потоке азота (1 л/мин) до завершения превращений. Степень превращения оксидов в нитриды определяли, измеряя концентрацию СО в отходящих газах с помощью ИК-анализатора в непрерывном режиме.

Энергия активации реакции синтеза смешанных нитридов равна 54±4 ккал/моль при потоке азота 100±5 см<sup>3</sup>/(мин\*г). На скорость реакции образования нитрида урана заметно влияет величина потока азота. Зависимость константы скорости от потока азота является прямо пропорциональной.

Наиболее подробно механизм и кинетика реакции синтеза смешанных нитридов U и Pu карботермическим методом были исследованы в работе [12]. Целью работы было изучение кинетики реакции и определение экспериментальных условий (температура, свойства исходных материалов), которые наилучшим образом обеспечивают экономичный и воспроизводимый синтез смешанных нитридов, содержащих малые количества кислорода и углерода.

Во введении авторы отмечают, что наличие следов кислорода в азоте, небольшие экспериментальные отклонения в начальном соотношении C/MO<sub>2</sub> и малая скорость реакции, определяемая взаимовлиянием пористой структуры реакционных материалов и диффузии углерода и кислорода, делает проблематичным достижение условий, при которых можно получить чистые нитриды. Эффективность прямого синтеза нитрида урана карботермическим восстановлением оксида в потоке аммиака или смеси азота и водорода, предложенной в работе [9], авторами данной работы оспаривается, потому что удаление углерода гидрогенизацией на начальной стадии процесса карботермического восстановления не является преимуществом метода. Избыток углерода требуется только в конце реакции, чтобы обеспечить удаление оставшихся 2000-3000 ppm кислорода из нитрида.

Авторы работы отмечают, что механизм конверсии оксида в нитрид еще до конца не ясен, особенно из-за того, что реакция протекает с образованием промежуточных соединений, которые трудно обнаружить и идентифицировать. Открытым, например, является вопрос, является ли первая стадия процесса реакцией превращения оксида в оксинитрид, или превращения оксида прямо в карбонитрид. Наиболее вероятным является:

- 1) образование слоя карбонитрида MN<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> на границе раздела углерод-оксид;
- 2) взаимодействие свободного углерода и MN<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> с кислородом и азотом,

соответственно, до достижения квазиравновесного состава;

- 3) взаимодействие  $MN_{1-x}C_x$  (квазиравновесный состав) со свободным углеродом, азотом и остаточным оксидом с образованием нитрида, если начальное соотношение углерод/оксид было равно 2; либо взаимодействие  $MN_{1-x}C_x$  (квазиравновесный состав) с азотом и водородом с образованием нитрида, если начальное соотношение углерод/оксид больше 2.

При изучении карботермической реакции авторы использовали смеси реакторного чистого диоксида урана, спектроскопически чистого графита и диоксида плутония, полученного прокаливанием оксалата плутония. Для получения мольного соотношения углерода к оксиду равного 2,2 добавляли примерно 1% масс избытка углерода по отношению к стехиометрии. Были приготовлены три смеси, которые компактировали в форме цилиндрических таблеток диаметром 7 мм и высотой 4 мм, прикладывая давление 400 МПа. Характеристики порошков и смесей представлены в таблице 2. Использовали два типа порошка углерода с разной морфологией: тип Kropfmuhl в форме пластинок с размером менее 10 мкм и тип Spezial в форме куска. Частицы порошка состава  $UO_{2,078}$ , полученного частичным восстановлением  $UO_{2,34}$ , были меньше и менее пористые, чем частицы предшествующего оксида. Порошок  $PuO_2$  состоял из частиц в форме кубиков с размером менее 20 мкм.

Эксперименты проводили в диапазоне температур 1400-1600<sup>0</sup>С, используя термовесы, которые позволяли определять изменение массы с точностью 0,1 мг. В каждом измерении таблетку (примерно 0,5 г) помещали в молибденовый тигель и выдерживали в потоке азота при постоянной температуре. Регистрировали потерю массы, связанную с удалением, выделяющейся в реакции, окиси углерода. После завершения карботермической реакции азот заменяли смесью азота и 8% (об.) водорода для удаления остаточного углерода из продукта. Зависимость потери веса образца от времени использовали для вычисления скорости реакции. Температуру поддерживали с точностью 5<sup>0</sup>С, а поток газа равнялся 10 см<sup>3</sup>/с. Чистота азота была не менее 99,9%. Продукты реакции анализировали на содержание углерода и кислорода. Некоторые типичные данные химического анализа представлены в таблице 3.

**Таблица 2.** Характеристики исходных порошков и составы смесей  $PuO_2$ ,  $UO_{2,078}$ ,  $UO_{2,34}$  [12]

Порошок	Отношение О/М	Удельная поверхность (м <sup>2</sup> /г)	Размер зерна < мкм			Состав смеси (моль)		
			95%	50%	10%	$PuO_2$	$UO_{2,34}$	$UO_{2,078}$
$PuO_2$	2	18	20	10	1,4	0,204	0,204	0,204
$UO_{2,34}$	2,34	5,3	30	10	2	0,796	0,796	-
$UO_{2,078}$	2,078	2,7	14	8	2	-	-	0,796
Углерод <sup>a</sup>	-	5,1	13	4	1,4	2,347	-	-
Углерод <sup>b</sup>	-	18,2	3,8	1,8	0,6	-	2,4	2,272

a – углерод, тип Spezial; b – углерод, тип Kropfmuhl.

Кинетические данные для каждого эксперимента определяли, используя полученные зависимости изменения массы со временем для каждой температуры. Экспериментальные данные подчиняются уравнению первого порядка  $\ln(1-\alpha) = -kt$  (где  $\alpha$  – степень превращения и  $k$  – константа скорости реакции). Константы скорости для смесей  $UO_{2,34}$  и  $UO_{2,078}$  выше, чем для смеси  $PuO_2$ . Более того, константа скорости карботермического синтеза нитрида в потоке смеси газов азот-8%  $H_2$  меньше, чем константа скорости реакции в чистом азоте. Константы скорости реакции подчиняются закону Аррениуса, величина энергии активации реакции карботермического синтеза равна 307 кДж/моль (73 ккал/моль).

**Таблица 3.** Взаимосвязь между условиями реакции и конечным содержанием кислорода и углерода в уран-плутониевых нитридах, полученных карботермическим методом [12]

Смесь	Условия реакции			Конечное содержание O <sub>2</sub> и C (ppm)	
	T, °C	Время, час	Атмосфера	O <sub>2</sub>	C
PuO <sub>2</sub>	1555	5	N <sub>2</sub> -8% H <sub>2</sub>	10500	1100
PuO <sub>2</sub>	1555	6	N <sub>2</sub> -8% H <sub>2</sub>	10500	940
UO <sub>2,34</sub>	1567	16	N <sub>2</sub> -8% H <sub>2</sub>	4500	240
PuO <sub>2</sub>	1500	9	N <sub>2</sub>	1700	9000
PuO <sub>2</sub>	1545	14	N <sub>2</sub>	420	8300
PuO <sub>2</sub>	1600	1	N <sub>2</sub>	700	8000
PuO <sub>2</sub>	1545	14+	N <sub>2</sub>	410	2700
		2	N <sub>2</sub> -8% H <sub>2</sub>		
UO <sub>2,34</sub>	1560	1+	N <sub>2</sub>	1700	250
		6	N <sub>2</sub> -8% H <sub>2</sub>		
UO <sub>2,34</sub>	1445	5+	N <sub>2</sub>	880	280
	1570	1,5+	N <sub>2</sub>		
	1580	1	N <sub>2</sub> -8% H <sub>2</sub>		
UO <sub>2,078</sub>	1385	17+	N <sub>2</sub>	700	770
		2,5+	N <sub>2</sub>		
		5,5	N <sub>2</sub> -8% H <sub>2</sub>		
UO <sub>2,078</sub>	1600	1+	N <sub>2</sub>	500	530
		1	N <sub>2</sub> -8% H <sub>2</sub>		

### ВЫВОДЫ

Согласно представленному аналитическому обзору литературных данных, можно сделать следующие выводы применительно к процессу получения нитридов урана методом карботермического синтеза:

- 1) Карботермическая реакция синтеза нитридов урана и плутония является реакцией первого порядка (при постоянном потоке азота) и контролируется диффузией реагентов в твердой фазе.
- 2) Скорость реакции карботермического синтеза нитридов в потоке азота является функцией потока азота и температуры; константа скорости в диапазоне температур 1430-1625<sup>0</sup>C выражается уравнением:

$$\ln k = (-86000/RT) + 18,1 + 0,021F,$$

где R – универсальная газовая постоянная,

F – скорость потока азота в см<sup>3</sup>/(мин г).

- 3) Основным фактором влияния протока азота на кинетику реакции является удаление оксида углерода CO.
- 4) Кинетика реакций карботермического синтеза нитридов урана, плутония и смешанных нитридов практически одинакова и аналогична кинетике реакций карботермического синтеза карбидов этих элементов.

Полученные кинетические данные применимы для синтеза в реакторах неподвижного слоя, а также для других процессов, в которых обеспечивается тесный контакт твердых реагентов и удаление из системы газообразных продуктов реакции.

Получение моонитридов урана и плутония с низким содержанием кислорода и углерода (менее 1000 ppm) возможно при соблюдении следующих параметров синтеза:

- 1) температура проведения процесса выше 1400<sup>0</sup>С;
- 2) использование сверхстехиометрического количества углерода с высокой удельной поверхностью и малым размером частиц;
- 3) использование высокочистых реакционных газов;
- 4) удаление избыточного углерода из конечного продукта гидрогенизацией в потоке азот+водород.

Кинетика реакции карботермического синтеза нитридов урана и плутония описывается уравнением первого порядка  $\ln(1-\alpha) = -kt$  при эффективном удалении СО (давление СО менее 10<sup>-4</sup> атм) потоком азота. Энергия активации процесса равна 307 кДж/моль.

Одностадийный карботермический синтез в потоке N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> (8%) возможен при использовании большего количества углерода и поддержания условий синтеза, при которых завершение карботермического восстановления оксидов происходит прежде, чем удаляется избыточный углерод из системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котельников, Р.Б. и др. Высокотемпературное ядерное топливо [Текст] / Р.Б. Котельников и др. – М. : Атомиздат, 1978. – 432 с.
2. Imoto, S. and Stoecker, H.J. Thermodynamics, vol. II, IAEA. – Vienna, 1966. – P. 533 – 546.
3. Rogozkin, B.D. Моонитридное топливо для быстрых реакторов [Текст] / Б.Д. Rogozkin // Атомная энергия. – 2003. – Т. 95. – Вып. 3. – С. 208–221.
4. Rogozkin, B.D. и др. Послереакторные исследования моонитридного и оксидного плутониевого топлива с инертной матрицей выгоранием 19% тяж. ат. в БОР-60 [Текст] / Б.Д. Rogozkin и др. // Атомная энергия. – 2010. – Т. 109. – Вып. 6. – С. 303–307.
5. Brian, J.J. The synthesis and sintering of nitrides of uranium and dysprosium. The thesis for the degree of Master of Science, Boise State University, 2008.
6. Pautasso, G., Richter K. and Sari C. Investigation of the reaction UO<sub>2</sub>+x+PuO<sub>2</sub>+C+N<sub>2</sub> by thermogravimetry // Journal of Nuclear Materials. – 1988. – Vol. 158. – P. 12–18.
7. Muromura, T. and Tagawa H. Synthesis of high purity uranium mononitride from oxide through carbide // Journal of Nuclear Science and Technology. – 1980. – Vol. 17. – P. 57–66.

## Recommendations to the Development of Technological Process of Receiving Nitride Elements of Actinide Group by the Method of Carbonthermal Synthesis

R.M. Vlasevskiy\*, Y.S. Zyev\*\*

Snezhinsk Physisc-Technical Institute the Branch of National Nuclear Research University MEPHI  
8 Komsomolsk st., Snezhinsk city, Cheliabinsk reg. 456776  
\*e-mail: roman.vlasevskiy@gmail.com ; \*\*e-mail: YSZuyev@mephi.ru

**Abstract** – This article presents the results of the current state analysis of uranium, plutonium nitrides synthesis and mixed nitrides by carbonthermal synthesis research and it also points out the major issues and possible methods of its solution. According to the analysis the authors've proposed the theoretical basis for the design and optimization of manufacturing technology nitride powders of uranium and plutonium needed to build for energy fuel assembly nitride fuel fast reactor BN-600.

**Keywords:** uranium nitride, plutonium nitride, carbonthermal synthesis, carbonitride, oxynitride, the synthesis kinetics, the rate constant, the activation energy.

УДК 621.039.54:621.311.25

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКОЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА ЭНЕРГОБЛОКЕ №1 РОСТОВСКОЙ АЭС

© 2013 г. И.А. Якубенко

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

Поступила в редакцию 10.10.2013 г.

Статья посвящена модернизации системы перегрузочной машины МПС-1000 на энергоблоке №1 Ростовской АЭС в соответствии с требованиями новых нормативных документов. Описывается суть модернизации и обосновываются принятые решения.

*Ключевые слова:* перегрузочная машина, система управления перегрузочной машины, Siemens.

Ядерное топливо в реакторном отделении перегружают при помощи перегрузочной машины МПС-1000М (ПМ). ПМ представляет собой напольный робот-манипулятор, управляемый дистанционно с пульта управления, вынесенного за герметичную оболочку реакторного помещения.

В 2001 г. Концерн «Росэнергоатом» утвердил «Концепцию модернизации перегрузочных машин для энергоблоков АЭС с ВВЭР»[1]. Причины, обусловившие необходимость проведения работ по модернизации перегрузочной машины, следующие:

– несоответствие перегрузочной машины, в первую очередь, системы управления, требованиям современных норм и правил по безопасности, действующих в области атомной энергетики;

– необходимость сокращения времени компании перегрузки ядерного топлива за счет увеличения скоростей извлечения и установки ТВС, а также включения в состав перегрузочной машины системы контроля герметичности ТВС в рабочей штанге перегрузочной машины (КГО МП);

– моральное и физическое старение элементов системы управления;

– отсутствие автоматических режимов управления;

– несоответствие электротехнических изделий условиям эксплуатации.

В настоящей статье приводятся результаты модернизации электротехнической части ПМ.

Цели модернизации:

1) Обеспечить синхронность работы приводов секций рабочей штанги, фиксаторов, захвата кластера.

2) Устранить динамические проблемы в электрической части ПМ.

3) Внедрить электродвигатели переменного тока с частотным регулированием, что обеспечит повышение точности позиционирования и улучшит динамические параметры разгона и торможения для ограничения нагрузки на электрическую и механическую часть ПМ.

4) Оптимизировать массогабаритные показатели всего комплекта электрооборудования до 100-150 кг (и габариты шкафов) с целью расположения всего электрооборудования на мосту.

5) Установить бесконтактные датчики.

В процессе перегрузки ядерного топлива (ЯТ) на реакторных установках ВВЭР выполняются операции по изменению конфигурации активной зоны в условиях отсутствия двух барьеров безопасности. Поэтому перегрузка ЯТ является одним из ответственных этапов эксплуатации АЭС в части повышенных требований к соблюдению правил ядерной безопасности.

Соблюдение принципов безопасности при перегрузке ЯТ на действующих АЭС требует максимальной технологической независимости машины перегрузочной, обеспечиваемой ее работой в режиме робототехнического комплекса, т.е. при минимальном участии человека в процессе управления. Такой режим возможен при оснащении машины перегрузочной системой управления, действующей на уровне управляющего вычислительного комплекса (УВК).

Конструктивно СУМП представляет собой комплектные устройства низковольтной аппаратуры (шкафы управления) и пульта (рис. 1), с которых оператор осуществляет дистанционное управление процессом перегрузки. Шкафы и пульты управления расположены в т.н. "чистой зоне" с нормальными климатическими условиями.



Рис. 1. Общий вид УВК

Выполнение системы управления машины перегрузочной (СУМП) на уровне УВК требует реконструкции и модернизации трех обособленных подсистем – непосредственно механической, электрической частей и программно-технического комплекса с целью приведения их к соответствию современным нормам и правилам по безопасности в атомной энергетике.

УВК предназначен для управления машиной перегрузочной в процессе выполнения транспортно-технологических операций при перегрузке ЯТ реакторной установки, а также диагностики, контроля и измерения рабочих параметров оборудования, используемого в технологическом процессе перегрузки.

УВК имеет распределенную двухканальную структуру, обеспечивающую выполнение требований отказоустойчивости при независимости информационных и управляющих функций.

УВК может функционировать в одном из режимов:

- «автоматический» режим, обеспечивающий выполнение циклов перегрузки или отдельных операций, установленных технологическими алгоритмами;
- «ручной» режим, обеспечивающий выполнение действий, установленных

оператором (обеспечивается возможность работы только одного механизма ПМ);

– «тренажерный» режим, обеспечивающий обучение операторов ПМ, осуществляет имитационное моделирование на персональной ЭВМ в реальном масштабе времени процесса перегрузки без непосредственного управления механизмами ПМ.

Согласно рисунку 2 для управляющих команд в СУМП реализован принцип «2 из 2» (функция «И»), а для команд защиты и отключения – принцип «1 из 2» (функция «ИЛИ»). Каналы СУМП идентичны и состоят из интерфейсов датчиков, микроконтроллерной системы, двух промышленных ПЭВМ (в составе рабочих станций). Оба канала работают одновременно, выполняя одни и те же функции в одном из выбранных режимов: автоматическом, ручном или тренажерном.

Уменьшение времени на техническое обслуживание, оптимизация скорости перемещения составных частей ПМ по минимизации времени и, как следствие, уменьшение времени на кампанию перегрузки, зависит от типа применяемого электрооборудования.

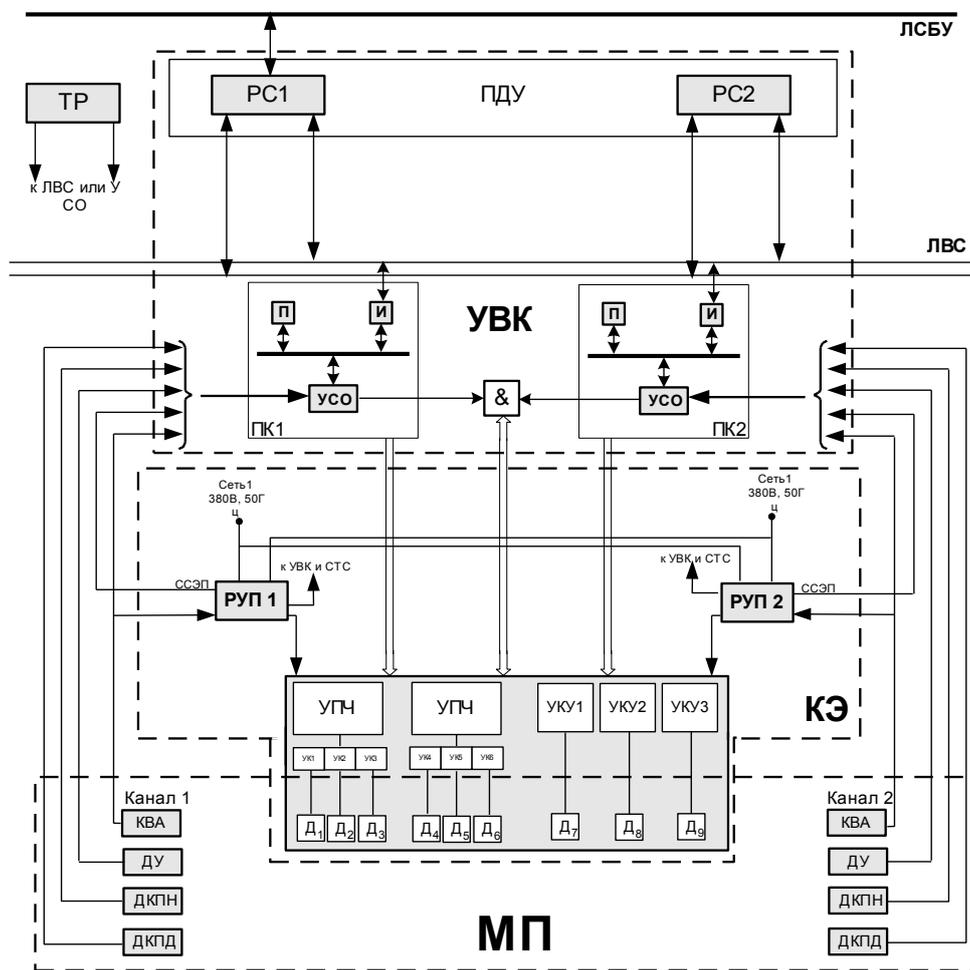


Рис. 2. Структурная схема СУМП

РС–рабочая станция; ПДУ–пульт дистанционного управления; ПК–программируемый контроллер (П–процессор; И–интерфейс; УСО–устройство связи с объектом); ЛСБУ–локальная сеть блока; ЛВС–локальная вычислительная сеть; РУП–распределительное устройство питания; УПЧ–управляемый преобразователь частоты; УК (УКУ)–устройство коммутации (и управления); Д–двигатели; ДТ–специальная телесистема; ССЭП–сигналы состояния электропитания; ТР–тренажер; КВА–конечные выключатели аварийные; ДУ–датчики усилия; ДКПН–датчики контроля положения непрерывные; ДКПД–датчики контроля положения дискретные.

До модернизации на ПМ были установлены регулируемые электроприводы постоянного тока таблица 1. На ПМ ВВЭР-1000 электроприводы выполнены по схеме "тиристорный преобразователь—электродвигатель постоянного тока". [2]

Опыт эксплуатации ПМ с электроприводами постоянного тока выявил многие недостатки, основными из которых являются низкая надежность работы, вызванная наличием скользящего контакта, и необходимость частого профилактического обслуживания и ремонта машин постоянного тока, затрудненного в условиях реакторного зала (РЗ).[3]

**Таблица 1.** Электроприводы постоянного тока перегрузочной машины энергоблока №1 с ВВЭР-1000

№ п.п	Привод перемещения	Кол-во	Тип	Мощность
1	Мост	2	ПБСТ-52-Т	2,2кВт
2	Тележка	1	<b>ПБСТ-33-У4Т</b>	1,0 кВт
3	Штанга рабочая	2	ПБСТ-62-Т ПБСТ- 62-Т	7,2кВт 6,5кВт
4	Захват кластера	1	ПБСТ-32-Т	0,72кВт
5	Разворот РШ	1	<b>ВАО-12-6У2</b>	0,6кВт
6	Поворот обоймы ТШ	1	<b>ВАО-12-6У2</b>	0,6кВт
7	Механизма подъема ТШ	1	<b>ВАО-12-6У2</b>	0,6кВт

После модернизации электродвигатели постоянного тока были заменены электродвигателями переменного тока с частотным регулированием фирмы «SIEMENS».

Электропривод включает в себя электрический двигатель, преобразователь частоты и систему управления. Частотный преобразователь защищает электродвигатель от перегрузок и позволяет экономить потребляемую электроэнергию. Он используется для снижения тепловых потерь, регулировки производительности и частоты оборотов двигателя.

Частотный преобразователь фирмы «SIEMENS» обычно имеет программируемый контроллер, управляющий частотой тока на выходе для достижения оптимальной работы двигателя. Схемы обратной связи способствуют передаче на частотный преобразователь сигналов о состоянии объекта, на который воздействует двигатель, и эти сигналы влияют на частоту и амплитуду тока. Это актуально для двигателей, нагрузка на которые неравномерна.

Данные электродвигатели предназначены для работы под герметичной оболочкой АЭС, обладают устойчивостью ко всем оговоренным механическим, климатическим и радиационным воздействиям, не требуют замены за все время работы реактора под герметичной оболочкой, где влажность достигает 100 %, температура более 40°C, а также возможно возникновение парогазовой смеси при температуре до 60°C и давлении 125 кПа.

Также новое электрооборудование позволит оптимизировать массогабаритные показатели всего комплекта до 100-150 кг (в габариты одного шкафа) с целью расположения всего оборудования на мосту. Это решение позволяет снять все гибкие кабели между ПМ и пультовой, сохраняя лишь два силовых кабеля для питания шкафов с взаиморезервированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модернизация перегрузочных манипуляторов для энергоблоков АЭС с ВВЭР. Концепция модернизации перегрузочных манипуляторов. РЭ АТЭ.118.0003-2001 [Текст]. – М., 2001. – 57с.
2. *Гизатуллин, Ш.К. и др.* Системы управления перегрузкой топлива реактора ВВЭР-1000 [Текст] / Ш.К. Гизатуллин, Г.П. Жилкин, Ю.Т. Портной // Труды ВНИИЭМ. – М., 1990. – Т.94.
3. *Гизатуллин, Ш.К.* Оптимизация планирования траектории перегрузочной машины [Текст] / Ш.К. Гизатуллин // Труды ВНИИЭМ. – М., 1990. – Т. 94.

**Control System Modernization for Overloading Nuclear Fuel at Unit #1  
Rostov Nuclear Power Plant**

**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: IAYakubenko@mephi.ru*

**Abstract** – The purpose of article is system modernization of the refueling machine MPS-1000 at Rostov Nuclear Power Plant power unit # 1 according to the new normative documents requirements. The reasons of carrying out the refueling machine modernization, decision-making justification on its modernization are described in the article.

*Keywords:* refueling machine, control system, Siemens.

УДК 621.039

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТУРБИННОГО МАСЛА АГРЕГАТАХ АЭС

© 2013 г. К.С. Сидоров, В.В. Шапошников

*Снежинский физико-технический институт – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

Поступила в редакцию 25.11.2013 г.

В работе рассмотрена проблема увеличения содержания воды в турбинных маслах на агрегатах АЭС. Предложен метод экспресс-диагностики масел, в основе которого дифференциальный датчик типа «ЭЛИМ-1». Описан принцип работы датчика. Показана математическая модель выражения диэлектрической проницаемости гетерогенной системы вода-масло. Построены структурная и функциональная схемы аппаратно-программного комплекса оперативного определения влагосодержания турбинного масла.

*Ключевые слова:* агрегаты АЭС, турбины, турбинные масла, повышенное влагосодержание масел, диэлектрическая проницаемость, экспресс-диагностика масел, дифференциальный датчик, аппаратно-программный комплекс.

Диагностика элементов конструкций и агрегатов АЭС на предмет влагосодержания в турбинном масле является одним из важнейших и трудоемких направлений диагностики. Известно, что турбинные масла предназначены для смазывания и охлаждения подшипников различных турбоагрегатов, в циркуляционных и гидравлических системах различных промышленных механизмов.

В настоящее время для указанных целей используется несколько методов, самый точный разработан в 1935 году Карлом Фишером, классический метод титрования [1]. На рынке имеются автоматические измерители влагосодержания с использованием титратора Фишера, но, как и в прошлом, необходимы пробы рабочих масел турбогенераторов, их перевозка в отдельную лабораторию и проведение исследований. Стоит заметить, что, как и для классического метода титрования, так и для автоматических титраторов требуются дорогостоящие реактивы, метод применяется только в случае подозрений на обводнение масла.

В основном для ежесуточного определения влагосодержания масла используется визуальный метод, в некоторых случаях проводят капельные пробы (рисунок 1).

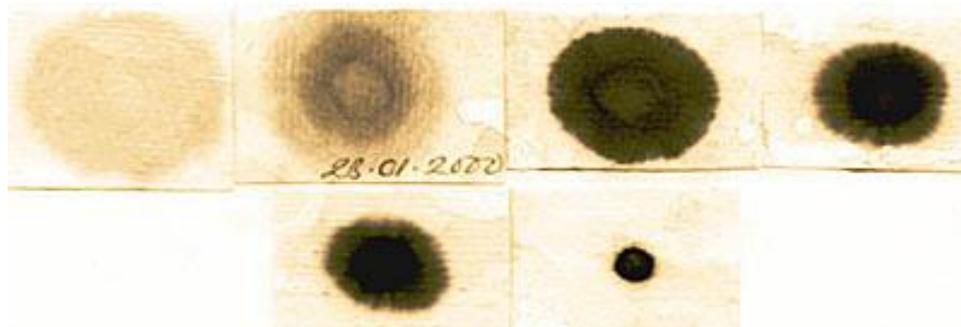


Рис. 1. Капельные пробы масел

Согласно требованиям к эксплуатации, организации и проведению испытаний трансформаторных и турбинных масел на атомных станциях Российской Федерации [2], одной из основных норм является отсутствие воды в масле. Это значит, что при эксплуатации турбинные масла не должны образовывать стойкой эмульсии с водой, которая может проникать в смазочную систему. Однако в процессе эксплуатации под воздействием вибрационных механических нагрузок и времени происходит ухудшение технического состояния масла, увеличивается влагосодержание, которое со временем превышает допустимые нормы. Поэтому большое значение приобретает раннее определение возможных неисправностей оборудования.

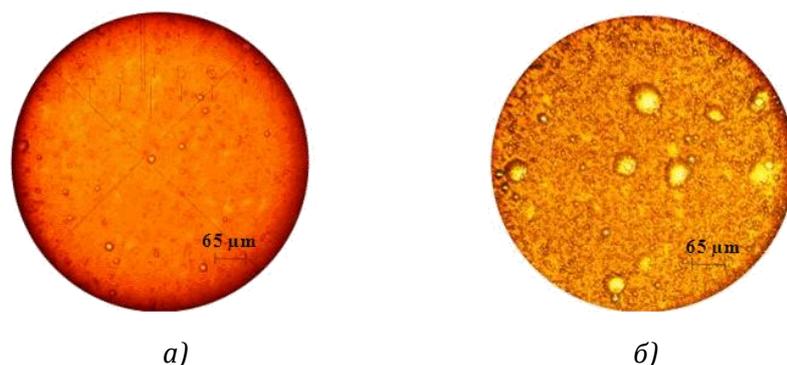
Предлагаемый метод определения влагосодержания позволит проводить экспресс-диагностику масла на месте, без предварительного взятия проб и проведения химического анализа в специальной лаборатории. Благодаря дифференциальному датчику диагностика влагосодержания может проводиться несколько раз в минуту. Такой мониторинг позволит вовремя выявлять превышение содержания воды в масле.

Создание аппаратно-программного комплекса (АПК) и его применение позволит решать задачи повышения безаварийности и эффективности энергетических установок. В условиях рыночной экономики это является сопутствующим фактором снижения затрат на производство электроэнергии. По статистическим данным [3] количество всех вынужденных простоев турбоагрегатов на электростанциях России, происходящих вследствие выхода из строя подшипников, узлов и агрегатов гидравлических систем основного и вспомогательного оборудования, работающих на турбинном масле, доходит до 30-40%.

Турбинные масла являются жидким диэлектриком, диэлектрическая проницаемость масла  $\epsilon \approx 2,2$ .

Влияние температуры на результат измерения отсутствует, так как в АПК используется дифференциальный датчик.

Соответственно, исследуемое турбинное масло будет обладать большей диэлектрической проницаемостью, чем больше значение электрического момента диполей и чем больше число молекул воды в единице объема.



**Рис.2.** Микрофотографии проб масел:  
а) масло в состоянии поставки,  
б) обводненное масло.

Таким образом, при измерении диэлектрической проницаемости масел с частичным обводнением значение  $\epsilon$  будет больше в сравнении с табличным значением диэлектрической проницаемости турбинных масел, так как для воды  $\epsilon \approx 81$ .

Обводненное масло не может рассматриваться как идеальный диэлектрик. Поэтому в емкостном датчике (конденсаторе), заполненном маслом, имеют место активные потери энергии, и угол сдвига фаз между током и напряжением оказывается

меньше 90°.

В соответствии с теорией электрических цепей измеряется не истинная, а кажущаяся емкость, зависящая от потерь [3].

Этот вывод оправдывает использование дифференциального датчика для измерения влагосодержания турбинного масла.

Датчик типа «ЭЛИМ-1», был разработан группой специалистов, патент №2471178.

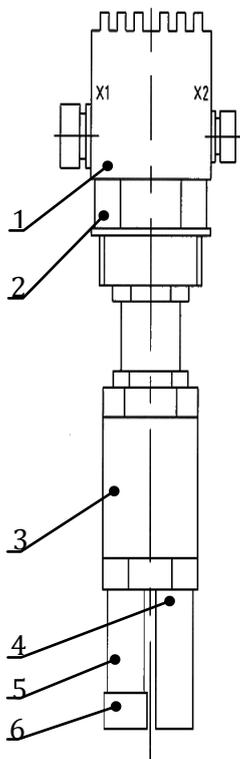


Рис. 3. Датчик «ЭЛИМ-1»

- 1 – блок питания;
- 2 – корпус;
- 3 – электронный блок;
- 4 – измерительный электрод;
- 5 – «эталонный» электрод;
- 6 – гайка.

Датчик представляет собой моноблочную конструкцию (рисунок 4), состоящую из блока питания 1, электронного блока 3 и двух идентичных коаксиальных электродных узлов (измерительный узел 4 и "эталонный" узел 5), помещаемых в контролируемую среду. "Эталонные" электроды размещены в герметичном объеме, заполненном "сухим" (в состоянии поставки) турбинным маслом. Измерительные электроды контактируют с контролируемой средой.

На блоке питания 1 размещены питающий соединитель "X1" и измерительный соединитель "X2" для подключения питающей и контрольной линий связи.

Принцип действия датчика основан на использовании электроимпульсного метода.

В электронном блоке 3 вырабатывается последовательность зондирующих импульсов специальной формы, подаваемая на электродные узлы (емкостные датчики). После прохождения импульсами электродных узлов и дифференциального каскада, схема выделяет сигналы рассогласования (информационные сигналы), амплитуда которых пропорциональна значению влагосодержания в контролируемом масле.

Информационные сигналы при пороге срабатывания достигают определенной амплитуды  $U_{пор}$  и в выходных цепях электронного блока трансформируются в выходной сигнал. Порог срабатывания датчика можно настраивать, по умолчанию порог установлен 50 г/т [5].

Для создания математической модели измерения обычно используются аналитические и экспериментальные методы. В связи с тем, что в данном измерении использован косвенный метод, очевидным является построение модели вида:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^{i=n} (a_i \cdot x_i) \cdot \sum_{i=1}^{i=n-1} \sum_{k=i+1}^{k=n} (a_{ik} \cdot x_i \cdot x_k) + \sum_{i=1}^{i=n} (a_i \cdot x_i^2)$$

где  $Y$  – выходной параметр анализатора;

$x_i, x_k$  – параметры, характеризующие технологический процесс;

$a_0, a_i, a_{ik}, a_{il}$  – постоянные коэффициенты, подлежащие определению.

Аналитическую модель необходимо иметь, так как она дает возможность ориентировочно оценить чувствительность метода к измеряемому свойству и, следовательно, сформулировать требования по минимизации зависимостей от влияющих факторов [3].

Работа над аппаратно-программным комплексом на основе пороговых датчиков экспресс-контроля типа «ЭЛИМ-1» разделена по следующим направлениям:

- разработка структурной и функциональной схем;
- разработка принципиальной схемы;
- разработка и выпуск программного обеспечения, схемной и конструкторской документации на опытный образец;
- изготовление, настройка датчиков;
- лабораторные испытания опытного образца;
- сертификация.

Структурная схема узлов АПК представлена на рисунке 4. К маслованнам всех агрегатов АЭС подключены датчики типа «ЭЛИМ-1», выходной сигнал которых поступает на коммутирующее устройство (КУ). Так как максимальное расстояние от датчика до исполнительного устройства без искажения сигнала достигает 45 метров [5], а использование одного КУ может усложнить подключение всех датчиков, то используется связка каждого датчика с КУ.

В КУ сигнал преобразуется в цифровой вид и транслируется по кабелю связи до многоканальной системы сбора данных, которая может находиться на расстоянии до 100 метров от КУ.

Многоканальная система сбора данных (ССД) соединяется с ЭВМ по интерфейсу USB. Используя связующее программное обеспечение, данные со всех каналов приема ССД фиксируются и заносятся в электронный журнал, записи из которого извлекаются для создания различных графиков. На АЭС может быть установлено до 10 турбогенераторов, поэтому комплекс рассчитан на 10 каналов.

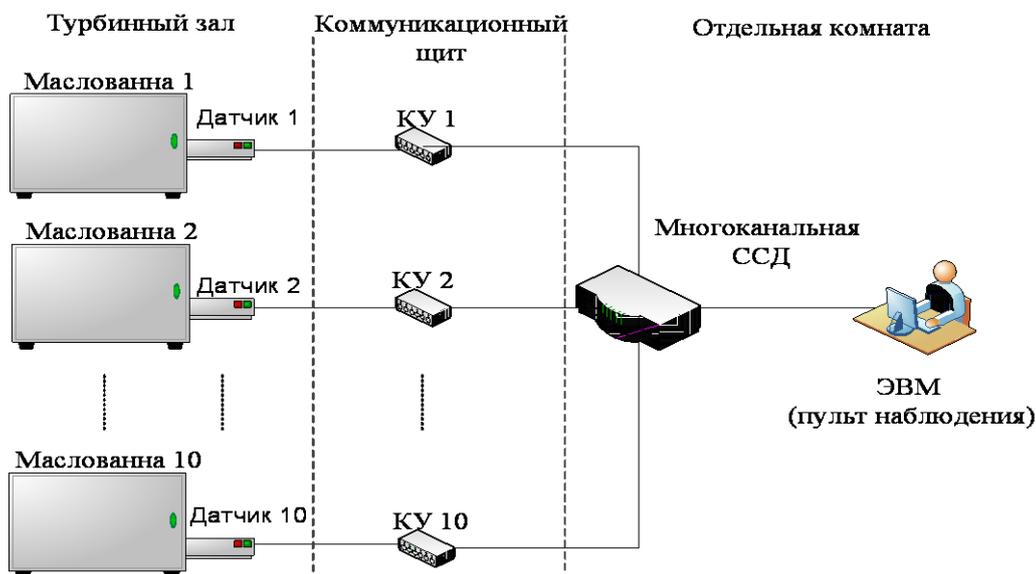


Рис. 4. Структурная схема узлов АПК

Для того чтобы наглядно отразить процессы, протекающие в АПК, была построена функциональная схема, которая показана на рисунке 5.

Приведем краткое описание схемы. От датчика сигнал поступает на коммутирующее устройство (КУ), в КУ сигнал проходит через схему защиты (СЗ),

усилитель, последовательно соединенных фильтров верхних частот (ФВЧ) и нижних частот (ФНЧ), оба фильтра пропускают сигнал в заданной полосе. Устройство выборки и хранения (УВХ) обеспечивает фиксацию напряжения, для правильной работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Далее цифровой сигнал поступает на один из входов многоканальной системы сбора данных (ССД) с параллельным сбором данных. ССД состоит из микроконтроллера (МК), блока сопряжения с ЭВМ (USB), буферного усилителя (БУ), стабилизатора напряжения (СН), а также из источника опорного напряжения (ИОН), переключателя каналов. Также в схему входят ключ (К), кварцевый резонатор (КР) и индикатор работы системы (ИРС).

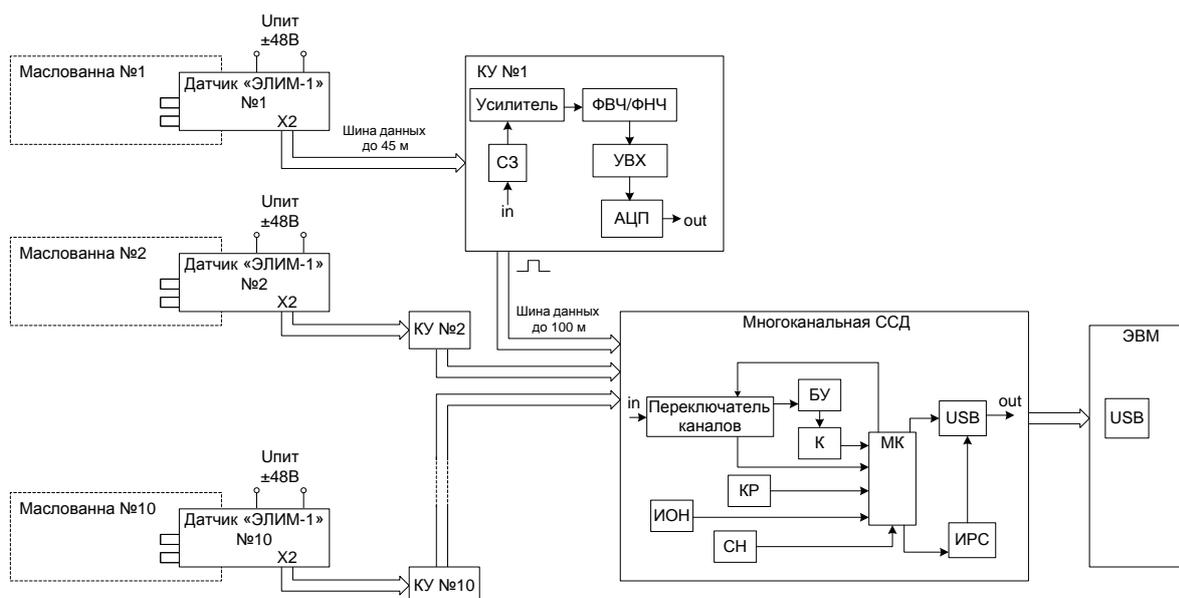


Рис. 5. Функциональная схема узлов АПК

По мнению специалистов, занимающихся проблемами эксплуатации турбинных масел [3], существующая система контроля не позволяет реально оценить качество масла, так как основывается на ежесуточном визуальном контроле и только в случае визуальной видимости шлама или воды делается химический анализ. По мере старения масло темнеет, визуальный осмотр становится затруднителен и принятие мер по очистке масла и предотвращению его обводнения запаздывает.

Таким образом, чтобы вовремя определять обводнение масла контроль должен быть постоянным. Это возможно только с помощью автоматической системы непрерывного контроля влагосодержания масла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 7822-75 Масла нефтяные. Метод определения растворенной воды [Текст].
2. РД ЭО 1.1.2.05.0444-2009 Требования к эксплуатации, организации и проведению испытаний трансформаторных и турбинных масел на атомных станциях [Текст].
3. Гвоздев, В.С. Обводнение турбинного масла и средства контроля и защиты его от влаги на турбогенераторах ТЭС : дис. канд. техн. наук [Текст] / В.С. Гвоздев – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2003. – 156 с.
4. Берлинер, М.А. Измерения влажности [Текст] / М.А. Берлинер. – М. : «Энергия», 1973. – 399 с.
5. СЛПВ421552.001РЭ. Руководство по эксплуатации датчика «ЭЛИМ-1» [Текст]. – ООО «СНИЛЭП», 2006. – 20 с.

## **Hardware-Software System for Moisture Content Operational Determination in Aggregates NPS Turbine Oil**

**K.S. Sidorov, V.V. Shaposhnikov**

*Snezhinsk Physisc-Technical Institute the Branch of National Nuclear Research University MEPHI  
8 Komsomolsk st., Snezhinsk city, Cheliabinsk reg. 456776  
e-mail: sfti@mephi.ru*

**Abstract** – This work considers the problem of increasing moisture content in turbine oils on NPPs' aggregates. The authors've proposed a rapid diagnosis method of oils, which is based on the differential type sensor as "ELIM-1." The issue also describes the principle of sensor operation, derives a dielectric constant mathematical model of the heterogeneous system in "water-oil". Moreover there is the design of a functional circuit complex operational definition of moisture oil turbine.

*Keywords:* nuclear power plants units, turbines, turbine oil, high moisture content oil, dielectric constant, rapid oils diagnosis, differential sensor, hardware and software system.

УДК 621.311.25:621.039

## ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ПАСПОРТИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

© 2013 г. Ю.Е. Ульянова, О.Ю. Пугачева, В.И. Сиротина

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

Поступила в редакцию 29.11.2013 г.

В статье рассматривается разработанный НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ диагностический паспорт, представляющий собой программную оболочку, что позволяет просматривать необходимые данные для определенного оборудования АЭС: технологическую, графическую информацию, расчетные значения и отчетные документы по конкретной арматуре.

*Ключевые слова:* диагностика, электроприводная арматура, оборудование, диагностический паспорт, база данных, анализ.

Новое оборудование, прошедшее приемо-сдаточные испытания и соответствующее техническим условиям, считается годным к эксплуатации. Оборудование, после определённого периода эксплуатации достигшее предельного состояния или состояния отказа, является непригодным к эксплуатации. Механизм жизненного цикла оборудования известен: приработка, оптимальный участок работы, начало и развитие деструктивных процессов, а затем отказ. Все это сопровождается изменениями (механический износ, эрозия, коррозия, усталость металла, деформация деталей, и т.д.), т.е. происходит изменение технического состояния [1].

Целью диагностики является определение состояния оборудования (арматуры) и его обслуживание не по времени в соответствии с регламентом, а по фактическому состоянию. Задача актуальна для оборудования (на блок более 5 тыс. единиц), установленного в опасных или труднодоступных местах, а также для оборудования, обслуживание и ремонт которого влечет остановку технологического объекта.

НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ располагает постоянно пополняемой комплексной базой данных (БД) по тепломеханическому оборудованию, эксплуатируемому на АЭС. База, составленная и откорректированная на основании результатов выполненных договоров с АЭС России и Ближнего Зарубежья, позволяет применять имеющиеся в ней данные для контроля и оценки фактического технического состояния оборудования. БД содержит необходимые сведения для их систематизации в станционную ОБДЭ (обобщённую базу данных электронную), а именно: сборочные и детализированные чертежи, паспорта единиц оборудования, эксплуатационную и ремонтную документацию, результаты диагностирования оборудования за пятилетний период. Накопленная НИИ АЭМ база данных оборудования АЭС позволяет применять полученные сведения для оценки его фактического технического состояния по результатам диагностирования. Особое значение имеет использование БД для отслеживания тенденций изменения технического состояния и принятия решений о возможности продления межремонтного периода оборудования при переходе к

стратегии технического обслуживания и ремонта (ТоиР) по фактическому техническому состоянию [2].

Таким образом, был разработан и в настоящее время внедряется на Нововоронежской АЭС, проект, который позволяет просмотреть необходимые данные для определенного оборудования через программную оболочку, называемую диагностическим паспортом (ДП). Предлагается создать персональный ДП оборудования, который будет являться уникальным для каждого изделия и должен поставляться вместе с оборудованием энергоблока потребителю: Ростовской АЭС, Калининской АЭС, Нововоронежской АЭС, Курской АЭС.

Под ДП понимается некий носитель информации, в котором собраны все первоначальные характеристики изделия, полученные в процессе создания нового оборудования или проведении специальных ресурсных испытаний оборудования, поставляемого на АЭС, действующих конструкций. Именно с этими данными будет происходить сравнение аналогичных характеристик в процессе эксплуатации оборудования. С помощью этих данных будет вестись наблюдение за состоянием оборудования. Такой ДП должен содержать различные характеристики состояния оборудования (например, для арматуры) – электрические (мощность, ток, вибрации, ультразвук) и механические характеристики состояния арматуры [3].

Целями и задачами разработки ДП является:

- обеспечение требуемого уровня безопасности эксплуатации энергоблоков атомных станций;
- повышение технического уровня эксплуатации, технико-экономических показателей и надежности работы атомных станций;
- оптимизация сроков ремонта и сокращение затрат при проведении ремонтных кампаний энергоблоков АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом»;
- упорядочение системы сбора, анализа, классификации и кодирования, ввода в БД, хранения результатов диагностирования электроприводного оборудования и информации о технологических системах, оборудовании, изделиях;
- информационное обеспечение процессов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта систем и оборудования.

Разработка ДП включает в себя несколько этапов (рисунок 1):

- 1) Сбор и анализ исходных данных:
  - база данных регистра оборудования с его характеристиками (параметрами);
  - база данных результатов диагностирования электроприводного оборудования при проведении ремонтных кампаний.
- 2) Анализ и изучение конструктивных особенностей оборудования АЭС, установление характерных неисправностей, причин и последствий отказов, основных повреждающих факторов, критериев предельных состояний для электроприводной арматуры, электродвигателей, насосов, вентагрегатов, сосудов, трубопроводов, трубопроводной арматуры, генераторов и др.
- 3) Анализ условий эксплуатации оборудования в составе технологических систем АЭС.
- 4) Анализ графиков регламентированного ТоиР тепломеханического оборудования АЭС.
- 5) Определение структуры типовой БД с учетом требований единых типовых форм.
- 6) Формирование электронной БД по технологическим системам, технологическим позициям, типовым и конкретным изделиям с указанием наименований и значений параметров перечисленных объектов.
- 7) Формирование электронной БД результатов диагностирования при проведении

ремонтных кампаний.

8) Создание интерактивного ДП оборудования.

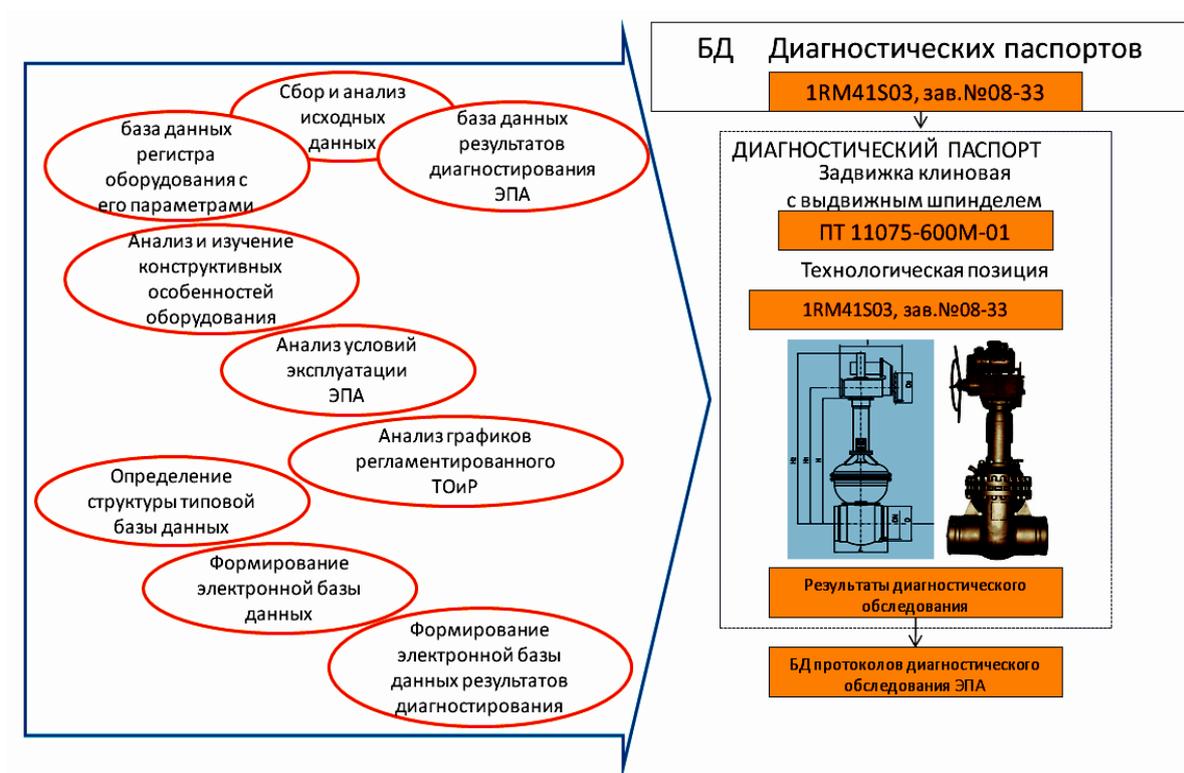


Рис. 1. Этапы создания диагностического паспорта

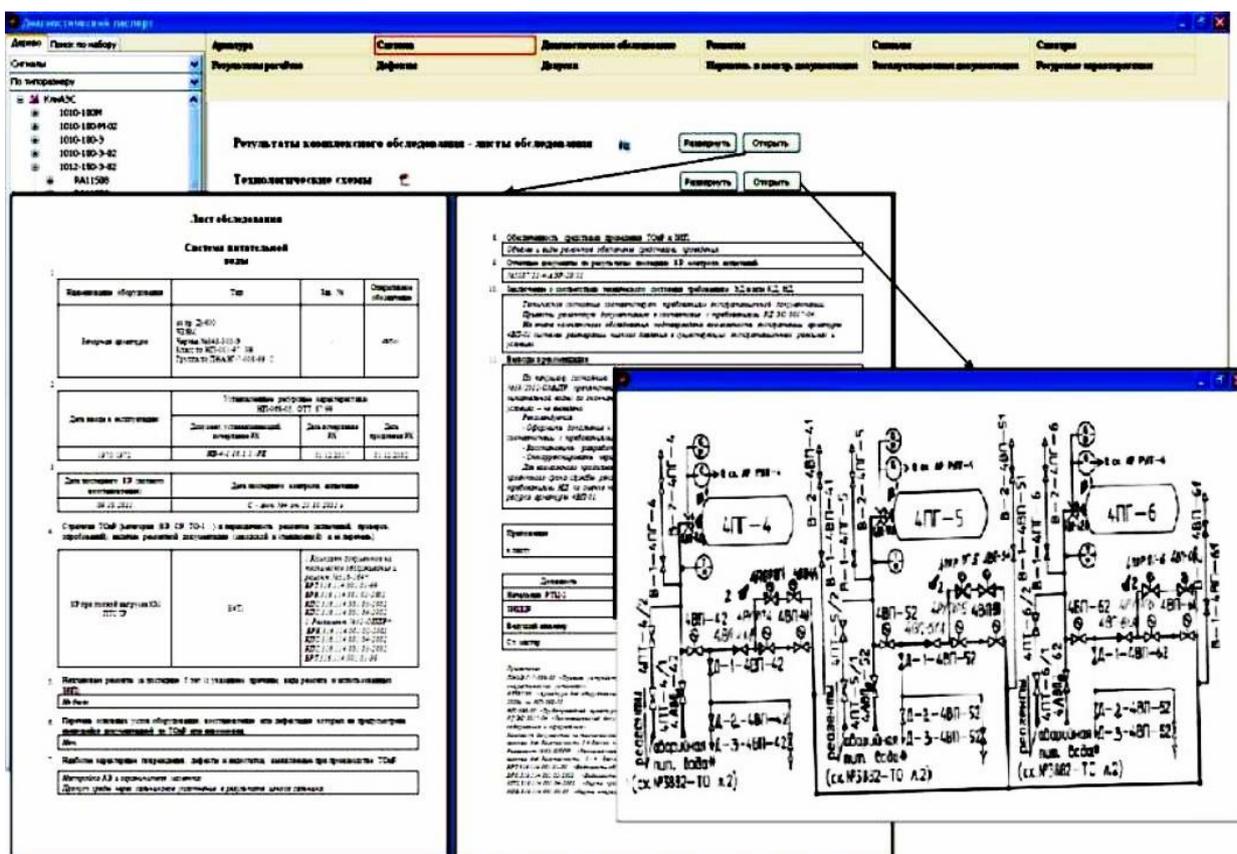
Проведённые работы подтверждают возможность создания персонального ДП на примере арматуры. Как ранее говорилось, паспорт будет уникальным для каждого изделия, его «эталоном», его «отпечатком», и в будущем в процессе диагностики и мониторинга на объекте именно с этими паспортными данными и будут производиться сравнения.

Результат сбора и анализа данных предусматривает выполнение следующих функций [5]:

- представление технологической информации и сигналов в структурированном виде: по техпозиции, по типоразмеру, по дате проведения обследования (рисунок 2,а);
- просмотр всей имеющейся в БД технологической информации и по данной техпозиции, включая чертежи общего вида арматуры и электропривода (рисунок 2,б);
- просмотр результатов расчетов основных технологических параметров электроприводной арматуры (ЭПА), доверительных интервалов на основные параметры, а также экспертное заключение о работоспособности ЭПА и отклонениях в работе (рисунок 3, а);
- просмотр документов диагностических обследований – актов-заключения и протоколов (рисунок 3, б);

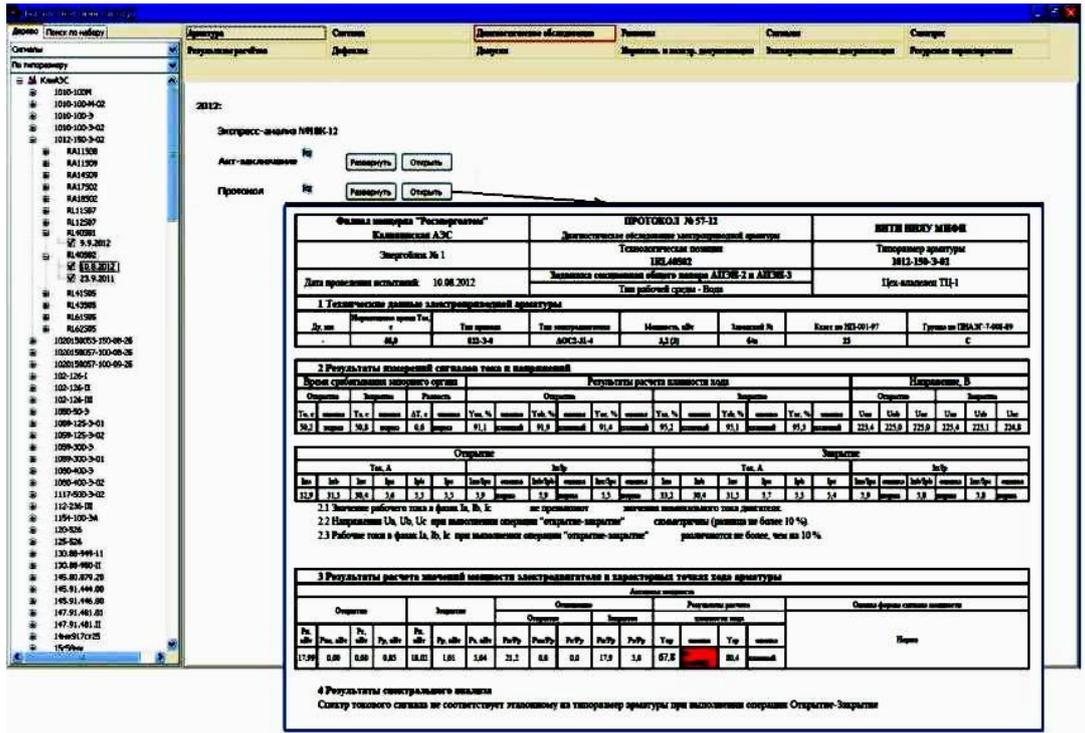


а)

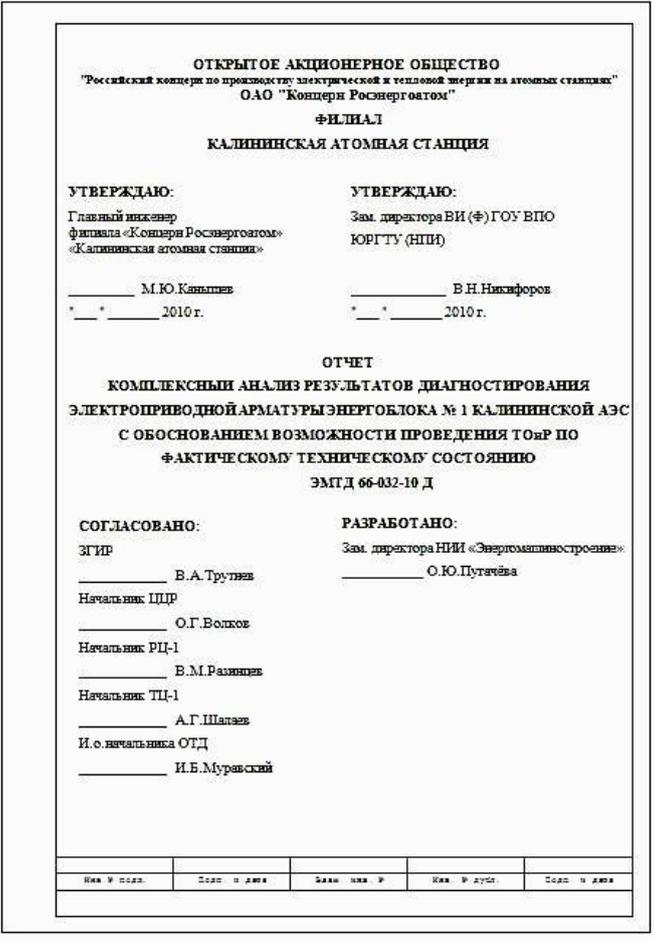


б)

Рис. 2. Представление технологической информации в диагностическом паспорте:  
а) общие технические данные арматуры;  
б) лист диагностического обследования с фрагментом диагностической системы.



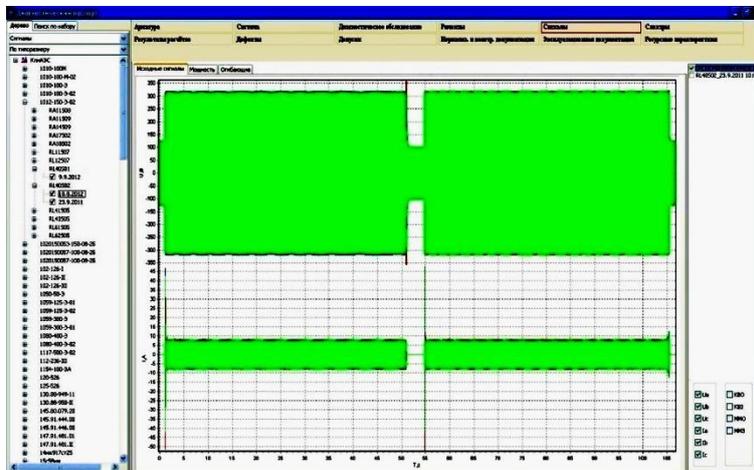
а)



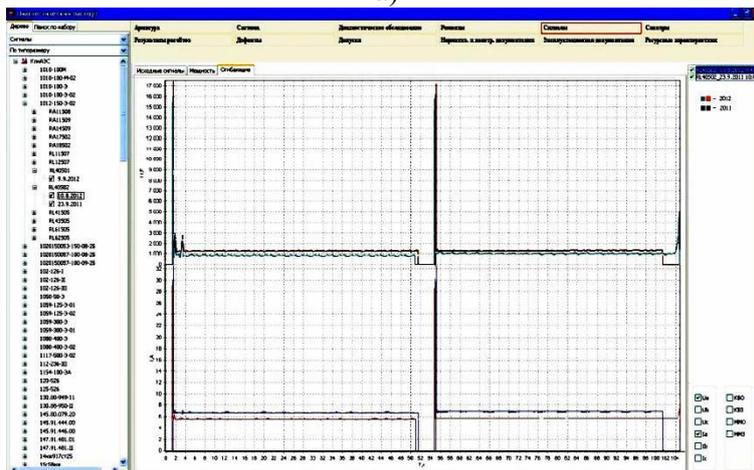
б)

Рис. 3. Отчетная документация в ДП:  
 а) протокол диагностического обследования задвижки;  
 б) материалы для технического решения.

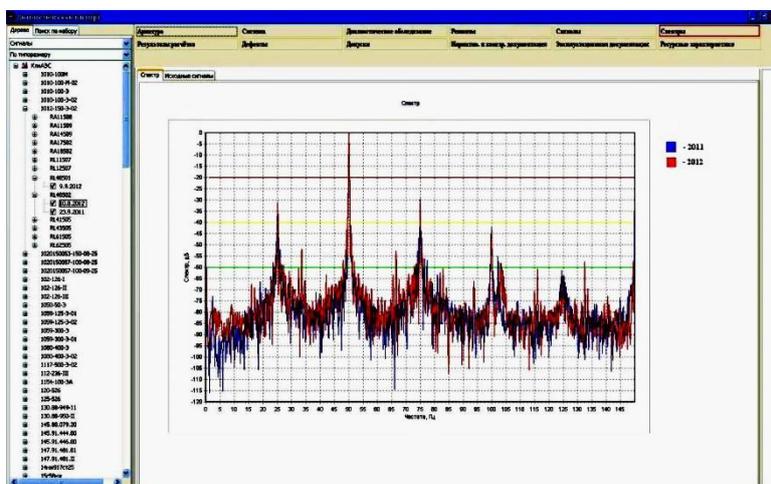
- просмотр графического отображения электрических сигналов электродвигателя ЭПА в виде исходных изображений и изображений огибающих электрических сигналов (рисунок 4,а);
- визуализация спектра токового сигнала для проведения дополнительного анализа состояния ЭПА (рисунок 4,в).



а)



б)



в)

Рис. 4. Отображение графической информации в ДП:  
 а) токовый сигнал арматуры; б) огибающая токового сигнала; в) наложение спектров токовых сигналов.

Разработанный паспорт позволяет отслеживать состояние не только единичного оборудования, но и всей системы в целом.

Создание системы получения такого паспорта и системы считывания-сравнения на объекте позволит вести постоянный мониторинг состояния арматуры, предотвращать поломки и отказы, а также выполнять ремонтные работы только той арматуры, техническое состояние которой требует этого [4].

Таким образом при работе с ДП достигается поддержание эксплуатационной безопасности и функциональной пригодности оборудования энергоблоков АЭС, оптимизация сроков ремонта и сокращение затрат на его проведение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров, В.В. и др. О создании диагностического паспорта трубопроводной арматуры [Текст] / В.В. Макаров, А.П. Андреев, С.И. Васильев // Арматуростроение. – 2006. – №5. – С. 49–53.
2. РД ЭО 0069-97. Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций [Текст].
3. РД ЭО 1.1.2.01.0769-2008. Организация ремонта оборудования атомных станций по техническому состоянию. Основные положения [Текст].
4. РД ЭО 1.1.2.09.0774-2011. Оценка технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов, сосудов и насосов энергоблоков атомных станций. Методика (взамен РД ЭО 0180-00, РД ЭО 0185-00) [Текст].
5. Пугачева, О.Ю. и др. Диагностическое сопровождение ремонтных компаний АЭС [Текст] / О.Ю. Пугачева, Н.Н. Подрезов, В.Н. Никифоров // Современные технологии, оборудование, техническое оснащение и подготовка персонала для ремонтных работ в атомной энергетике : сборник докл. науч.-техн. конф. 12–13 февраля 2013 г., Нововоронеж, – М.: НП «Объединение контроллеров», 2013. – 231 с.

### The Certification Interactive System of Nuclear Power Plant Equipment

**J.E. Ulyanova\*, O.Y. Pugacheva\*\*, V.I. Sirotina\*\*\***

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

*\*e-mail: uli4ka\_mail@mail.ru ; \*\*e-mail: olgarom57@mail.ru; \*\*\*e-mail: vika8706@mail.ru*

**Abstract** – The article considers, the diagnostic passport developed by the Scientific Research Institute AEM VETI NRNU MEPhI. This passport represents a shell program, allowing to view necessary data for certain equipment of the nuclear power plant: technological and graphic information, design values and reporting documents on specific accessories.

**Keywords:** diagnostics, electrodriving accessories, equipment, diagnostic passport, database, analysis.

УДК 621.039.52.04.:621.311.25

## ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ АЭС: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ

© 2013 г. Д.Н. Казьмин, И.А. Якубенко

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

Поступила в редакцию 18.10.2013 г.

В статье анализируется ядерное топливо, применяемое на различных реакторных установках действующих АЭС России, оценивается его современное состояние. Рассмотрены перспективные разработки топлива и эффект, достижимый за счет их внедрения.

*Ключевые слова:* ядерное топливо, спеченная двуокись урана, тепловыделяющие сборки, «отвальный уран», составные твэлы, зоны воспроизводства, ТВС-2, ТВСА, среднее выгорание ТВС, уран-эрбиевое топливо, ТВС четвертого поколения, ТВС с центральным закреплением твэлов, МОКС-топливо.

Ядерное топливо служит для получения энергии в ядерном реакторе в результате ядерной цепной реакции. Обычно представляет собой смесь, содержащую как делящиеся ядра, например  $^{235}\text{U}$ , так и ядра  $^{238}\text{U}$  или (и)  $^{232}\text{Th}$ , способные в результате захвата нейтронов образовывать делящиеся ядра  $^{233}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ , не существующие в природе. Иногда ядерное топливо называется «ядерным горючим», хотя этот термин чаще применяют для обозначения только делящихся ядер. Этот вид топлива гораздо сложнее в изготовлении и применении, чем любое другое топливо ввиду своей радиационной особенности.

Для того чтобы получить ядерное топливо, необходимо добыть и переработать урановую руду. В отличие от угля, урановую руду нельзя подавать непосредственно на электростанцию. Сначала ее надо очистить от посторонних примесей, повысить содержание изотопа  $^{235}\text{U}$  (провести обогащение) и поместить в специальные топливные сборки. Прежде, чем добываемый из руды уран попадает в реактор, он должен пройти целый ряд технологических переделов, называемых топливным циклом.

Добываемый природный уран состоит из трех изотопов  $^{238}\text{U}$  (99,282 %),  $^{235}\text{U}$  (0,712 %) и  $^{234}\text{U}$  (0,006 %). Он не всегда пригоден в качестве ядерного топлива, особенно если конструкционные материалы и замедлитель интенсивно поглощают нейтроны. В этом случае ядерное топливо изготавливают на основе обогащенного урана, содержание делящихся ядер  $^{235}\text{U}$  в котором повышают до необходимого значения. Далее топливо проходит термическую обработку с целью получения тугоплавких соединений урана и надежной оболочки: окислов, карбидов и интерметаллических соединений. Наиболее широкое применение получила керамика – спеченная двуокись урана  $\text{UO}_2$  в виде таблеток.

На АЭС ядерное топливо приходит в виде тепловыделяющих сборок (ТВС), которые загружаются в реактор на место выгоревших ТВС.

В настоящее время в России на 10 действующих АЭС эксплуатируется 33 энергоблока общей мощностью 23 643 МВт, из них 17 реакторов с водой под давлением – 11 ВВЭР-1000, 6 ВВЭР-440; 15 канальных кипящих реакторов – 11 РБМК-1000 и 4 ЭГП-6; 1 реактор на быстрых нейтронах – БН-600. Мы рассмотрим топливо для трех видов энергетических установок: реакторов типа ВВЭР, канальных кипящих реакторов РБМК-1000 и реакторных установок типа БН-600(БН-800).

### ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ

Преимуществом реактора на быстрых нейтронах является возможность вовлечения в энергетику трудно делящегося  $^{238}_{92}\text{U}$  – основного изотопа в природном уране. Кроме того, высокопоточный реактор на быстрых нейтронах позволяет нарабатывать  $^{239}_{94}\text{Pu}$  – ценное топливо для тех же ядерных реакторов. Быстрые реакторы открывают возможность использования не делящихся в реакторах на тепловых нейтронах изотопов тяжелых элементов. В топливный цикл могут быть вовлечены запасы  $^{238}_{92}\text{U}$  и  $^{232}_{90}\text{Th}$ , которых в природе значительно больше, чем  $^{235}_{92}\text{U}$  – основного горючего для реакторов на тепловых нейтронах. В том числе может быть использован и так называемый «отвальный уран», оставшийся после обогащения ядерного горючего  $^{235}_{92}\text{U}$ .

Активная зона состоит из трех типов ТВС, содержащих топливоразного обогащения с массовой долей урана-235 – 17%, 21% и 26%. Составные твэлы по длине активной зоны заполнены втулками из обогащенного оксида урана (или смеси оксидов урана и плутония), а выше и ниже активной зоны расположены торцевые экраны из брикетов окиси "отвального" урана. Твэлы периферийной зоны воспроизводства целиком заполнены брикетами из "отвального" урана. Активная зона БН окружена в радиальном и осевом направлениях зонами воспроизводства (бланкетами), заполненными воспроизводящим материалом — обедненным ураном, содержащим 99,7–99,8%  $^{238}_{92}\text{U}$ .

### ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР ВВЭР-440

С 2002 года для блоков второй очереди (В-213) реакторов ВВЭР-440 ОАО «МСЗ» выпускает ТВС II-го поколения. Наряду с надёжностью эти кассеты позволяют повысить мощность реакторов ВВЭР-440 на 5-8%, что и осуществляется в настоящее время на АЭС России (Кольская АЭС). Для блоков I-ой очереди (типа В-230), начиная с 2005 года выпускается, т.н. «вибропрочные» ТВС I-го поколения. Эти ТВС характеризуются повышенной надёжностью. В 2010 году для 4-го блока Кольской АЭС были изготовлены и установлены на опытно-промышленную эксплуатацию 12 рабочих кассет третьего поколения – бесчехловая каркасная конструкция с увеличенной загрузкой.

С момента пуска первого реактора ВВЭР-1000 непрерывно совершенствуется ядерное топливо с целью повышения эффективности его использования: для увеличения выработки электроэнергии путем повышения тепловой мощности реактора, увеличения коэффициента использования установленной мощности энергоблока, обеспечения работы АЭС в широком диапазоне маневренных режимов и др. Характер усовершенствований тепловыделяющих сборок для реакторов ВВЭР соответствует

мировым тенденциям улучшения топлива водо-водяных реакторов. В результате многолетних исследований сформировалась современная штатная тепловыделяющая сборка для реактора типа ВВЭР-1000 (конструкции ТВС-2 и ТВСА, разработка ОАО ОКБ «Гидропресс» и ОАО «ОКБМ Африкантов»[2,3]), являющаяся основой для разработки усовершенствованных видов ядерного топлива как для внедрения на действующих реакторах ВВЭР, так и для реакторов ВВЭР нового поколения (ВВЭР-1200) и имеющая следующие основные конструктивные особенности:

- формоустойчивый циркониевый каркас;
- внешний диаметр твэла – 9,1 мм;
- толщина циркониевой оболочки твэла – 0,685 мм;
- диаметр топливной таблетки – 7,6 мм;
- отверстие в центре топливной таблетки;
- максимальное обогащение топлива – 4,4%;
- высота топливного столба в холодном состоянии – 3530 мм;
- выгорающий поглотитель, интегрированный в топливо гадолиний;
- среднее выгорание ТВС – в пределах 50 МВт в сут /кг U.

Тепловыделяющая сборка этой конструкции успешно эксплуатируется на большинстве АЭС с реакторами ВВЭР-1000 в 12-месячном топливном цикле, она обеспечивает также возможность реализации топливных циклов с длительностью кампании топлива до 450 эфф. сут.

На энергоблоках № 2 и 3 Калининской АЭС с 2010 года эксплуатируются сборки ТВСА-PLUS, имеющие унифицированный с ТВС-2М топливный пучок с увеличенным на 150 мм топливным столбом и обеспечивающие аналогичные условия эксплуатации. Загрузка урана в ТВС-2М и ТВСА-PLUS увеличена примерно на 6% в сравнении с базовыми вариантами

На энергоблоке № 1 Калининской АЭС с 2006 года в пятигодичном топливном цикле эксплуатируются кассеты типа ТВСА-АЛЬФАС увеличенной ураноемкостью за счет применения твэлов с топливными таблетками без центрального отверстия, с 8 дистанционирующими решетками. Загрузка урана в ТВСА-АЛЬФА в сравнении с ТВСА увеличена на ~ 10% и составляет ~ 546 кг.

### ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ РБМК-1000

С момента пуска первого блока реактора типа РБМК (1973 г., Ленинградская АЭС) проводились работы по модернизации и совершенствованию конструкции топлива, твэлов и ТВС с целью повышения безопасности и технико-экономических характеристик РБМК.

После аварии на Чернобыльской АЭС на всех действующих АЭС с РБМК проведен комплекс технических и организационных мероприятий, значительно повысивший уровень безопасности и надежности. К числу этих мероприятий относится перевод реакторов РБМК на уран-эргиевое топливо – один из важнейших элементов модернизации активных зон РБМК.

Внедрение нового топлива позволяет значительно снизить паровой коэффициент реактивности, неравномерность энерговыделения, существенно повысить глубину выгорания топлива.

Первая опытная партия ТВС РБМК-1000 с топливом обогащением 2,6% и содержанием эрбия 0,41% была изготовлена и направлена на Ленинградскую АЭС в 1996 году. В ходе реакторных испытаний были подтверждены расчетные параметры, что позволило перейти на серийное изготовление ТВС.

В дальнейшем, с целью повышения выгорания топлива были проведены работы в

обоснование повышения обогащения уран-эрбиевого топлива. В результате: в 2000г. разработаны рабочая конструкторская и техническая документации на ТВС РБМК-1000 с топливом обогащением 2,8% и содержанием эрбия 0,6%. В 4 кв. 2000г. проведены предварительные и приемочные испытания опытной партии ТВС (100шт.), которая в настоящее время успешно эксплуатируется на Ленинградской АЭС.

После проведения приемочных испытаний нового уран-эрбиевого топлива завод перешел на их серийное изготовление.

Основные результаты внедрения уран-эрбиевого топлива:

- значительно увеличилась глубина выгорания топлива (РБМК-1500 на 40-50%, РБМК-1000 на 20-25%);
- уменьшился расход ТВС;
- снизился паровой коэффициент реактивности;
- уменьшилась неравномерность энерговыделения;
- снизились отказы ТВС.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ВВЭР

Основной текущей задачей по развитию ядерного топлива для реакторов ВВЭР-1000 является разработка унифицированных проектов ТВС четвертого поколения (ТВС-4) на базе конструкций ТВС-2М и ТВСА-PLUS: 12 дистанционирующих решеток, твэлы с топливной таблеткой без центрального отверстия, топливный столб – 3680 мм, загрузка UO<sub>2</sub> – 568,4 кг, топливный цикл – 3×510 или 5×333 эфф. сут. Данные конструкции ТВС будут полностью унифицированы по всем основным комплектующим элементам и будут отличаться только типом жесткого каркаса.

Предварительные расчеты показывают возможность увеличения на 8% загрузки урана в ТВС четвертого поколения. Последующее эволюционное развитие топлива ВВЭР, по-видимому, будет осуществляться в направлении дальнейшего увеличения энергопотенциала ТВС за счет увеличения обогащения топлива свыше 5%.

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ (ТОПЛИВО ДЛЯ РЕАКТОРОВ БН)

В настоящее время реактор БН-600 работает с активной зоной из высокообогащенного урана с воспроизводящими торцевыми и боковым экранами из обедненного урана. Существует программа перевода БН-600 на гибридную активную зону, она предполагает:

- загрузку ТВС с МОКС-топливом на периферии активной зоны при одновременном сохранении урановых ТВС ближе к центру зоны. При этом конструкция МОКС ТВС будет аналогична конструкции урановых ТВС;
- использование МОКС-топлива в зоне высокого обогащения (около 20% активной зоны), что позволит израсходовать 0,271т плутония в год.

Плановый срок ввода в промышленную эксплуатацию IV энергоблока Белоярской АЭС с РУ БН-800 – 2014 г, но уже запущен процесс изготовления топлива для стартовой загрузки активной зоны реактора. Активная зона на этапе стартовой загрузки состоит из нескольких типов ТВС – с урановым оксидным топливом различного обогащения (массовая доля урана-235 – 18,5%, 21%, 24%), со смешанным уран-плутониевым оксидным таблеточным топливом, со смешанным уран-плутониевым оксидным виброуплотненным топливом.

Применение в реакторе БН-800 уран-плутониевого топлива позволяет:

- сформировать экологически чистый “замкнутый” ядерный топливный цикл;
- в 50 раз увеличить использование “отвального” природного урана, и

обеспечить атомную энергетику России топливом на длительную перспективу за счёт воспроизводства;

- утилизировать отработанное ядерное топливо АЭС на тепловых нейтронах.
- утилизировать радиоактивные отходы путем вовлечения в полезный производственный цикл отработанного урана и плутония. [1].

## ВЫВОДЫ

1) Модернизация конструкций, а также разработка новых видов ТВС с целью повышения надежности ядерного топлива и его экономической эффективности имеет большую важность.

2) Целесообразно изготовление топливных таблеток без центральных отверстий и с вкраплением частиц эрбия, как самовыгорающего поглотителя.

3) Необходимо расширение применения в ТВС МОКС-топлив для реакторов ВВЭР и БН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фаворский, О.Н.* Об энергетике России в ближайшие 20-30 лет [Текст] / О.Н. Фаворский // Вестник Российской академии наук. – 2007. – Вып. 2. – Т. 77. – С. 121–127.
2. *Драгунов, Ю.Г.* и др. Разработка и внедрение ТВС-2М для перспективных топливных циклов [Текст] / Ю.Г. Драгунов, С.Б. Рыжов, И.Н. Васильченко, С.Н. Кобелев // Атомная энергия. – 2005. – Т. 99. – №6. – С. 432–437.
3. *Кандалов, В.Б.* и др. Тепловыделяющая сборка ТВСА ВВЭР-1000: направления развития и результаты эксплуатации [Текст] / В.Б. Кандалов, Д.Г. Преображенский, А.И. Романов, О.Б. Самойлов, А.А. Фальков, А.А. Шишкин // Атомная энергия. – 2007. – Т. 102. – №1. – С. 43–48.

## Nuclear Fuel for NPP: Nowadays Situation and Development

**D.N. Kazmin, 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: IAYakubenko@mephi.ru*

**Abstract** – The article says about nuclear fuel which is used at different reactors of active NPPs in Russia and its current state. The authors've also described the new prospects of fuel creation and its possible beneficial effects.

**Keywords:** nuclear fuel, sinter uranium dioxide, fuel assembly, waste uranium, composite fuel elements (composite FE), breeding zones, FA-2 (fuel assembly-2), alternative design fuel assembly, fuel assembly average burnout, uranium-erbium fuel, the fourth generation fuel assembly, fuel assembly with central setting of fuel elements, MOX-fuel.

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

УДК 621.039:006.1

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА  
К РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ  
ДЛЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

© 2013 г. В.А. Руденко, В.Г. Бекетов, С.А. Томилин, А.Г. Федотов

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

Поступила в редакцию 10.12.2013 г.

В статье раскрываются вопросы разработки новых профессиональных стандартов, рассматриваются варианты применения различных методик разработки, приводится пример использования методологии структурного анализа и проектирования на различных этапах подготовки проекта профессионального стандарта.

*Ключевые слова:* атомная энергетика, макет профессионального стандарта, разработка профессионального стандарта, обобщенная трудовая функция, трудовое действие, структурный анализ, проектирование, декомпозиция.

В настоящее время закономерно встал вопрос о подготовке специалистов новой формации, способных быстро и адекватно войти в производственный процесс, обеспечивая прирост новых, современных компетенций в организациях [1, 2].

Отсутствие непрерывного процесса воспроизводства новой рабочей силы, соответствующей требованиям современного рынка труда, стало в определенном смысле тормозом экономического развития отраслей экономики [3]. Поэтому необходимость создания и внедрения в практику новых, более эффективных и надежных подходов и методов действия и регулирования в данной сфере очевидна. Одним из таких методов, способных разрешить назревшую проблему, является создание эффективной системы профессиональных стандартов.

Несмотря на все усилия, которые долгие годы прилагались к созданию профессиональных стандартов, в нашей стране, такая система требует модернизации. До сих пор используются профессиональные стандарты, разработанные в виде различных квалификационных справочников, в частности Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих и Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих, которые уже не отвечают необходимым характеристикам, предъявляемым работодателями к знаниям, умениям и уровню квалификации, особенно если соответствующая организация занимается созданием инновационного продукта.

Стандарт как нормативно-технический документ устанавливает комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации. Он может быть разработан как на материальные предметы (продукцию, эталоны, образцы веществ), так и на нормы, правила, требования в различных областях экономики.

Стандарт также является многофункциональным нормативным документом, определяющим в области конкретного вида экономической деятельности (области профессиональной деятельности) требования к выполнению работниками трудовых функций и необходимым для этого компетенциям.

На данный момент существуют различные методики разработки профессиональных стандартов. Например, методика, предлагаемая Центром изучения проблем профессионального образования, [4] предполагает проекцию структурированного описания профессиональной/трудовой деятельности на описание требований к работникам, выполняющим эту деятельность.

Разработка профессиональных стандартов основана на следующих принципах [4]:

- учет изменений в организации труда и в организационной культуре, что приводит к изменению требований к работникам, которые должны быть более адаптивными, ориентированными на постоянное обучение и самосовершенствование;
- учет международных тенденций в области разработки профессиональных стандартов, ориентированных на требования к компетенциям работников;
- измеримость требований, указанных в стандарте, и единые критерии формулировки этих требований;
- указание в стандартах только основных трудовых функций по областям профессиональной деятельности;
- основа профессионального стандарта образцы лучшей практики, т.е. опыт успешных предприятий и организаций, являющихся лидерами в отрасли и ориентированных на будущее и конкурентоспособность на национальном и мировом уровне, а также требования к качественному выполнению трудовых функций.

Рассматриваемая методика разработки профессионального стандарта основывается на выявлении функций, которые должны выполняться в конкретной области профессиональной деятельности, а не на описании того, кто их выполняет. Другими словами, отправная точка формирования стандарта – анализ трудовой деятельности, в ходе которого, по результатам опроса большого массива респондентов, представляющих работников соответствующей отрасли, выявляются трудовые функции и требования к качеству их выполнения.

На основе рассмотренных принципов разработки, проектирование профессионального стандарта возможно с применением методологии структурного анализа и проектирования (SADT) [5]. Для примера рассмотрим разработку профессионального стандарта «Специалист в области производственно-технологической комплектации».

Учет изменений в организации труда и в организационной структуре области профессиональной деятельности можно показать на модели обобщенных трудовых функций, представляющей основные процессы организации и их взаимодействие. Верхний уровень модели показан на рисунке 1.

В процессе моделирования сведения об изучаемой системе получают с помощью испытанной методики сбора информации – анкет, опросов или интервью как и в принятых процессах разработки проекта стандарта.

Корректность модели проверяется в процессе итеративного рецензирования экспертами. Анкеты с замечаниями являются, таким образом, обратной связью, которую авторы модели получают на свою работу. Модель в SADT очень редко создается одним автором. На практике над различными частями модели могут совместно работать несколько авторов, потому что каждый функциональный блок представляет отдельный субъект, который может быть независимо проанализирован и декомпозирован. Достоинством такого подхода является то, что модель сама координирует работу коллектива авторов. [5]

На следующем этапе разработки происходит определение перечня трудовых функций, или декомпозиция обобщенной трудовой функции. Пример декомпозиции представлен на рисунке 2.

Каждая трудовая функция конкретного уровня квалификации специалиста в

области производственно-технологической комплектации предполагает выполнение определенного набора трудовых действий, то есть требует проведения дальнейшей декомпозиции на следующем уровне иерархии. Трудовые действия являются элементарными функциями нижнего уровня и выполняются при наличии необходимых умений и знаний.

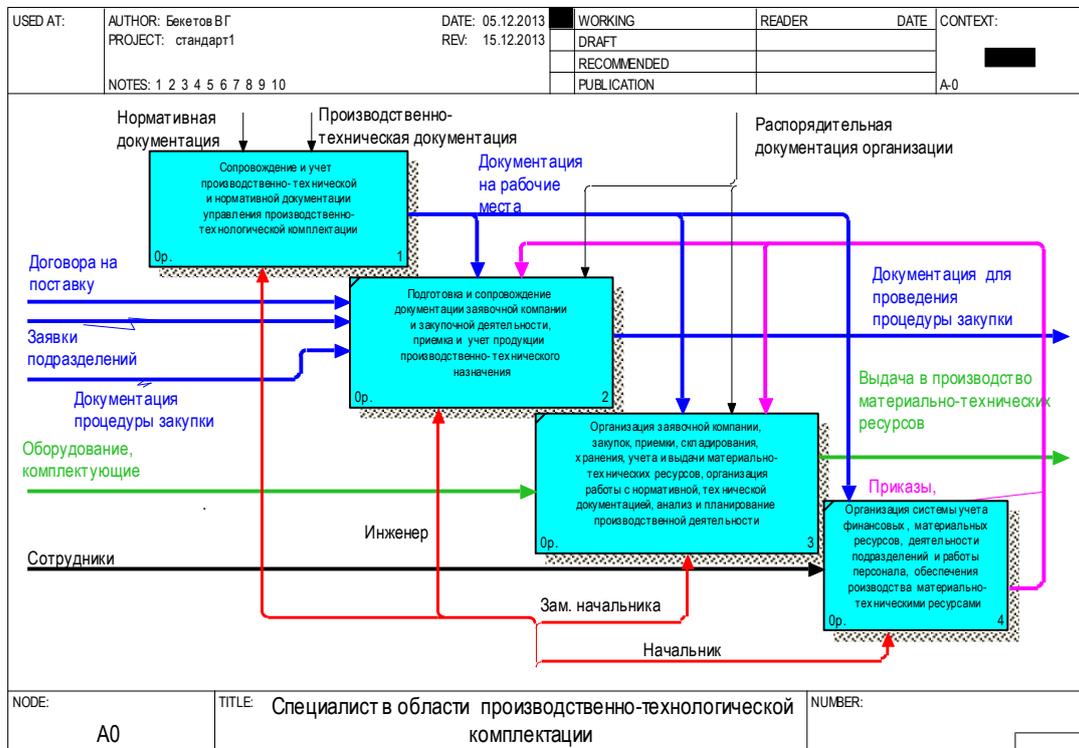


Рис. 1. Модель обобщенных трудовых функций

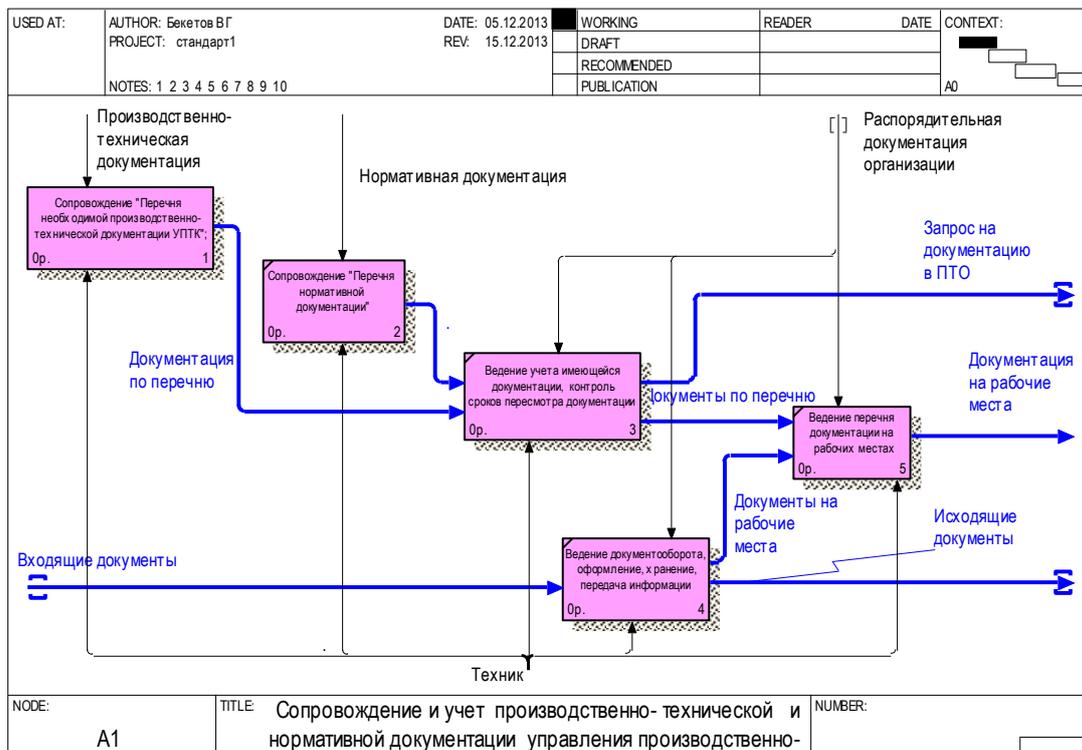


Рис. 2. Модель трудовых функций

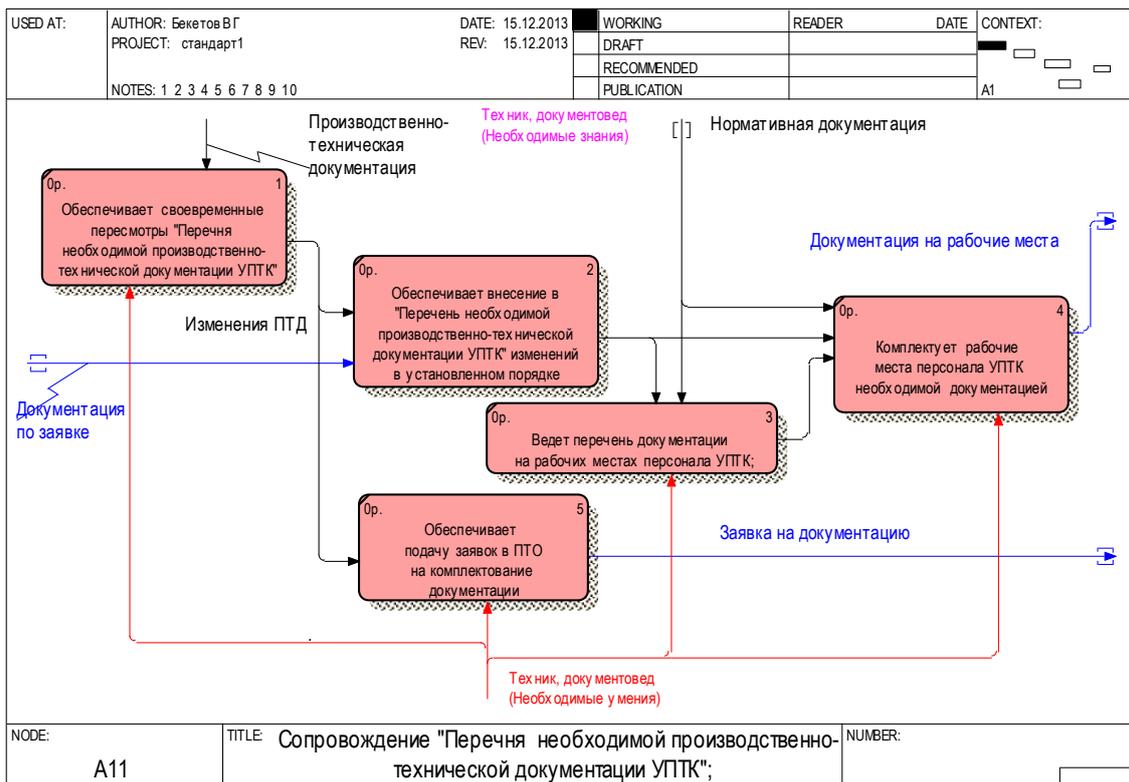


Рис. 3. Модель трудовых действий

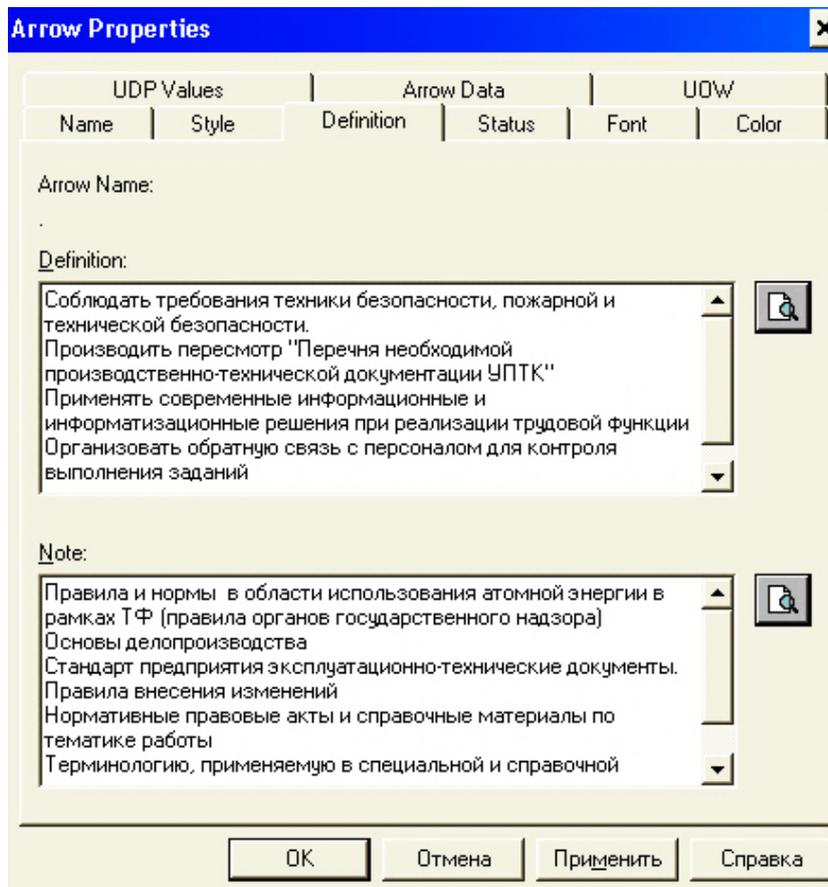


Рис. 4. Отображение необходимых умений и знаний

В модели трудовых действий, представленной на рисунке 3, показаны линиями, идущими снизу, потоки необходимых знаний и умений для выполнения конкретного трудового действия. На рисунке 4 показано окно свойств для линии механизма выполнения трудового действия «Сопровождение перечня необходимой производственно-технической документации УПТК». В верхней части окна показаны умения, в нижней – знания.

Таким образом, применяя указанную выше процедуру последовательных декомпозиций обобщенных функций, являющуюся основой методологии SADT, можно, на основе анализа области применения профессионального стандарта, более качественно определить полный набор трудовых действий, необходимых умений и знаний специалиста.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яворчук, Н. и др. Разработка профессиональных стандартов [Текст] / Н. Яворчук, К. Трибушкова // Кадровик. – 2012. – №6. – С. 23–30.
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. Маишук, Н. Профессиональный стандарт и его назначение [Электронный ресурс] // Энергия промышленного роста: сетевой журн. – 2008. – №4,5. – Режим доступа: URL: [http://www.epr-magazine.ru/vlast/otdel\\_kadrov/prof/](http://www.epr-magazine.ru/vlast/otdel_kadrov/prof/) – 30.11.2013.
4. Профессиональные стандарты [Электронный ресурс] // Центр изучения проблем профессионального образования: сетевой журн. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://www.cvets.ru/deyat2.html> – 30.11.2013.
5. Марса, Д.А. и др. Методология структурного анализа и проектирования SADT [Электронный ресурс] / Д.А. Марса, С. McGowan // Бизнес-класс: сетевой журн. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://classs.ru/library/node/3103> – 30.11.2013.

## Control System Modernization for Overloading Nuclear Fuel at Unit #1 Rostov Nuclear Power Plant

V.A. Roudenko\*, V.G. Bekhetov\*\*, S.A. Tomilin\*\*\*, A.G. Fedotov\*\*\*\*

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

*\* e-mail: VARudenko@mephi.ru ; \*\* e-mail: VGBeketov@mephi.ru*

*\*\*\* e-mail: SATomilin@mephi.ru ; \*\*\*\* e-mail: VITkafMPM@mephi.ru*

**Abstract** – This article describes the questions of the development of new professional standards. The authors also consider the variants of the application of different design methodologies. There is the example of the application of structural analysis methodology and the different stages projecting of the project design of professional standards.

**Keywords:** nuclear energy, professional standard model, design of professional standard, generalized labour function, labour action, structural analysis, designing, decomposition.

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

УДК 65.013, 004.93,159.9:62

**АКУСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ДЛЯ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ» СИСТЕМ МОНИТОРИНГА  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТИВНОГО СОСТАВА  
УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

© 2013 г. М.В. Алюшин, В.М. Алюшин, С.В. Дворянкин, Л.В. Колобашкина

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

Поступила в редакцию 30.06.2013 г.

Анализируются перспективы применения акустических технологий (АТ) инфразвукового и звукового диапазонов для дистанционной регистрации биопараметров человека в пассивном режиме. Рассматриваемые АТ основываются на использовании многоканальных фазированных акустических приемников, позволяющих синтезировать перестраиваемую многолепестковую диаграмму направленности для слежения за каждым из операторов рабочей смены. АТ предназначены для создания современных систем дистанционного мониторинга функционального состояния операторов управления опасными объектами атомной отрасли с целью повышения безопасности их функционирования за счет минимизации влияния так называемого «человеческого фактора».

*Ключевые слова:* акустические технологии, функциональное состояние, текущий контроль, фазированные акустические приемники, шумоподавление.

В настоящее время акустические технологии достаточно активно используются для решения широкого спектра задач, предполагающих получение и обработку биометрической информации о человеке, например, таких, как идентификация и верификация личности [1], оценка эмоционального состояния человека по голосу [2], медицинская диагностика на основе новых методов акустического анализа дыхательных звуков [3]. Несомненным достоинством АТ является возможность регистрации биопараметров человека дистанционно и без использования каких-либо контактных датчиков.

Последние разработки в области создания надежных систем акустической идентификации и верификации личности предполагают применение комплексных методов регистрации биометрической информации. Это позволяет использовать в качестве акустических параметров, например, уникальные амплитудно-частотные характеристики тела человека, которые вычисляются как отношение спектральной плотности мощности акустических сигналов для выделенных областей регистрации на теле человека к спектральной плотности мощности речевого сигнала [4].

Эффективность применения АТ для решения перечисленных выше задач в значительной мере определяется внешними акустическими условиями эксплуатации разработанных на их основе систем. Так, большинство из применяемых на практике систем оценки эмоционального состояния человека по голосу ориентированы, как правило, либо на использование достаточно качественного телефонного (селекторного) канала передачи речевой информации [5], либо на лабораторные условия регистрации речи [6].

Проведенные в НИЯУ МИФИ исследования влияния уровня шумов на

достоверность работы голосового детектора стресса [7] позволили выявить допустимые уровни шума, при которых удается диагностировать различные степени стресса у человека. Так, для предельного случая 100% амплитудной модуляции основного тона говорящего сигналом микротремора правильная диагностика стресса достигается при уровне акустических шумов на выходе микрофона не более 0.3-0.4 мВ и при отношении сигнал/шум – не менее чем 9-10дБ. При меньшем уровне стресса для его достоверного определения необходимо обрабатывать более «чистый» речевой сигнал с отношением сигнал/шум более 20-30дБ.

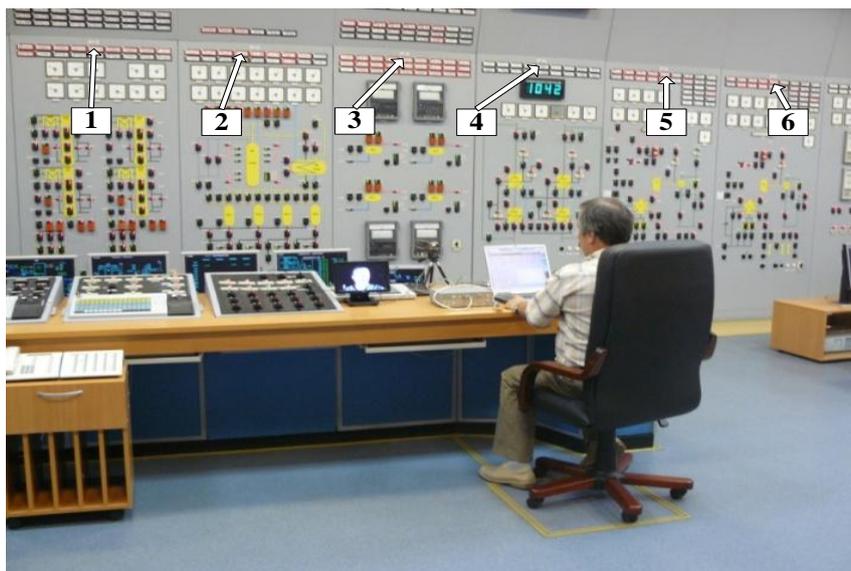
Наиболее актуальной является задача диагностики стресса по голосу у оперативного состава управления, работающих, как правило, в условиях сильных шумовых помех, которые можно классифицировать в следующие основные группы:

- стационарные акустические помехи от постоянно работающего оборудования, щитов управления, освещения;
- кратковременные импульсные помехи от периодически, либо произвольного срабатывания различных служебных систем, например, звуки сирены и т.д.;
- голосовые помехи от других разговаривающих людей.

Применимость АТ для определения текущего состояния оператора управления в атомной отрасли обусловлена тем, что по существующему регламенту оператор управления должен повторять каждую отданную ему начальником смены команду.

Для повышения эффективности применения АТ при решении задачи диагностики стресса и текущего функционального состояния оперативного состава управления в условиях сильных шумовых помех предлагается подход, основывающийся на применении методов направленного приема акустической информации, методов слежения и сопровождения (трекинга) за перемещающимися источниками речи, а также методов шумоподавления и шумоочистки.

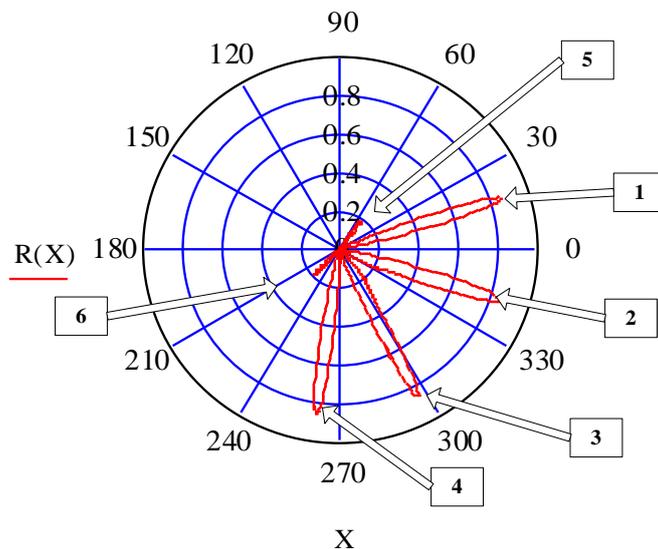
Направленный прием акустической информации достигается за счет применения многоканальных одномерных 1D, либо двухмерных 2D микрофонных фазированных решеток (ФР) [8], позволяющих сформировать требуемую диаграмму направленности (ДН) для улучшения отношения сигнал/шум в принимаемом акустическом сигнале. На рисунке 1 показано возможное расположение приемной ФР в щите управления АЭС (резервные приборные посадочные места).



1-6 – места расположения компонентов акустической ФР

**Рис. 1.** Вариант размещения приемной микрофонной ФР на щите управления

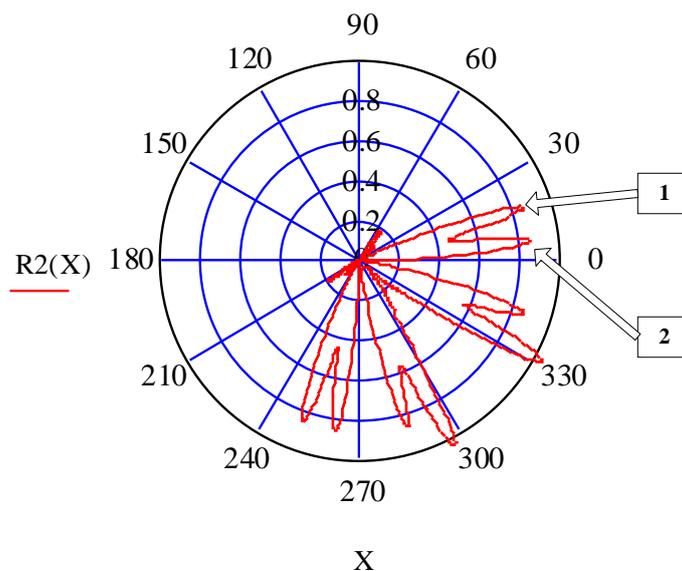
На рисунке 2 показана типичная синтезируемая ДН приемной части акустической системы  $R(X)$  в полярных координатах ( $X$  – угол, задающий направление приема ФР), предназначенной для одновременной регистрации биопараметров четырех работников смены, имеющих фиксированное положение в зале управления. На приведенной ДН видны четыре основных лепестка (1-4), направление которых определяется положением операторов в зале управления, а также паразитные лепестки (5-6), обусловленные, в первую очередь, дискретностью расположения компонентов ФР в зале.



1-4 – основные лепестки ДН; 5-6 – паразитные лепестки ДН

**Рис. 2.** Синтезируемая многолепестковая ДН для улучшения качества приема речи

На рисунке 3 показана дополнительно синтезируемая ДН для реализации режима слежения и сопровождения за перемещением оперативного состава.



1,2 – дополнительные лепестки ДН

**Рис. 3.** Многолепестковая ДН для определения направления перемещения оперативного состава

Дополнительные лепестки (1-2, рис. 2) ДН предназначены для определения направления перемещения каждого из операторов рабочей смены, что позволяет корректировать направление основных лепестков (1-4, рис. 3) в реальном масштабе времени.

Реализация методов адаптивной фильтрации и шумоподавления [9] дают возможность с высокой достоверностью определить биопараметры человека, например, такие, как: параметры работы сердечно-сосудистой системы (частота пульса, равномерность пульса); параметры дыхания (частота дыхания, глубина дыхания, равномерность дыхания, соотношение верхнее/нижнее дыхание); параметры состояния периферической нервной системы (уровень микротремора в голосе).

Анализ речевой информации дает возможность не только диагностировать уровень стресса каждого работника смены (в первую очередь, на основе регистрации уровня микротремора в голосе говорящего), но также позволяет определить тип и характер межличностных отношений в коллективе, что имеет огромное значение с точки зрения обеспечения рабочей атмосферы. Для решения такого типа задач определяются дополнительные параметры, характеризующие прерывистость речи, временное распределение амплитуд, частоту и длительность пауз, частоту заиканий и т.д. для каждой разговаривающей пары операторов, операторов и руководящего состава. В таблице 1 показаны возможности АТ по определению текущего психоэмоционального состояния для каждого из:

- $k$  операторов рабочей смены (характеристики  $G_i, i=1,2,3,\dots,k$ );
- $m$  членов руководящего состава (ЧРС) (характеристики  $S_j, j=1,2,3,\dots,m$ ),

а также по оценке уровня межличностных отношений, возникающих между:

- операторами рабочей смены (характеристики  $G_{ij}, i=1,2,3,\dots,k; j=1,2,3,\dots,k; i \neq j$ );
- ЧРС ( $S_{ij}, i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,m; i \neq j$ );
- операторами и ЧРС (характеристики  $R_{ij}, i=1,2,3,\dots,k; j=1,2,3,\dots,m$ );
- ЧРС и операторами (характеристики  $W_{ij}, i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,k$ ).

**Таблица 1.** Определение персональных и межличностных характеристик

Категории сотрудников	Операторы рабочей смены					ЧРС					
	1	2	3	...	K	1	2	3	...	m	
Операторы рабочей смены	1	$G_1$	$G_{12}$	$G_{13}$	...	$G_{1k}$	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	...	$R_{1m}$
	2	$G_{21}$	$G_2$	$G_{23}$	...	$G_{2k}$	-	$R_{22}$	$R_{23}$	...	$R_{2m}$
	3	$G_{31}$	$G_{32}$	$G_3$	...	$G_{3k}$	-	-	$R_{33}$	...	$R_{3m}$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	k	$G_{k1}$	$G_{k2}$	$G_{k3}$	...	$G_k$	-	-	-	...	$R_{km}$
ЧРС	1	$W_{11}$	$W_{12}$	$W_{13}$	...	$W_{1k}$	$S_1$	$S_{12}$	$S_{13}$	...	$S_{1m}$
	2	-	$W_{22}$	$W_{23}$	...	$W_{2k}$	$S_{21}$	$S_2$	$S_{23}$	...	$S_{2m}$
	3	-	-	$W_{33}$	...	$W_{3k}$	$S_{31}$	$S_{32}$	$S_3$	...	$S_{3m}$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	m	-	-	-	...	$W_{mk}$	$S_{m1}$	$S_{2m}$	$S_{3m}$	...	$S_m$

Приведенные в таблице 1 безразмерные нормированные характеристики  $G_i$  и  $S_j$  определяются следующим образом:

$$G_i = \sum A_{il} ((P_{il} - P_{oil}) / P_{oil}), \quad S_j = \sum B_{jl} ((Q_{jl} - Q_{ojl}) / Q_{ojl}), \quad (1)$$

где  $P_{il}, Q_{jl}$  –  $l$ -ые биопараметры, определяемые с помощью АТ, соответственно для  $i$ -го оператора рабочей смены и  $j$ -го ЧРС;

$P_{0il}, Q_{0jl}$  –  $l$ -ые биопараметры, взятые из базы персональных данных соответственно для  $i$ -го оператора рабочей смены и для  $j$ -го ЧРС (для их нормального спокойного состояния);  
 $A_{il}, B_{il}$  – значимость соответственно параметров  $P_{il}$  и  $Q_{jl}$  для определения характеристик  $G_i$  и  $S_j$ , взятая из базы персональных данных.

Аналогичным образом могут быть определены и характеристики межличностных отношений в коллективе:

$$G_{ij} = \sum A_{ijl} ((P_{ijl} - P_{0ijl}) / P_{0ijl}), \quad S_{ij} = \sum B_{ijl} ((Q_{ijl} - Q_{0ijl}) / Q_{0ijl}), \quad (2)$$

где  $P_{ijl}, Q_{ijl}$  –  $l$ -ые биопараметры, определяемые с помощью АТ и характеризующие соответственно уровень эмоционального напряжения соответственно при ведении голосового диалога  $i$ -го оператора с  $j$ -ым оператором рабочей смены и  $i$ -го ЧРС с  $j$ -ым ЧРС;

$P_{0ijl}, Q_{0ijl}$  –  $l$ -ые биопараметры, взятые из базы персональных данных и характеризующие соответственно уровень эмоционального напряжения при ведении диалога  $i$ -ый оператор –  $j$ -ый оператор и  $i$ -ый ЧРС –  $j$ -ый ЧРС (при ведении диалога в нормальном и спокойном состоянии);

$A_{ijl}, B_{ijl}$  – значимость соответственно параметров  $P_{ijl}$  и  $Q_{ijl}$  для определения характеристик  $G_{ij}$  и  $S_{ij}$ , взятая из базы персональных данных;

$$R_{ij} = \sum C_{ijl} ((T_{ijl} - T_{0ijl}) / T_{0ijl}), \quad W_{ij} = \sum D_{ijl} ((Y_{ijl} - Y_{0ijl}) / Y_{0ijl}), \quad (3)$$

где  $T_{ijl}, Y_{ijl}$  –  $l$ -ые биопараметры, определяемые с помощью АТ, соответственно при ведении голосового диалога  $i$ -ым оператором с  $j$ -ым ЧРС и  $i$ -ым ЧРС с  $j$ -ым оператором;

$T_{0ijl}, Y_{0ijl}$  –  $l$ -ые биопараметры, взятые из базы персональных данных и характеризующих эмоциональную окраску диалога соответственно  $i$ -го оператора с  $j$ -ым ЧРС и  $i$ -го оператора с  $j$ -ым ЧРС (при ведении диалога в нормальном и спокойном состоянии);

$C_{ijl}, D_{ijl}$  – значимость соответственно параметров  $P_{ijl}$  и  $Q_{ijl}$  для определения характеристик  $G_{ij}$  и  $S_{ij}$ , взятая из базы персональных данных.

Таким образом, детальный анализ голосовой информации дает возможность не только определить характеристики текущего психоэмоционального состояния каждого оператора и ЧРС (1), но также выделить его зависимость от межличностных отношений с другими членами коллектива (рабочей смены) (2,3). Так, текущее психоэмоциональное и функциональное состояние  $i$ -го оператора  $G_i$  зависит как от его собственных эмоций, обусловленных трудностью решаемых в данный момент производственных задач, так и от характера его межличностных отношений с другими работниками:

$$G_i = \sum_{jl} G_{ij} + \sum R_{il} + G_{i0}. \quad (4)$$

Например, высокий уровень эмоционального напряжения оператора при устранении сбоя (4) может быть обусловлен не плохим уровнем профессиональной

подготовки, а, например, хамским отношением к нему руководителя смены.

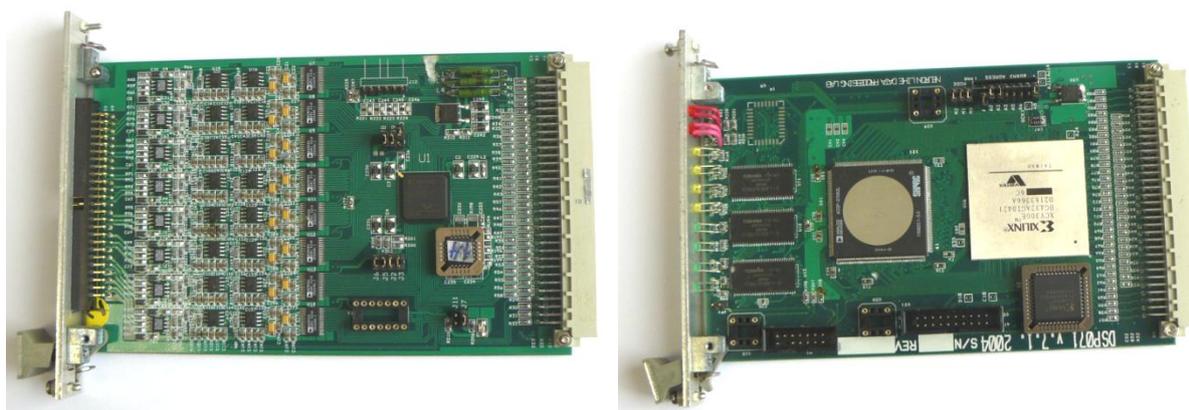
Это дает возможность не только определять уровень подготовки к действиям в экстремальных ситуациях, но также делать выводы о возможности слаженной работы в коллективе в критических ситуациях, что также имеет огромное значение для безопасности функционирования ядерных объектов. Для объективной оценки возможностей  $i$ -го оператора по действиям в критических ситуациях с данной рабочей сменой предлагается ввести следующие нормированные показатели, характеризующие эффективное значение профессиональной подготовки -  $F_i$ ; уровень конфликтности с операторами рабочей смены -  $X_i$  и уровень конфликтности с руководством -  $Z_i$ :

$$F_i = G_{i0} / (\sum_{j=1}^k G_{ij} + \sum_{l=1}^m R_{il} + G_{i0}), \quad (5)$$

$$X_i = (\sum_{j=1}^k G_{ij}) / (\sum_{j=1}^k G_{ij} + \sum_{l=1}^m R_{il} + G_{i0}), \quad (6)$$

$$Z_i = (\sum_{l=1}^m R_{il}) / (\sum_{j=1}^k G_{ij} + \sum_{l=1}^m R_{il} + G_{i0}). \quad (7)$$

Для сокращения сроков разработки систем мониторинга текущего психоэмоционального и функционального состояния оперативного состава управления в НИЯУ МИФИ разработан комплект специализированных многоканальных аппаратно-программных модулей, позволяющих осуществить интеллектуальную обработку сильно зашумленных акустических сигналов, что необходимо для достоверного расчета характеристик (1) и (5-7) при наличии множественных источников помех большой мощности. На рисунке 4 показан внешний вид разработанных многоканальных модулей в стандарте Евромеханика 3U, выполненных с использованием современной высокопроизводительной элементной базы – ПЛИС Xilinx Virtex XCV300E, XC2V250 и сигнальных процессоров типа ADSP 21062L.



а

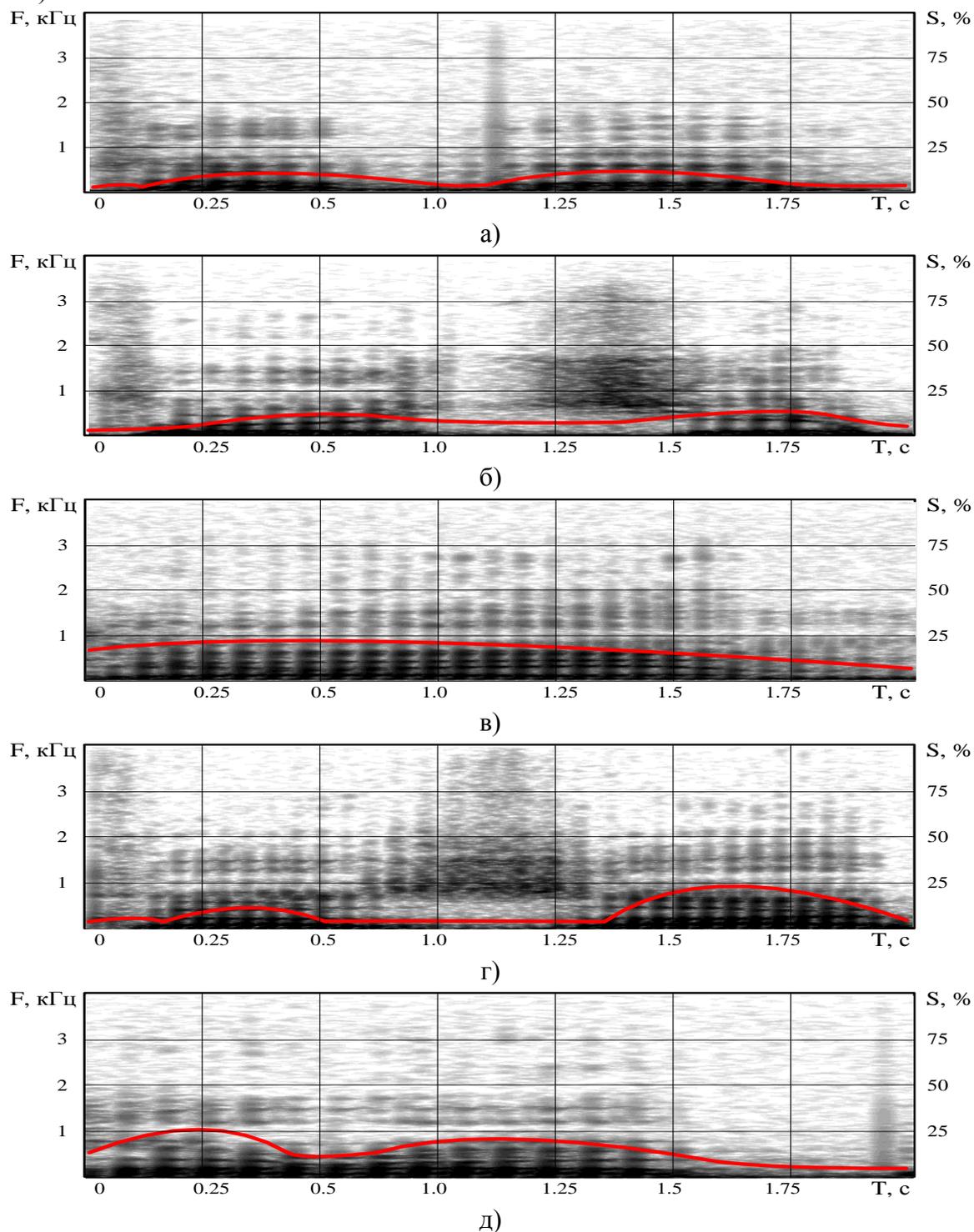
б

а – 8/16 канальный модуль формирования ДН, б – модуль цифровой обработки сигналов ФР

Рис. 4. Разработанные модули в стандарте Евромеханика 3U.

Разработанные модули предназначены для регистрации акустических сигналов и определения биопараметров человека в двух частотных диапазонах – инфразвуковом (0,01Гц – 25Гц) и звуковом (300Гц – 6кГц).

Биопараметры, используемые для определения значений характеристик (1-7) вычисляются на основе анализа сонограммы голоса оператора, либо ЧРС в реальном масштабе времени. Пример фрагментов сонограмм с отображением зарегистрированного уровня микротремора (S) голоса приведен на рисунке 5 (использованы реальные записи разговоров операторов в учебно-тренировочном зале АЭС).



а – уровень микротремора в голосе оператора 10% от возможного; б, в, г, д – уровень микротремора составляет соответственно 15%, 20%, 23% и 25%.

**Рис. 5.** Различные уровни эмоционального напряжения оператора

## ВЫВОДЫ

Таким образом, разработанные в НИЯУ МИФИ методические и программно-аппаратные средства на основе АТ дают возможность создавать широкий спектр современных интеллектуальных систем для регистрации биопараметров человека с целью мониторинга его текущего функционального и психоэмоционального состояния.

Представленные средства являются перспективными, так как позволяют осуществить неконтактную дистанционную регистрацию значимых биопараметров операторов управления ядерными объектами в пассивном режиме, не оказывая никакого воздействия на оператора. Возможно их применение в скрытом режиме. Использование созданных средств совместно с оптическими технологиями позволяет повысить надежность регистрации основных биопараметров операторов управления.

Разработанные средства являются инструментом для объективного решения проблемы психологической совместимости в коллективе.

Проведенные лабораторные и натурные испытания основных функциональных узлов акустической системы мониторинга подтвердили высокую надежность ее функционирования даже при высоком уровне акустических помех.

Разработанные средства позволяют повысить безопасность функционирования опасных объектов атомной отрасли за счет минимизации влияния, так называемого, «человеческого фактора».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубинский, А.Н. и др. К вопросу о параметризации результатов акустического зондирования тела человека при реализации контактно-разностного метода аудиоидентификации [Текст] / А.Н. Голубинский, С.В. Дворянкин // Спецтехника и связь. – 2011. – №2. – С. 38.
2. Лукьяница, А.А. и др. Автоматическое определение изменений эмоционального состояния по речевому сигналу [Текст] / А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин // Речевые технологии. – 2009. – №3. – С. 60.
3. Абросимов, В.Н. и др. Новые методы акустического анализа дыхательных звуков [Текст] / В.Н. Абросимов, В.Г. Подолян, С.И. Глотов // 13-й Национальный конгресс по болезням органов дыхания. – СПб., 2003. – С. 2.
4. Пат. 2451346 РФ МКИ G10L 15/00. Способ контактно-разностной акустической идентификации личности [Текст].
5. Отечественные и зарубежные полиграфы [Электронный ресурс] // Российская энциклопедия полиграфа: сетевой журн. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://www.psy-expert.com> – 25.06.2013.
6. Голосовой детектор лжи Ex-Sense-PRO-R [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Ареопаг-центр». – 2013. – Режим доступа: URL: <http://www.areopagcentr.ru> – 25.06.2013.
7. Алюшин, М.В. и др. Анализ работы голосового детектора стресса в акустических шумах [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина // Естественные и технические науки. – 2010. – №1. – С. 283.
8. Пат. 2369042 РФ МКИ H04R 3/00. Система и способ для формирования луча с использованием микрофонной решетки [Текст].
9. Грант, П.М. и др. Адаптивные фильтры [Текст] / П.М. Грант, К.Ф.Н. Коуэн. – М.: Мир, 1988. – 392 с.

## **Acoustic technologies for “intellectual” monitoring systems of atomic energetic objects’ operational control staff current functional state**

**M.V. Alyushin, V.M. Alyushin, S.V. Dvoriankin, L.V. Kolobashkina**

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

**Abstract** – The application perspectives of the sound and infra sound bands acoustic technologies for human being bio parameters distant registration in the passive mode are analyzed. The acoustic technologies under consideration are based on the usage of the multichannel phased acoustic receivers. Such receivers permit the multi directivity diagram synthesis for each person tracking capabilities realization. The presented acoustic technologies are intended for the contemporary systems for the distant staff functional state registration development. The main aim – is the improvement of the dangerous atomic objects secure functioning due to the minimization of the so-called “human factor” influence.

*Keywords:* acoustic technologies, functional state, current monitoring, phased acoustic receivers, noise reduction.

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

УДК 811: 621

**РОЛЬ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЛАДЕНИЯ ЯЗЫКОМ  
В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ ПРОИЗВОДСТВА**

© 2013 г. Л.А. Гунина, Л.В. Захарова, И.В. Зарочинцева

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

Поступила в редакцию 25.11.2013 г.

Статья посвящена роли компетенций владения языком в формировании культуры производства.

В статье рассматриваются общие и коммуникативные компетенции, помогающие развить умение общаться. Подробно рассматриваются составляющие экзистенциальной компетенции с точки зрения собственно языковых компетенций. Подчеркивается необходимость создания системы непрерывного обучения и постоянного совершенствования персонала. В статье рассматривается роль делового общения в технологическом процессе. Показана связь личной внутренней культуры, человека с культурой производства.

*Ключевые слова:* общие компетенции; коммуникативные компетенции; культура производства; культура безопасности, атомная электростанция, деловое общение; культура речевого поведения.

Культура производства – «комплексное понятие, включающее технико-организационную культуру предприятия, культуру труда и личную культуру работающих» [1]. Техничко-организационная культура предприятия, культура труда и личная культура работающих являются основными элементами, на которых базируется культура безопасности. Без личной культуры работающего персонала невозможно надежное обеспечение технологического процесса, нормальной работы техники.

Личная культура работающих определяется их общим культурным и профессиональным уровнем, компетентностью, отношением к выполняемой работе, манерами поведения. В ситуациях общения человек использует целый ряд компетенций, помогающих так или иначе развить у себя умение общаться. Это общие и коммуникативные компетенции. Общие компетенции включают декларативные знания, умения и навыки, экзистенциальную компетенцию, познавательные способности. Для выполнения коммуникативных задач используются общие способности специалиста в сочетании с собственно языковой компетенцией, которая включает в себя лингвистическую, социолингвистическую и прагматическую компетенции [2].

Коммуникативная компетентность входит в состав общей профессиональной компетентности специалиста-инженера, поскольку ему каждый день приходится соотносить языковые средства с конкретными сферами, ситуациями, условиями и задачами общения на производстве. Владение культурой речи, а именно умение четко и ясно выразить свои мысли, говорить грамотно, умение не только привлечь внимание своей речью, но и воздействовать на слушателей, – своеобразная характеристика профессиональной пригодности инженеров различных направлений.

В Общевропейских компетенциях владения языком (Страсбург, 2001) особое внимание уделяется экзистенциальной компетенции, поскольку коммуникативная

деятельность специалиста зависит не только от полученных знаний, умений и навыков, а так же от личностных факторов, которые определяются индивидуальностью человека, а индивидуальность человека, в свою очередь, «характеризуется его взглядами, мотивациями его поступков, ценностями, убеждениями, типом познавательной способности, типом личности» [1]. Рассмотрим подробно составляющие экзистенциальной компетенции с точки зрения собственно языковых компетенций:

1) Взгляды и отношения включают открытость для восприятия новых впечатлений, новых людей, идей, обществ, культур, и интерес к ним; готовность несколько изменить своё культурное восприятие и собственную систему ценностей; способность и готовность отойти от стереотипов в отношении культурных различий.

2) В состав мотивации входит обдуманность; язык как средство, язык как объединяющий фактор; потребность в общении.

3) Ценности, например, этические и нравственные.

Важнейшая роль отводится познавательным способностям и учебным умениям, таким как умение эффективно использовать возможности, возникающие в процессе обучения, внимательно воспринимать предоставляемую информацию; осознавать конечную цель поставленной задачи; эффективно работать парами в группах; использовать имеющиеся материалы для самостоятельной работы; использовать на практике изучаемый материал; знать свои сильные и слабые стороны; определять свои потребности и задачи [2].

На кафедре иностранных языков ВИТИ НИЯУ МИФИ процесс изучения дисциплины «русский язык и культура речи» направлен на формирование следующих компетенций (в соответствии с ФГОС ВПО): способность к письменной, устной и электронной коммуникации на государственном языке; свободное владение литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи, умение создавать и редактировать тексты профессионального назначения, анализировать логику рассуждений и высказываний; знание базовых ценностей мировой культуры и готовность опираться на них в своем личностном и общекультурном развитии; способность к личностному и профессиональному саморазвитию; способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; способность и готовность к практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики; готовность к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции; способность владеть культурой мышления, способность к кооперации с коллегами, работе в коллективе; способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.

Но для эффективного участия в коммуникации недостаточно просто овладеть определёнными компетенциями, необходимо уметь применять их на практике, а также уметь пользоваться адекватными стратегиями для их практического применения. В настоящее время студенты нашего вуза принимают активное участие в международных Интернет-олимпиадах, в том числе и по русскому языку, что является хорошим инструментом повышения качества образования, уровня интеллектуального развития студентов. Интернет-олимпиады дают студентам уникальную возможность проявить себя, раскрыть свой творческий потенциал, воспитывают волю, упорство, стремление к самообразованию, расширению кругозора. Но, к сожалению, русский язык и культура речи в учебных планах является дисциплиной по выбору и, по нашему мнению, ей уделяется недостаточное внимание.

Известно, что профессиональный и образовательный уровень персонала является составляющей культуры производства наряду с технологической и исполнительской дисциплиной, технологической подготовкой производства. Личная внутренняя культура человека напрямую влияет на культуру производства. Поэтому необходимо создание системы непрерывного обучения и постоянного совершенствования персонала.

Достаточно эффективным обучением считается самообразование с помощью книг, статей, и других источников информации и передача знаний от более опытных наставников менее квалифицированным внутри предприятия. Однако если есть возможность, лучше приглашать специалистов. Для этого на производстве существует система повышения квалификации персонала. С этой целью для факультета повышения квалификации кафедрой разработан курс по культуре речи и деловому общению. Каждый курс рассчитан на 72 часа. Основное внимание курсов направлено на проблемы культуры речевого поведения и делового общения.

Речь является средством человеческой коммуникации. «Человеку конкретный язык дан не от природы, он овладевает им в процессе коммуникации; генетически ему дана только языковая способность (competence), а не её реализация (performance)» [3]. Поэтому очень важна стилистически чистая среда.

Всем известно, что человек сосуществует одновременно в нескольких социальных группах, таких как семья, школа, институт, производственный коллектив, нация, государство и т.д. Всё это накладывает отпечаток на выполнение человеком своих функций на производстве. По мнению академика Д.С. Лихачева, «отношение к труду, технологическая дисциплина и дисциплина труда, трудолюбие и трудовые навыки, способности человека являются производными от культурных традиций общества, которое воспитывает своих граждан определённым образом, все выше перечисленные качества труда человека имеют большое значение для сохранения и укрепления конкретного общества. Порою от слаженности, последовательности выполнения своих функций, определённой группы людей и даже одного человека, предотвращаются и устраняются серьёзные аварии» [4].

Это особенно актуально для таких сложных и опасных предприятий, как АЭС, где культура производства, культура безопасности и общая культура должны рассматриваться в комплексе, нести ценностные установки, мотивационные формы, схемы реализации жизненно важных идей. Культура любой организации, принадлежащей к мировой ядерной индустрии, ориентирована на безопасность. Это отражает понимание человеком значительной разрушительной способности ядерной энергии в случае потери контроля над ней, и признание того факта, что если этот вид производства энергии должен быть поставлен на пользу человечеству, то необходимо строгое соблюдение безопасности. Для ядерной организации культура безопасности является доминирующим аспектом организационной культуры. Безопасность – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека. Комплексная система мер по защите человека и среды от опасностей формируется конкретной деятельностью.

Отсюда вытекают повышенные требования к технике, к труду, безопасности и обществу в целом. На наш взгляд, культура безопасности – это результат индивидуальных и групповых ценностей, занимаемых позиций, умений и моделей поведения. Для организации с положительной культурой безопасности характерно общение, основанное на взаимном доверии, понимании важности безопасности и уверенность в отношении эффективности предупредительных мер.

Овладение культурой общения, искусством слова, культурой устной и письменной речи необходимо для каждого человека независимо от того, каким видом

деятельности он занимается или будет заниматься.

Уметь общаться особенно важно для деловых людей, предпринимателей, менеджеров, руководителей – людей, занятых в сфере управления. Деловое общение занимает значительное место в жизни многих людей, так как постоянно приходится обсуждать вопросы, связанные с организацией производства, с жизнью трудового коллектива, выполнением должностных и служебных обязанностей, заключением различного рода сделок, договоров, принятием решений, оформлением документов и т.д.

Успех деятельности во многом определяется умелым деловым общением. По мнению профессора Л.А. Введенской, «деловое общение должно строиться на партнёрских началах, учитывать взаимные запросы и потребности его участников, исходить из интересов дела. Деловое общение, основанное на принципах сотрудничества и взаимопонимания, повышает деловую и творческую активность людей, является важным фактором технологического процесса производства» [5].

Невозможно переоценить роль делового общения. Навыки успешного делового общения и понимание особенностей личности собеседника, его интересов следует считать определяющим фактором в процессе ведения деловых встреч. Этика делового общения преобладает не только в деловых переговорах, но и в повседневной жизни, позволяя эффективно взаимодействовать с окружающими. Использование этикетных речевых оборотов помогает собеседникам установить контакт, наладить взаимопонимание, создать благоприятную психологическую обстановку, поддерживать общение в определённой тональности в соответствии с социальными ролями его участников.

Специалистам, работающим в сфере производства в настоящее время, невозможно избежать процесса делового общения, будь это собственный персонал фирмы или партнеры по бизнесу, и все это требует наработанных навыков и знаний в области культуры делового общения. Качества и навыки, позволяющие адекватно и правильно вести себя во время беседы, – одно из ключевых составляющих успеха делового человека. Умение продуктивно реализовывать процесс делового общения является одним из первых необходимых навыков для того, кто хочет добиться успеха в деловой и личной сфере.

Исходя из выше изложенного, вытекает необходимость рассматривать культуру производства в более широком понимании, учитывая взаимодействие человека, техники, общества, среды. Ведь, по мнению Д.С. Лихачева, «техника, которая сама является продуктом культуры, служит иногда в большей мере умерщвлению культуры, чем продлению ее жизни. Бульдозеры, экскаваторы, строительные краны, управляемые людьми бездумными, неосведомленными, уничтожают и то, что в земле еще не открыто, и то, что над землей, — уже служившее людям» [4].

Все выше сказанное позволяет сделать вывод, что в формировании культуры производства весьма значимую, а иногда, и решающую роль играют компетенции владения языком.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Душков, Б.А. и др. Энциклопедический словарь: психология труда, управления, инженерная психология и эргономика [Электронный ресурс] / Б.А. Душков, А.В. Королев, Б.А. Смирнов. – 2005. – Режим доступа: URL: <http://vocabulary.ru/dictionary/896/word/kultura-proizvodstva> – 25.11.2013.
2. Общеввропейские компетенции владения иностранным языком: изучение, обучение, оценка [Текст]. – Страсбург: Департамент по языковой политике, 2001. – 256 с.
3. Зарецкая, Е.Н. Риторика: теория и практика речевой коммуникации [Текст] / Е.Н. Зарецкая. – М., 2001. – 480 с.

4. Лихачев, Д.С. Экология культуры [Текст] / Д.С. Лихачев // Москва. – 1979. – №7. – С. 173–179.
5. Введенская, Л.А. и др. Культура и искусство речи. Современная риторика [Текст] / Л.А. Введенская, Л.Г. Павлова. – Ростов-н/Д., 1996. – 576 с.
6. Бердяев, Н.А. О назначении человека [Текст] / Н.А. Бердяев. – М., 1993. – 383 с.
7. Бердяев, Н.А. Философия творчества, культуры и искусства [Текст] / Н.А. Бердяев. – М., 1994.
8. Клизовский, А. И. Основы миропонимания Новой Эпохи [Текст] / А.И. Клизовский. – М., 2000. – 816 с.
9. Настольная книга преподавателя иностранного языка [Текст] . – Мн., 1999. – 522 с.

## **The role of language competence in production standards building**

**L.A. Gunina\*, L.V. Zakharova\*\*, I.V. Zarochintseva\*\*\***

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360  
\*e-mail:LAGunina@mephi.ru ; \*\* e-mail:zakharova11@mail.ru  
\*\*\*e-mail:IVZarochintseva@mephi.ru*

**Abstract** – The article is devoted to the role of language competence in production standards building.

The general and communicative competence helping to develop the ability to communicate are discussed in the article. The components of existential competence in terms of actual linguistic competences are described in details. The need for a system of continuous training and improvement of the staff is stressed. The article deals with the role of business communication in the technological process. The relationship of personal inner human culture with the culture of production is illustrated.

*Keywords:* general competence; communicative competence; production standards; security culture, nuclear power plant, business communication; culture of verbal behavior.

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

УДК [001.89:37]:621.311.25

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТАНОВКИ  
ФРАГМЕНТАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ПЕНАЛОВ**

© 2013 г. С.А. Томилин, А.И. Берела, А.Г. Федотов, О.Л. Приходько

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

Поступила в редакцию 13.12.2013 г.

В работе рассмотрен опыт совместного выполнения научно-исследовательской работы студентами, обучающимися по программам среднего и высшего профессионального образования, при проектировании установки фрагментации радиоактивных пеналов для их хранения в защитных контейнерах.

*Ключевые слова:* научно-исследовательская работа студентов, современные образовательные технологии, блок атомной станции, вывод из эксплуатации; проектирование, фрагментация радиоактивных пеналов.

В современных условиях интеллектуализации производственных технологий необходим приток молодых специалистов, компетентно готовых к данным требованиям. Подготовка таких специалистов в образовательных учреждениях на базе традиционных педагогических технологий, направленных, в основном, на преподнесение и усвоение готовых знаний, не может в полной мере сформировать выпускников необходимого уровня. Требуется совершенствование образовательных технологий в направлении улучшения формирования интеллектуальной культуры и развития творческих способностей обучающихся, основанных на концепции творческой деятельности студентов, их умении работать в команде, быть готовыми к реализации общекультурных и профессиональных компетенций в условиях реального производства.

В настоящее время условие компетентности преподавателя в своей предметной области является недостаточным для образовательного процесса, поскольку существуют альтернативные информационные источники и ресурсы, доступные обучающимся. Функции преподавателя теперь не сводятся к простому алгоритму «изложение материала – проверка знаний», он выступает в роли наставника, который мотивирует студентов к обучению и формирует его образовательную траекторию с учетом личностной особенности и специфики будущей профессиональной деятельности обучающихся, а также доступных информационных ресурсов [1].

В Волгодонском инженерно-техническом институте – филиале Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (ВИТИ НИЯУ МИФИ), осуществляющем подготовку выпускников преимущественно для атомной отрасли, уделяется особое внимание совершенствованию технологий обучения, обеспечивающих формирование общекультурной и профессиональной образованности, самостоятельность мышления, активность к стремлению и умению учиться и пополнять знания, творческий подхода к любому делу.

Одним из путей такого совершенствования является применение в

образовательном процессе интерактивных методов обучения [1–3], ориентированных на широкое взаимодействие студентов не только с преподавателем, но и друг с другом, на доминирование активности студентов в процессе обучения.

Также эффективной формой решения указанных выше задач является непрерывная система научно-исследовательской работы студентов (НИРС), позволяющая проявить индивидуальность, творческие способности, готовность к самореализации личности. Вместе с этим НИРС обеспечивает развитие способностей к самостоятельным обоснованным суждениям и выводам, формирует объективную самооценку, способствует приобретению навыков самостоятельной работы и работы в творческом коллективе.

Кроме того, НИРС должна обеспечивать формирование и развитие у будущих специалистов элементов методологии рационального и эффективного освоения и использования знаний и умений, способности адаптации к изменяющимся производственным условиям и требованиям к своей профессиональной деятельности. Владение современными методами и технологиями в области науки, техники, производства, выбора оптимальных решений, готовность и способность к постоянному самообразованию и самосовершенствованию – вот те черты, которые приобретаются студентами в ходе научно-исследовательской работы.

В настоящей работе изложен имеющийся на кафедре «Машиностроение и прикладная механика» ВИТИ НИЯУ МИФИ опыт реализации НИРС при решении одной из задач, возникших в практике подготовки блоков первой очереди Белоярской АЭС к выводу из эксплуатации.

Одним из научных направлений деятельности кафедры «Машиностроение и прикладная механика» ВИТИ НИЯУ МИФИ является разработка технологических процессов и средств технологического оснащения демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блоков атомных станций. Актуальность этого направления определена тем, что на этом заключительном этапе жизненного цикла блоков атомных станций предстоит выполнение масштабных по объему, сложных технологически и ответственных по требованиям радиационной безопасности работ по демонтажу оборудования, систем и металлоконструкций. Некоторые из возникающих при этом проблем прорабатывались с участием специалистов кафедры, материалы проработок частично представлены в работах [4–7].

В рамках рассматриваемого направления научной деятельности кафедры одной из задач, которую решают ее сотрудники, является проблема обращения с пеналами временного нештатного хранения облученного графита на первой очереди Белоярской АЭС. Пеналы были загружены высокоактивными графитовыми блоками и их фрагментами, извлеченными из реактора АМБ-200 блока №2 при ремонте кладки в 1984 и 1986 гг.

Конструктивно пеналы выполнены из углеродистой стали в двух вариантах: с круглым поперечным сечением диаметром 325 мм, толщиной стенки 8 мм, высотой 14000 мм (6 шт.) и с квадратным сечением 240×240 мм при толщине стенки 2 мм и высотой 13500 мм (10 шт.).

В ходе работ по подготовке к выводу из эксплуатации блоков первой очереди Белоярской АЭС предусматривается размещение графита из пеналов в защитные контейнеры для длительного хранения в стационарном хранилище сухих радиоактивных отходов. Непосредственная выгрузка графита из пеналов затруднена по ряду причин:

- нетехнологичной формой пеналов из-за большого соотношения высота-поперечное сечение;
- плохого физического состояния тонкостенных пеналов квадратного сечения;
- трудности обеспечения радиационной безопасности операций;

– необходимости разработки сложного и габаритного технологического оборудования и оснастки.

По результатам анализа сложившейся ситуации с пенами облученного графита ОАО «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежала» (ОАО «НИКИЭТ») представил технические предложения по разрезке пеналов и раздельному контейнерованию образующихся металлических и графитовых фрагментов. При этом рассматривались и прорабатывались альтернативы установки фрагментации и контейнерования, размещаемой в центральном зале блока №1: с горизонтальной компоновкой, с вертикальной компоновкой при подвеске пенала мостовым краном центрального зала и с вертикальной компоновкой при размещении пенала в технологической шахте. Выполнение работ на установке предусматривалось в дистанционном режиме управления.

Вертикальные компоновки в варианте действующих макетов разрабатывались с участием некоторых авторов настоящей работы. В ходе работ были выполнены проекты макетов и конструкторская документация, необходимая для изготовления этих макетов и проведения макетных испытаний.

Для макетных испытаний операций фрагментации пеналов в состоянии подвески были выбраны и опытным путем обоснованы способы резки пеналов квадратного сечения – термический плазмотроном современной модификации («Мультиплаз 2500М») и механический – угловой абразивно-отрезной портативной машинкой с режущим кругом диаметром 125 мм. Для испытаний резки пеналов круглого сечения использованы также термический способ – плазменная резка плазмотроном «Мультиплаз – 2500М» и абразивная резка более мощной угловой абразивно-отрезной машинкой с режущим кругом диаметром 250 мм.

Для фрагментации пеналов плазмотроном и абразивной машинкой было необходимо разработать конструкцию режущего суппорта, обеспечивающего траекторию движения резки, эквидистантную профилю поперечного сечения разрезаемых пеналов, т.е. профилю квадрата и круга. Конструкторские решения должны были учитывать, кроме того, необходимость отвода инструмента из рабочей зоны для его обслуживания и замены. Эта задача в необходимой степени была решена с участием авторов настоящей работы. Однако она оказалась настолько интересной и многогранной, что оказалось целесообразным предложить ее в качестве темы НИРС.

Поставленная задача требовала оригинальных решений, которые мог предложить коллектив разработчиков, не обремененных стереотипными взглядами в области конструирования. Поэтому в рамках НИРС был создан конструкторский коллектив из студентов ВИТИ НИЯУ МИФИ, обучающихся по программам высшего и среднего профессионального образования, которые намеренно не были ознакомлены с существовавшими ранее техническими решениями такого рода задач.

Первоначально каждому студенту было предложено разработать кинематическую схему механизма, представить ее на обсуждение и защитить в коллективе исполнителей. На основании результатов анализа коллективом предложенных схем был выбран наиболее целесообразный вариант, взятый за основу для дальнейшей проработки. При этом неременным условием являлось, что все исполнители теперь начинают работать над выбранной схемой.

Учитывая разный уровень подготовки студентов, обучающихся по программам высшего и среднего профессионального образования, им были поручены разные этапы разработки. Студенты вуза занимались, прежде всего, вопросами общей компоновки, а техникума – разработкой рабочей документации по предложенным конструкторским решениям, нормоконтроль которой проводили студенты вуза. Тем самым было реализовано практически полное погружение задействованных студентов в атмосферу

реального производства с высокой степенью ответственности за принимаемые конструкторские решения, сформировано умение работать в коллективе, предприняты шаги, направленные на развитие способностей к самостоятельным обоснованным суждениям и выводам, формированию объективной самооценки, приобретению навыков самостоятельной работы.

Важно отметить роль преподавателей кафедры в обучении студентов техникума решению реальных задач такого уровня сложности. Традиционно уровень техника не предполагает принятия самостоятельных решений в процессе своей производственной деятельности, на что ориентирован и процесс среднего профессионального обучения. Вместе с этим задействие в процессе их обучения специалистов высшей школы способствует развитию дополнительных компетенций, обеспечивающих повышение уровня их профессионализма.

Результаты этой работы студентов техникума под руководством авторов настоящей статьи были представлены в 2013 году на Всероссийском конкурсе работ научно-технического творчества студентов учреждений среднего профессионального образования.

Таким образом, совмещение традиционных форм обучения с выполнением НИРС предоставляет возможность повышения эффективности образовательного процесса, формирования у обучающихся творческой активности, инициирования профессионально-познавательных интересов, выработки умения самостоятельно решать в будущем возникающие перед молодым специалистом задачи.

Внедрение в процесс обучения НИРС обеспечивает активизацию познавательной деятельности студентов, более глубокое понимание основ конструирования и технологий, формирование осознанной необходимости постоянного повышения своей профессиональной компетентности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Томилин, С.А. и др.* Реализация интерактивных форм обучения при проведении лабораторных занятий по фундаментальным техническим дисциплинам [Текст] / С.А. Томилин, Ю.А. Евдошкина, Р.В. Пирожков // В мире научных открытий – 2013. – №11.1(47). – С. 110–127.
2. *Пинчук, Э.В. и др.* Технология реализации инновационных педагогических методов при изучении теоретической механики [Текст] / Э.В. Пинчук, Ю.А. Евдошкина, С.А. Томилин // В мире научных открытий – 2013. – № 7(43). – С. 187–199.
3. *Томилин, С.А. и др.* Активизация учебно-познавательной деятельности студентов на практических занятиях по теоретической механике [Текст] / С.А. Томилин, Ю.А. Евдошкина, Э.В. Пинчук, С.Ф. Годунов // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 8–9. – С. 4–7.
4. *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.
5. *Берела, А.И. и др.* Вывод из эксплуатации блоков АЭС. Демонтажные технологии / 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].
6. Разработка технологических процессов демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации атомных станций [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона: электрон. науч. журн. – 2013. – №2. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru> – 10.12.2013.
7. *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.

## **Students' Scientific Research Work in the Projecting of the Installation of Radioactive Cases Fragmentation**

**S.A. Tomilin\***, **A.I. Berela\*\***, **A.G. Fedotov\*\*\***, **O.L. Prihodko\*\*\*\***

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

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

*\*\*\* e-mail: AGFedotov@mephi.ru ; \*\*\*\* e-mail: VITIkafMPM@mephi.ru*

**Abstract** – This article describes the students' experience of the jointly carried out scientific research work in the installation projecting of the radioactive cases fragmentation for their storage in the safety containers. The students are trained according to the Secondary and Higher Professional Education

*Keywords:* students' scientific research work, modern educational technologies, nuclear power plant block, exploitation output, projecting, radioactive cases fragmentation.

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

УДК 316:378

**ЦЕННОСТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ**

© 2013 г. В.А. Руденко, Н.П. Василенко

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

Поступила в редакцию 12.12.2013 г.

В статье представлены результаты исследования авторов по оценке ценностной составляющей культуры безопасности.

*Ключевые слова:* культура безопасности, ценности, ценностные ориентации, профессиональный отбор, атомная отрасль, подготовка кадров.

Подготовка кадров для атомного энергопромышленного комплекса России и за рубежом в настоящее время выдвигается на первый план, что требует ежегодный до 2020 года ввод в эксплуатацию двух энергоблоков атомных электростанций. Особая роль при этом уделяется обеспечению безопасности атомных станций на этапах проектирования, строительства, монтажа и ввода в эксплуатацию. Поддержание необходимого уровня безопасности при эксплуатации атомных объектов осуществляется посредством целого комплекса мероприятий, среди которых одно из ведущих мест занимает подготовка квалифицированного персонала, обладающего необходимыми знаниями в области безопасности и имеющего навыки культуры безопасности.

При подготовке специалистов для атомной отрасли особую актуальность приобретает понятие «культура безопасности». При этом культура безопасности рассматривается, через сформированные в организации нормы поведения, ценности и представления, осуществляет регулирующую функцию в обеспечении требований безопасности при выполнении процессов, связанных с рисками: определение целей и приоритетов, распределение ресурсов, выбор и контроль решений, действий, достигнутых результатов. Поэтому, как отмечает Машин А.В., одной из наиболее важных характеристик в отборе персонала на должность в атомной энергетике, является оценка системы отношений, (аттитюдов), диагностика личностных особенностей, которые могут положительно либо негативно влиять на эффективность и надежность деятельности (*ценности, мотивация, особенности поведения, свойства характера...*) [1].

По его мнению, «вопросы формирования культуры безопасности должны решаться, через развитие и совершенствование таких процессов, видов деятельности, принципов и методов, с помощью которых организация может оптимально управлять рисками, формировать правильное понимание целей и приоритетов в области безопасности, поощряя нужные нормы поведения и создавая условия для *формирования ценностей и представлений, отвечающих требованиям безопасности*» [2].

Все это подчеркивает значимость ценностей и ценностных ориентаций личности работника АЭС и обусловлено тем, что ценностные ориентации – важнейшая составляющая структуры личности, включающая мотивационный, отношенческий,

когнитивный, эмоциональный и оценочный компоненты. Они представляют собой наиболее гибкую, предполагающую свободный выбор, а, следовательно, всесторонний учёт индивидуальных интересов и потребностей человека, связь между личностью и обществом, его институтами, культурой, ценностями.

В более общих определениях понятию «ценность» может придаваться несколько значений, в зависимости от рассматриваемого аспекта:

1) ценность – как общественный идеал, выработанное общественным сознанием, содержащееся в нем абстрактное представление об атрибутах должного в различных сферах общественной жизни. Это общечеловеческие и конкретно-исторические ценности;

2) ценности, предстающие в объективированной форме в виде произведений материальной и духовной культуры либо человеческих поступков;

3) социальные ценности, преломляясь через призму индивидуальной жизнедеятельности, входят в психологическую структуру личности в форме личностных ценностей.

Роль ценностных ориентаций состоит в том, что они сообщают направленность профессиональной деятельности, придают ей ценности, содержащие смысл, позволяют занять определенную позицию, регулируют поведение, формируют способы самоактуализации.

Для изучения системы ценностных ориентаций студентов, ориентированных на работу в атомной отрасли, нами была взята методика «Ценностные ориентации» М. Рокича, наиболее распространенная в настоящее время, основанная на прямом ранжировании списка ценностей. М. Рокич различает два класса ценностей: терминальные – убеждения в том, что конечная цель индивидуального существования стоит того, чтобы к ней стремиться и инструментальные – убеждения в том, что какой-то образ действий или свойство личности является предпочтительным в любой ситуации. Это деление соответствует традиционному делению на ценности-цели и ценности-средства [3].

Очевидно, что особое значение для отбора на должность для работы на АЭС имеют инструментальные ценности: аккуратность (чистоплотность, умение содержать в порядке вещи, порядок в делах); воспитанность (хорошие манеры); высокие запросы (высокие требования к жизни и высокие притязания); жизнерадостность (чувство юмора); исполнительность (дисциплинированность); независимость (способность действовать самостоятельно, решительно); непримиримость к недостаткам в себе и других; образованность (широта знаний, высокая общая культура); ответственность (чувство долга, умение держать своё слово); рационализм (умение здраво и логично мыслить, принимать обдуманные, рациональные решения); самоконтроль (сдержанность, самодисциплина); смелость в отстаиваниях своего мнения, взглядов; твёрдая воля (умение настоять на своём, не отступать перед трудностями); терпимость (к взглядам и мнениям других, умение прощать другим ошибки и заблуждения); широта взглядов (умение понять чужую точку зрения, уважать иные вкусы, обычаи, привычки); честность (правдивость, искренность); эффективность в делах (трудолюбие, продуктивность в работе); чуткость (заботливость).

Наиболее значимыми инструментальными ценностями для студентов оказались: образованность (широта знаний, высокая общая культура); воспитанность (хорошие манеры), ответственность (чувство долга, умение держать своё слово), честность (правдивость, искренность) (см. рис.1).

Незначительными инструментальными ценностями для опрошенных студентов оказались: высокие запросы (высокие требования к жизни и высокие притязания), чуткость, непримиримость к недостаткам в себе и других, эффективность в делах

(трудолюбие, продуктивность в работе).

Ценности конкретной личности формируются под влиянием социальной среды, особенностей тех социальных групп, в которые она входит. Индивидуальные ценности являются важнейшим компонентом структуры личности, они выполняют функции регуляторов поведения и проявляются во всех областях человеческой деятельности. Особенно это актуально для студентов, ориентированных на работу в атомной отрасли.

Культура безопасности предполагает высокую квалификационную и психологическую подготовленность специалистов атомной отрасли. В другом анкетировании мы предложили студентам выбрать наиболее важные принципы и ценности, которые присущи приверженцу культуры безопасности. В представлении студентов (см. рис.2), работник атомной станции должен быть наделен следующими качествами: «ответственность» (35,9%); «бдительность» (24,3%); «профессионализм» (24,5%); «следование установленным правилам и процедурам» (22,5%); «умение работать в команде» (6,6%); «уверенность в себе» (6%) [3].

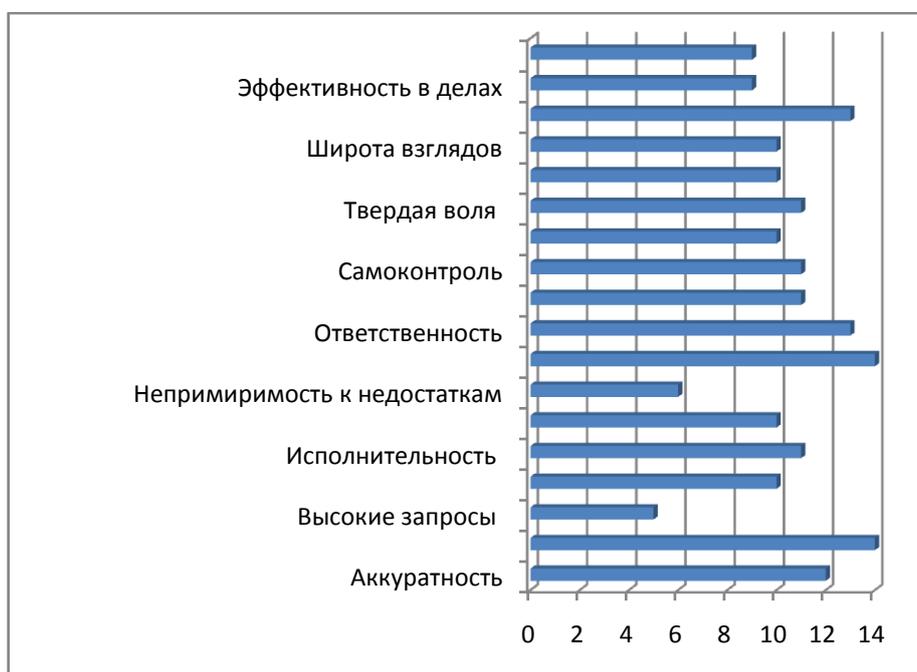


Рис. 1. Ранжирование по значимости инструментальных ценностей студентами

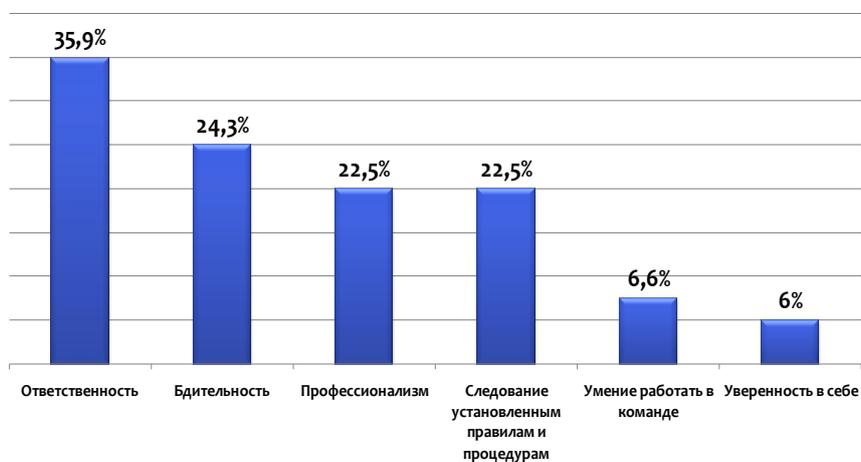


Рис. 2. Наиболее важные принципы и моральные ценности, которые соответствуют приверженцу культуры безопасности в атомной отрасли

Однако следует учитывать, что «если же принятию персоналом ценностей не предшествует приобретение определенного опыта, осознание эффективности новых методов решения задач, реальная заинтересованность в их усвоении, они могут отражать только "провозглашаемые ценности" (С. Argyris и D.A. Schon), которые достаточно точно определяют, что люди будут говорить в целом ряде ситуаций (анкетирование, интервьюирование), но которые не будут соответствовать тому, что они реально делают» [2].

Но уже в вузе, в процессе обучения, необходимо «формировать правильное понимание целей и приоритетов в области безопасности, поощряя нужные нормы поведения и создавая условия для формирования ценностей и представлений, отвечающих требованиям безопасности» [1].

При рассмотрении моделей компетенции профдеятельности персонала АЭС в области приверженности культуре безопасности, в рамках создания модели компетенции персонала ФГУП концерна «Росэнергоатом» (в первую очередь, персонала атомных станций) в сфере культуры безопасности, авторы определяют компетенцию как «комплекс системы ценностей и мотивации, профессионально важных личностных качеств, знаний, умений и навыков работника; это качество работника, которое проявляется в его поведении и позволяет ему с необходимым уровнем успешности решать профессиональные задачи». Ценности, мотивы и установки, Я-концепция и иные профессионально важные личностные качества, психофизиологические особенности, знания, умения и навыки и составляют основу компетенции [4].

В соответствии с чем, нами были выделены направления формирования культуры безопасности: изменение установок, мнений и ценностей студентов и изменение организационной структуры и баланса целей, методов организации образовательного процесса в вузе и основными практическими методами формирования приверженности культуре безопасности у студентов вуза должны стать методы организации и проведения занятий с необходимой постановкой вопросов, организацией соответствующих потоков информации, способствующие развитию культуры безопасности на индивидуальном уровне независимо от их содержания; активные методы проведения занятий, тренинги, отрабатывающие необходимые действия и формы должного, ответственного поведения студентов, демонстрирующие их приверженность к культуре безопасности [5-7].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что ценностная составляющая в культуре безопасности имеет особое значение, так как:

- само понятие культура безопасности рассматривается, через сформированные в организации нормы поведения, ценности и представления, осуществляет регулирующую функцию в обеспечении требований безопасности при выполнении процессов, связанных с рисками;
- ценности работника являются одной из наиболее важных характеристик в отборе персонала на должность в энергетике, которые могут положительно либо негативно влиять на эффективность и надежность деятельности персонала АЭС;
- вопросы формирования культуры безопасности должны решаться поощряя нужные нормы поведения и создавая условия для *формирования ценностей и представлений, отвечающих требованиям безопасности*;
- в вузе, в процессе формирования культуры безопасности, необходимо «формировать правильное понимание целей и приоритетов в области безопасности, поощряя нужные нормы поведения и создавая условия для формирования ценностей и представлений, отвечающих требованиям безопасности»;
- при рассмотрении моделей компетенции профдеятельности персонала АЭС

области приверженности культуре безопасности, компетенция определяется как «комплекс *системы ценностей и мотивации*, профессионально важных личностных качеств, знаний, умений и навыков работника».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Машин, В.А.* Система психологического обеспечения для предприятий атомной энергетики [Электронный ресурс] / А.В. Машин. – [Б.м.], 2010. – Режим доступа: URL: <http://mashinva.narod.ru/arch/PSY18.pdf> – 10.12.2013.
2. *Машин, В.А.* Система управления безопасностью как инструмент формирования и развития КБ [Электронный ресурс] / В.А. Машин // Материалы Междунар. летней школы «Культура безопасности: Практические методы управления» 1-5 июля 2013 г. – СПб. [Б.и.], 2013. – Режим доступа: URL: <http://mashinva.narod.ru/arch/PSY37.pdf> – 10.12.2013.
3. Тест Рокича «Ценностные ориентации» [Электронный ресурс] // А.-Я. Психология: тесты, тренинги, словарь, статьи : сетевой журн. – 2013. – Режим доступа: URL: [http://azps.ru/tests/tests\\_rokich.html](http://azps.ru/tests/tests_rokich.html) – 10.12.2013.
4. «Человеческий фактор»: критерии оценки профдеятельности в культуре безопасности [Электронный ресурс] // Агентство ПроАтом: сетевой журн. – 2013. – Режим доступа: URL: <http://www.proatom.ru> – 10.12.2013.
5. *Руденко, В.А.* Образование и духовность в современном российском обществе: факторы и вектор диспозиции в процессе системных реформ : дис. докт. соц. наук [Текст] В.А. Руденко. – Ростов-на-Дону, 2007.
6. *Руденко, В.А. и др.* Социокультурные ориентиры современной молодежи по вопросам культуры безопасности в атомной отрасли [Текст] / В.А. Руденко, Ю.А. Евдошкина // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – Спецвыпуск (3). – С. 93–96.
7. *Руденко, В.А. и др.* Практические методы формирования приверженности культуре безопасности на индивидуальном уровне у студентов вуза [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №1(6). – С. 100–103.

### Value Component of Safety Culture

**V.A.Roudenko\*, N.P.Vasilenko\*\***

*Volgodonsk Engineering Technical Institute*

*the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,*

*73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

*\* e-mail: VARudenko@mephi.ru ; \*\* e-mail: NPVasilenko@mephi.ru*

**Abstract** – The article is devoted to the results of the authors' research of estimation of value component of safety culture.

**Keywords:** safety culture, values, value orientation, professional selection, nuclear industry, staff preparation.

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА**

Алюшин В.М.	63	Казьмин Д.Н.	53
Алюшин М.В.	63	Колобашкина Л.В.	63
Бекетов В.Г.	58	Мякушко В.В.	14, 23
Берела А.И.	77	Пугачева О.Ю.	46
Бродягина Н.А.	23	Приходько О.Л.	77
Василенко Н.П.	82	Руденко В.А.	58, 82
Власевский Р.М.	29	Сидоров К.С.	40
Горская О.И.	19	Сиротина В.И.	46
Гунина Л.А.	72	Томилин С.А.	58, 77
Дворянкин С.В.	63	Ульянова Ю.Е.	46
Жабунина О.Ю.	5	Федотов А.Г.	58, 77
Закутнева Л.Н.	14	Шапошников В.В.	40
Зарочинцева И.В.	72	Шеронова Е.К.	19
Захарова Л.В.	72	Якубенко И.А.	35, 53
Зуев Ю.С.	5, 29		

**AUTHOR INDEX OF VOL. 4, 2013**

Alyushin M.V.	63	Pugacheva O.Y.	46
Alyushin V.M.	63	Prihodko O.L.	77
Vasilenko N.P.	82	Roudenko V.A.	58, 82
Bekhetov V.G.	58	Shaposhnikov V.V.	40
Berela A.I.	77	Sheronova E.K.	19
Brodyagina N.A.	23	Sidorov K.S.	40
Dvoriankin S.V.	63	Sirotnina V.I.	46
Fedotov A.G.	58, 77	Tomilin S.A.	58, 77
Gorskaya O.I.	19	Ulyanova J.E.	46
Gunina L.A.	72	Vlasevskiy R.M.	29
Fedotov A.G.		Zakharova L.V.	72
Jakubenko I.A.	35, 53	Zakutneva L.N.	14
Kazmin D.N.	53	Zarochintseva I.V.	72
Kolobashkina L.V.	63	Zhabynina O.Y.	5
Myakushko V.V.	14, 23	Zyev Y.S.	5, 29

## 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://военноеправо.ru/node/2149> – 19.02.2011.

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

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

Тел.: 8(8639)222717.

## **ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**№ 4(9) 2013**

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

Сдано в набор 18.12.2013 г.

Компьютерная вёрстка Вишнёва М.М.

Корректор Вишнёва М.М. ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ

Подписано к печати 25.12.2013 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м<sup>2</sup>. Объем 9.90 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ