

ISSN 2305-414X

# ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Выпуск посвящен 70-летию НИЯУ МИФИ**



**Научно-практический журнал**

**№ 4 (5) 2012 декабрь**

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

## ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 4(5) 2012 ДЕКАБРЬ

Основан в ноябре 2011 г.

Выходит 4 раза в год

Индекс по Каталогу российской прессы «Почта России» – 47155

ISSN 2305-414X

### Главный редактор:

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

### Редакционный совет:

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

### Редакционная коллегия:

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

### Учредитель:

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

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

Адрес типографии: 347360, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94.

Москва  
ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

Номер 4, 2012

---

---

### ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Радиационный контроль района размещения Ростовской АЭС <i>Т.Ю. Малаева</i> .....	7
Экотоксичность вод Цимлянского водохранилища в период цветения сине-зеленых микроводорослей <i>Е.Н. Бакаева, Н.А. Игнатова</i> .....	14
Исследование динамики канцерогенных факторов окружающей среды города Волгодонска <i>М.Н. Медведева, И.А. Бубликова, М.Г. Баклыкова</i> .....	20
О волновых макроэффектах и модели надёжности <i>В.Ф. Савельев, Н.В. Корнетова, А.С. Донцова</i> .....	25
О представительности образцов-свидетелей <i>Е.И. Колоколов</i> .....	29
Применение метода Монте-Карло в задачах оценки последствий радиационных аварий <i>М.В. Жилина</i> .....	37

---

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

Получение структуры стали 110Г13 методом электроконтактного уплотнения. <i>Р.В. Пирожков, Т.А. Литвинова, С.А. Томилин</i> .....	49
Экспериментальное определение ограничений для модели процесса РДС в мультимедийном тренажере <i>В.А. Толстов, Л.О. Ишигова, А.В. Черкалина, В.Г. Цуверкалов</i> .....	54
Инновационные проектные решения в атомном машиностроении <i>П.Д. Кравченко</i> .....	60

---

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС

К вопросу о деградации защитных оболочек АЭС <i>В.Н. Медведев, Александр С. Киселев, Алексей С. Киселев, В.Ф. Стрижов,</i>	
---	--

<i>А.Н. Ульянов</i> .....	66
Модернизация концевых уплотнений ЦНД турбины К-1000-60/1500-2 <i>В.П. Пасько, В.Г. Бекетов</i> .....	74
Система контроля за тепловыми перемещениями трубопроводов <i>И.Н. Веселова, В.Д. Козырев</i> .....	82

---

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

Культура безопасности в контексте общечеловеческой культуры <i>В.А. Руденко, Ю.А. Евдошкина</i> .....	88
Социальное самочувствие студентов специальности «Атомные электрические станции» ВИТИ НИЯУ МИФИ <i>Н.И. Лобковская</i> .....	92
Психопедagogические основы подготовки высококвалифицированных сварщиков ручной дуговой сварки <i>Б.П. Грузинцев, А.В. Сас</i> .....	98

---

Авторский указатель номера 4, 2012.....	102
---	-----

---

---

## CONTENTS

---

Number 4, 2012

---

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

Radiation control of Rostov NPP region <i>T.Yu. Malaeva</i> .....	7
Water ecotoxicity of Tsimlyansk reservoir during the flowering of blue-green algae <i>E.N. Bakaeva, N.A. Ignatova</i> .....	14
Research of carcinogens dynamics of environment in Volgodonsk <i>M.N. Medvedeva, I.A. Bublikova, M.G. Baklykova</i> .....	20
About wave macroeffects and reliability model <i>V.F. Savelyev, N.V. Kornetova, A.S. Dontsova</i> .....	25
About representativeness of reference specimens <i>E.I. Kolokolov</i> .....	29
Application of Monte-Carlo method in estimation of radiation accidents effects <i>M.V. Zhilina</i> .....	37

---

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

Formation of steel structure 110G13 with the help of the electric resistance compression method <i>R.V. Pirozhkov, T.A. Litvinova, S.A. Tomilin</i> .....	49
Experimental estimation of the limitations for the model of manual arc welding in multimedia simulator <i>V.A. Tolstov, L.O. Ishigova, A.V. Cherkalina, V.G. Tsuverkalov</i> .....	54
Innovation projects in power engineering <i>P.D. Kravchenko</i> .....	60

---

### NPP EXPLOITATION

About the degradation of NPP containments <i>V.N. Medvedev, Alexander S. Kiselev, Alexey S. Kiselev, V.F. Strizhov, A.N. Ulyanov</i> .....	66
---	----

Modernization of end-compactings of turbine LPC (low pressure cylinder) K-1000-60/1500-2 <i>V. P. Pasko, V.G. Bekhetov</i> .....	74
Control system of piping thermal deformations <i>I.N. Veselova, V.D. Kozyrev</i> .....	82

---

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

Safety culture in the context of human culture <i>V.A. Roudenko, J.A. Evdoshkina</i> .....	88
Social health of students of “Nuclear power plants” specialty VETI NRNU “MEPhI” <i>N.I. Lobkovskaya</i> .....	92
Psycho-pedagogical principles of training of qualified manual arc welding operators <i>B.P. Gruzintsev, A.V. Sas</i> .....	98

---

Author Index of vol. 4, 2012.....	102
-----------------------------------	-----

---

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.311.25

### РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС

© 2012 г. Т.Ю. Малаева

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

Поступила в редакцию 12.09.2012 г.

Представлены результаты контроля радиационной обстановки на территории размещения Ростовской АЭС с 2007 по 2011 годы, полученные участком радиационного контроля окружающей среды Ростовской АЭС, в сопоставлении с допустимыми значениями. Сравнение результатов контроля с соответствующими значениями «нулевого фона» позволили сделать основной вывод о том, что состояние объектов окружающей среды в районе размещения Ростовской АЭС не изменилось и находится на уровне допускового периода.

*Ключевые слова:* Ростовская АЭС, радиационный мониторинг, радионуклиды, отбор проб, объемная активность, удельная активность, зона наблюдения, точки отбора проб, Cs-137.

Район расположения Ростовской АЭС с точки зрения наличия природных и техногенных радионуклидов относится к категории «чистых». Степной район, отсутствие скальных пород, отсутствие выходов подземных вод с повышенным содержанием радионуклидов, удаленность от Чернобыльской АЭС – все эти факторы определяют небольшое содержание радионуклидов в объектах окружающей среды в этом регионе.

В процессе радиационного мониторинга только в 2011 году отобраны и проанализированы около 1900 технологических проб и проб объектов внешней среды: фильтры выбросов из вентиляционных труб энергоблоков №1, №2 и спецкорпуса; фильтры аспирационных установок, пробы атмосферных выпадений, воды сбросного канала, водоема-охладителя, воды с очистных сооружений, Цимлянского водохранилища, грунтовые воды, вода водопроводов г. Волгодонска и населенных пунктов зоны наблюдения, почва из санитарно-защитной зоны (далее СЗЗ) и зоны наблюдения (далее ЗН), растительность, донные отложения водоема-охладителя и Цимлянского водохранилища, продукты питания местного производства, зерно, корнеплоды, плодоовощная продукция, рыба из водоема-охладителя и Цимлянского водохранилища.

За период наблюдений 2007–2010 г. уровень содержания радионуклидов в приземном слое воздуха, в районе размещения Ростовской АЭС, находился ниже минимально детектируемой активности. Влияния газоаerosольных выбросов Ростовской АЭС на объемную активность радионуклидов в приземном слое атмосферного воздуха и в атмосферных выпадениях не выявлено.

В 2011 г. в приземном слое воздуха в районе расположения Ростовской АЭС выявлены Cs-137 и Cs-134, источником которых являются аварийные выбросы с АЭС «Фукусима-1».

Указанные выводы сделаны специалистами ОАО «ВНИИАЭС» по результатам анализа данных радиационного мониторинга приземного слоя воздуха в районе расположения атомных станций России, которые в полном объеме приведены в Аналитической справке по радиоактивному загрязнению приземного слоя воздуха в районах расположения российских АЭС в результате аварии на АЭС «Фукусима-1».

Авария на АЭС «Фукусима-1» в марте 2011 г. сопровождалась крупным выбросом радионуклидов в окружающую среду. В результате атмосферного переноса радионуклиды распространились на тысячи километров от аварийной АЭС, что подтверждено данными измерений активности в приземном слое воздуха в пунктах мониторинга в США, Европе и России. По данным регламентного радиационного контроля, выполненного отделами радиационной безопасности (далее ОРБ) Российских АЭС, в марте-апреле 2011г. в приземном слое атмосферного воздуха в районах расположения АЭС идентифицированы  $Cs-137$  ( $T_{1/2} = 30$  лет) и  $Cs-134$  ( $T_{1/2} = 2,06$  лет) с максимальной объемной активностью на два-три порядка выше обычно регистрируемых значений.

Специалистами ВНИИАЭС был выполнен анализ результатов регламентного контроля Российских АЭС и сделаны выводы:

1. Радиоактивное загрязнение приземного слоя атмосферы в районах расположения АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом» в марте-апреле 2011 г. обусловлено радиационной аварией на АЭС «Фукусима-1».

2. Установлено удовлетворительное согласие между оценками соотношений активностей  $Cs-137$  и  $Cs-134$  в приземном слое атмосферного воздуха в районах расположения Российских АЭС, полученных по результатам служб радиационного контроля (далее РК), и соответствующими оценками соотношений активностей радионуклидов в выбросах АЭС «Фукусима-1», выполненными различными организациями (Япония, Австрия, Франция, США).

3. Дополнительные дозовые нагрузки на население в районах размещения Российских АЭС от аварии на АЭС «Фукусима-1» в тысячи раз меньше предела дозы на население, установленного в НРБ-99/2009 (1 мЗв в год), т.е. пренебрежимо малы.

4. Подтверждена готовность систем РК на Российских АЭС к обнаружению техногенных радионуклидов в воздухе с содержанием на шесть-семь порядков величины ниже соответствующих значений допустимой объемной активности ( $DOA_{нас}$ ), установленных в НРБ-99/2009, а также к идентификации источника их поступления в атмосферу.

На рис. 1 отражен характер изменения среднегодовой объемной активности Цезия-137 в приземном слое воздуха СЗЗ, ЗН и контрольного пункта в с. Дубовское в период с 2007 по 2011 г.

На рис. 1 представлены результаты контроля плотности атмосферных выпадений Цезия-137 в СЗЗ, ЗН и контрольном пункте с. Дубовское за тот же период с 2007 по 2011 г.

За указанный период содержание Цезия-137 в атмосферных выпадениях в районе размещения Ростовской АЭС находилось ниже минимально детектируемой активности используемой аппаратуры.

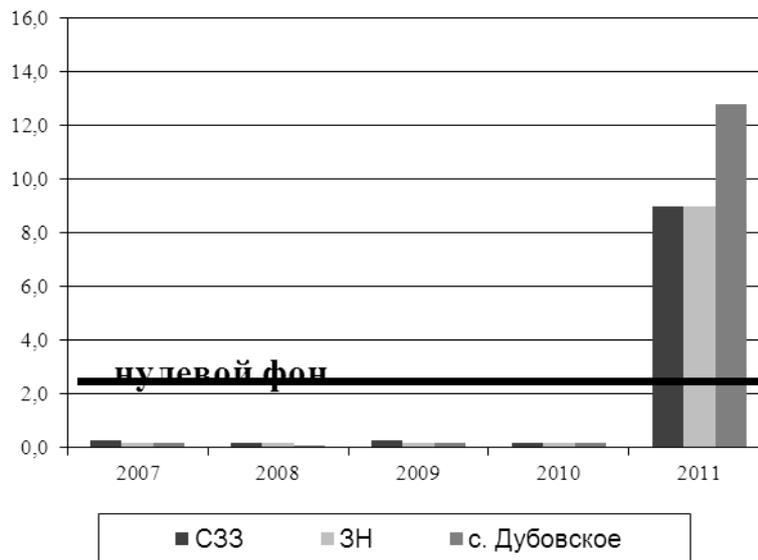


Рис. 1. Среднегодовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в приземном слое воздуха, мкБк/м<sup>3</sup>.

Следующая гистограмма (см. рис. 2) характеризует радионуклидный состав сбросных вод в водоем-охладитель Ростовской АЭС за период с 2007 по 2011 г.

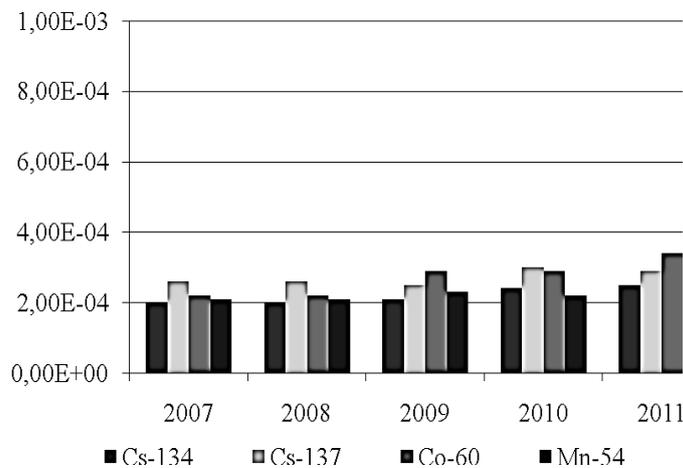


Рис. 2. Активность радионуклидов в сбросных водах, Бк/л.

Годовое поступление радионуклидов с жидкими сбросами в водные объекты ограничивается значениями допустимого сброса, рассчитанного и утвержденного для Ростовской АЭС.

Уровень фактического сброса Ростовской АЭС за рассматриваемый период обеспечивает значительный запас в не превышении соответствующих величин допустимого сброса, утвержденных для Ростовской АЭС.

Результаты контроля (см. рис. 3) объемной активности Цезия-137 и Кобальта-60 в воде Цимлянского водохранилища и водоема-охладителя не превышают фонового уровня содержания этих радионуклидов в поверхностных водах Российской Федерации, обусловленного глобальными выпадениями от испытания ядерного оружия и аварией на Чернобыльской АЭС.

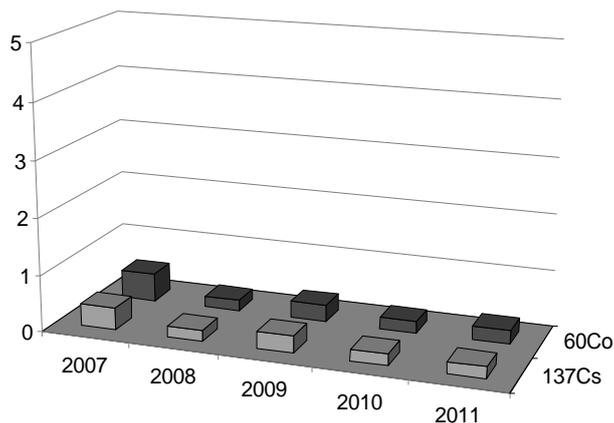


Рис. 3. Объемная активность радионуклидов в воде Цимлянского водохранилища, Бк/м<sup>3</sup>.

Одним из объектов радиационного контроля окружающей среды является сеть питьевого водоснабжения.

Как видно из рис. 4 удельная активность <sup>137</sup>Cs в питьевой воде г. Волгодонска значительно ниже уровня вмешательства по НРБ-99/2009.

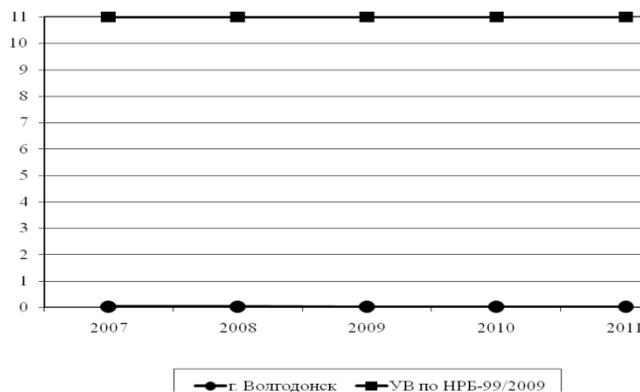


Рис. 4. Удельная активность <sup>137</sup>Cs в питьевой воде г. Волгодонска, Бк/кг.

На рис. 5 показаны результаты контроля удельной активности Цезия-137 в питьевой воде г. Волгодонска, ст. Жуковской и контрольного пункта – села Дубовское в период с 2007 по 2011 год. Здесь также все значения удельной активности <sup>137</sup>Cs ниже минимально детектируемой активности.

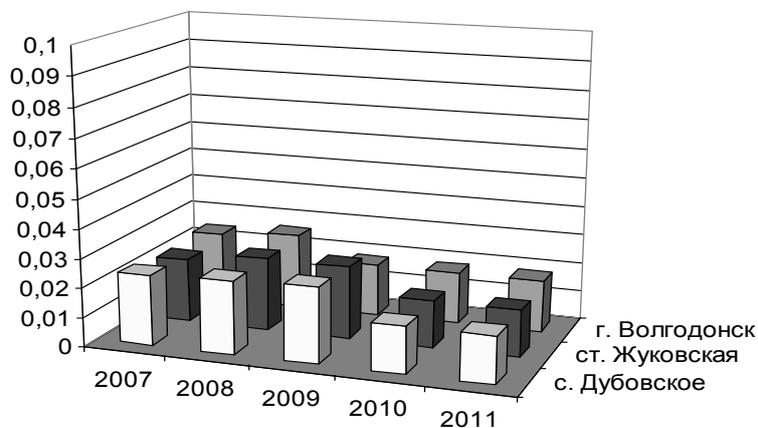


Рис. 5. Удельная активность <sup>137</sup>Cs в питьевой воде, Бк/кг.

Результаты измерений показывают отсутствие негативного влияния Ростовской АЭС на источники питьевого водоснабжения в районе размещения АЭС, так как суммарная удельная  $\beta$ -активность как минимум в 5 раз ниже регламентируемого уровня, что видно из рис. 6.

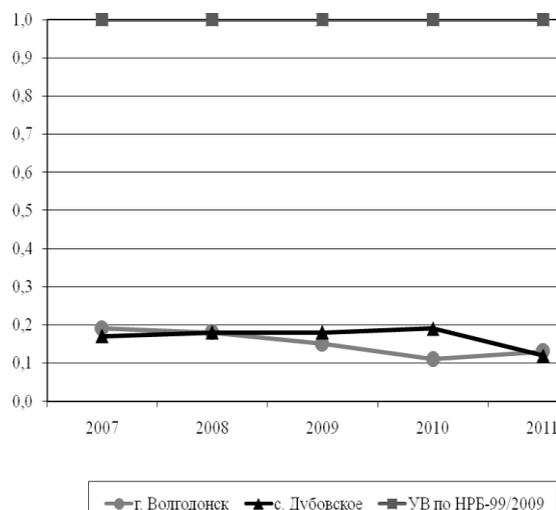


Рис. 6. Удельная суммарная  $\beta$ -активность питьевой воды, Бк/л.

Пробы овощей и фруктов отбирались в коллективных садах г. Волгодонска «Мирный атом», «Мичуринец» и «Восход» перед уборкой урожая.

В ряде окрестных хозяйств (ст. Жуковская, х. Подгоренский, с. Дубовское) отбирались пробы молока и мяса для анализа на содержание в них  $^{137}\text{Cs}$  и контроля суммарной  $\beta$ -активности.

Рыба отбиралась из водоема-охладителя и Цимлянского водохранилища.

Результаты измерений не выявили влияния Ростовской АЭС на значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственной продукции (см. рис. 7), включая продукты животного происхождения.

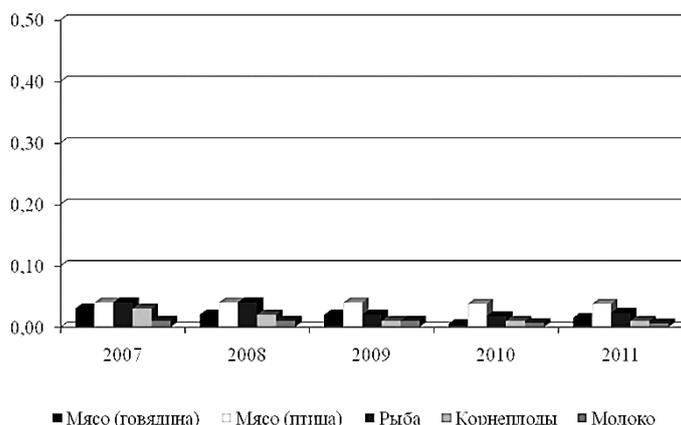


Рис. 7. Удельная активность  $\text{Cs}^{137}$  в продуктах питания местного производства, Бк/кг.

На рис. 8 представлены результаты контроля активности Цезия-137 в поверхностном слое почвы г. Волгодонска и с. Дубовское.

Отбор проб осуществлялся в 22 контрольных точках района размещения АЭС, а также в контрольном пункте – с. Дубовское.

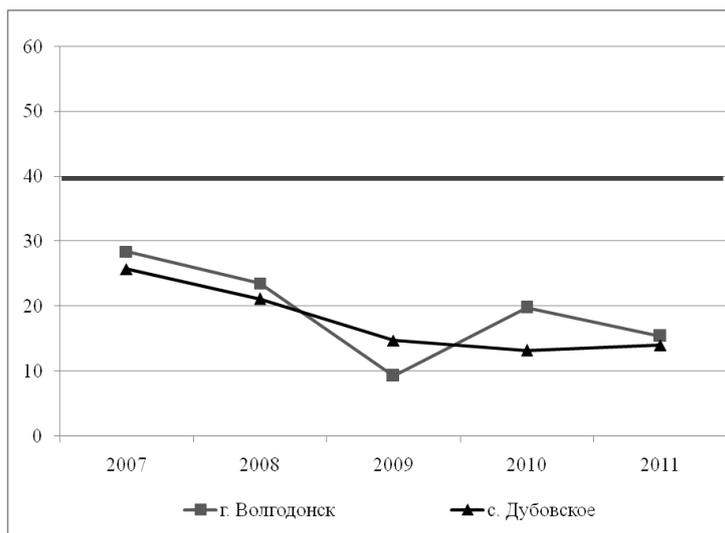


Рис. 8. Удельная активность  $Cs^{137}$  в верхнем слое почвы, Бк/кг.

Радиационное состояние наземных экосистем района расположения Ростовской АЭС формируется радионуклидами естественного происхождения, глобально рассеянными техногенными радионуклидами и радионуклидами, поступающими в окружающую среду с газоаerosольными выбросами АЭС.

В суммарной активности проб компонентов наземных экосистем, основная доля приходится на радионуклиды естественного происхождения ( $^{40}K$ ,  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$ ).

Полученные значения среднегодового содержания радионуклидов в почве не превышают значений «нулевого фона». Например: по «нулевому фону» диапазон изменения удельной активности Цезия-137 в почвах 30-км зоны от 1,0 и менее, до 76 Бк/кг, а измеренная в 2011 г. по 30-км зоне удельная активность почвы по цезию-137 составляет от 1,0 до 19,9 Бк/кг.

На рис. 9 представлены результаты гамма-спектрометрического анализа проб растительности за 2007 – 2011 годы в г. Волгодонске и с. Дубовское.

Отбор проб растительности осуществлялся в 22 контрольных точках района размещения АЭС, а также в контрольном пункте – с. Дубовское.

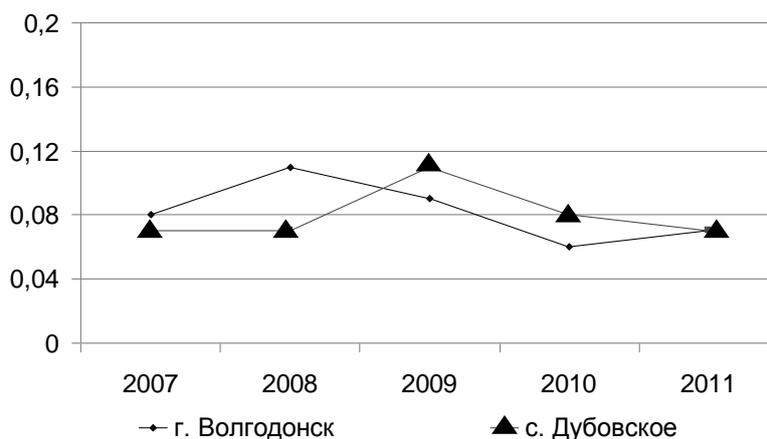


Рис. 9. Удельная активность  $^{137}Cs$  в полевой растительности, Бк/кг.

Содержание  $^{137}Cs$  во всех пробах полевой растительности в пунктах контроля зоны наблюдения Ростовской АЭС было ниже минимально-детектируемой активности, а, следовательно, влияния Ростовской АЭС на удельную активность радионуклидов в

полевой растительности в районе размещения АЭС не выявлено.

Таким образом, сопоставление фактических данных о наличии радионуклидов в окружающей среде в районе расположения Ростовской АЭС, полученных при эксплуатации АЭС, с данными, полученными в допусковой период, показывает отсутствие различия в значениях однотипных параметров радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и пищевых продуктов.

Состояние объектов окружающей среды в районе размещения Ростовской АЭС не изменилось и находится на уровне допускового периода.

## **Radiation control of Rostov NPP region**

**T. Yu. Malaeva**

*Subsidiary (branch) of Joint-Stock Company of open type «Concern Rosenergoatom» «RNPP»,*

*Leading Engineer of the Division of radiation control over environment, the Department of radiation safety,  
Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388, e-mail: tmalaeva@inbox.ru*

**Abstract** – The results of radiation monitoring of Rostov NPP territory since 2007 to 2011 are presented. They are obtained by the Division of radiation control over environment of Rostov NPP and presented in comparison with legitimate value. This comparison helped to draw a conclusion that the environmental conditions of Rostov NPP region had not changed.

*Keywords:* Rostov NPP, radiation monitoring, radionuclides, sampling, quantity of activity per unit of volume, specific activity, monitoring zone, sampling points, Cs-137.

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 504.455.058:574.52.64 (470.61)

### ЭКОТОКСИЧНОСТЬ ВОД ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПЕРИОД ЦВЕТЕНИЯ СИНЕ-ЗЕЛЕННЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

© 2012 г. Е.Н. Бакаева, Н.А. Игнатова

*Южный отдел Института водных проблем РАН, ФБГУ Гидрохимический институт Росгидромета,  
Ростов-на-Дону*

Поступила в редакцию 02.05.2012 г.

Биологическими методами в ходе комплексных экспедиций Южного отдела Института водных проблем РАН (2006, 2007, 2011) исследована динамика экотоксичности вод приплотинного участка Цимлянского водохранилища. Приведена динамика пространственно-временной токсичности, трофности, концентрации сине-зеленых микроводорослей. Отмечено усиление процессов токсификации водохранилища в период цветения сине-зеленых микроводорослей.

*Ключевые слова:* Цимлянское водохранилище, биотестирование, токсичность, фитопланктон, эвтрофикация, «цветение», токсификация, сине-зеленые микроводоросли, хлорофилл а.

Важность интегральной оценки качества вод растет с ростом антропогенной нагрузки в связи с тем, что экологический контроль прогрессирующего возрастания количества новых химических веществ невозможен, к тому же он осложнен аддитивностью и синергетическим действием большинства соединений [1]. В современных условиях эвтрофикации и токсификации водохранилищ особо важным представляется изучение экотоксичности компонентов экосистем.

Ответ о качестве вод и реальной ситуации в водном объекте может дать только биота [2]. Биологические методы, с помощью которых определяют качество воды, подразделяют на две группы: биоиндикацию и биотестирование. Биоиндикация позволяет определить сапробность, трофность и класс качества вод. На основе биотестирования получают оценку токсичности вод и донных отложений, синхронное определение которых дает оценку экотоксикологического статуса водного объекта.

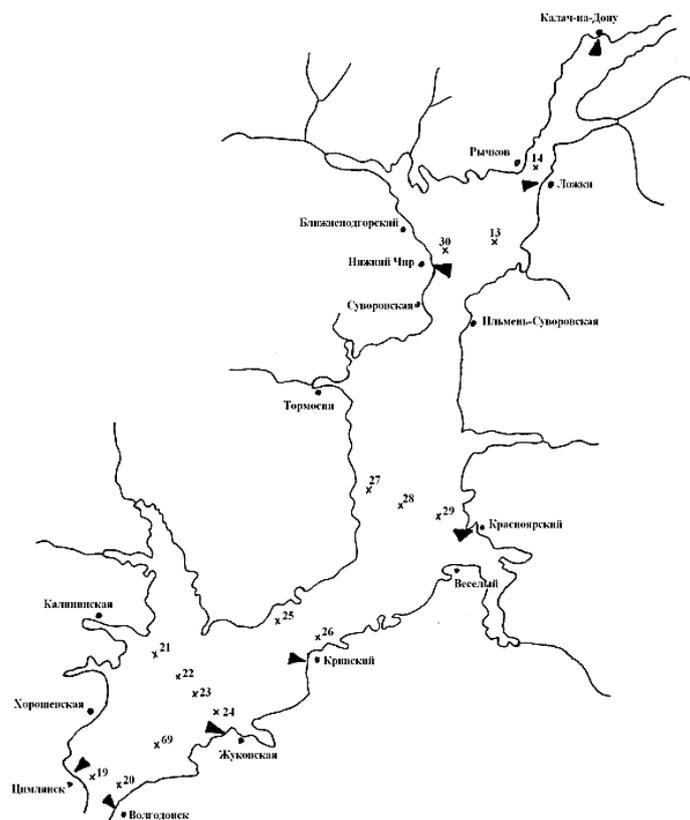
Неблагоприятные экотоксические эффекты рассматривают на уровне организма (аутэкоксические), популяции (демэкоксические) и биогеоценоза (синэкоксические). В случае оценки экотоксичности природных вод в отношении представителей одного вида живых существ, получаемой методом биотестирования, используют качественные и количественные характеристики, принятые в классической токсикологии. В первую очередь – величины острой, подострой и хронической токсичности. В случае оценки экотоксичности вод и донных отложений, проводимых одновременно, можно говорить об опасности или экологическом риске для экосистемы.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экотоксичность вод Цимлянского водохранилища оценивали по результатам экспедиционных исследований Южного отдела Института водных проблем РАН, проведенных в 2006, 2007, 2011 годах. В ходе работ проводили анализ токсичность вод

методом биотестирования с использованием трех тест-объектов, концентрацию хлорофилла а, видовой состав, численность и биомассу фитопланктона. Пробы отбирали в створах наблюдений Цимлянского водохранилища (19, 20, 23, 24, 69) в сети мониторинга поверхностных вод суши Росгидромета (рис. 1).

Тест-объектами при исследовании токсичности проб воды служили четыре вида гидробонтов: коловратки *Brachionus calicyflorus*, инфузории *Paramecium caudatum*, ветвистоусые рачки *Daphnia magna*, микроводоросли *Scenedesmus obliquus* [3,4].



**Рис. 1.** Расположение створов наблюдений Цимлянского водохранилища в сети мониторинга поверхностных вод суши Росгидромета (▼ – пункт наблюдений, x – вертикали).

Цимлянское водохранилище – один из крупнейших искусственных водоемов Юга России. Оно создано в 1952–1953 гг. перекрытием плотиной реки Дон в нижнем течении у г. Цимлянска (рис. 1). Это – водохранилище многоцелевого использования, оно является важнейшим звеном технической водохозяйственной схемы бассейна Нижнего Дона, обеспечивает транзитное судоходство по Волго-Донскому каналу, выработку электроэнергии Новочеркасской ГРЭС и Цимлянской ГЭС, орошение земель в засушливых районах Ростовской области (РО), служит основным рыбохозяйственным фондом Азово-Донского бассейна, используется для рекреации.

### ПРОБЛЕМЫ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Значительный возраст водохранилища – более 50 лет, интенсивное многоплановое использование привело к ряду негативных проблем (табл. 1). К числу основных причин появления проблем следует отнести зарегулирование реки Дон, интенсивное хозяйственное использование и наметившееся изменение климата, в частности, – повышение температуры.

Это привело к негативным последствиям, к главным из которых следует отнести эвтрофикацию, снижение рыбопродуктивности и интенсивно возрастающую токсификацию.

Одними из основных биологических характеристик эвтрофикации являются увеличение общей биомассы фитопланктона и замена его видового состава (более чем на 90% во время «цветения») сине-зелеными микроводорослями (табл. 2). Характерными показателями увеличения биомассы фитопланктона и вероятной гипоксии служит концентрация хлорофилла а. Результирующей всех сложных внутриводоемных процессов являются интенсивно наступающий процесс токсификации.

**Таблица 1.** Проблемы Цимлянского водохранилища

Причина	Последствия
Зарегулирование реки Дон	Существенное <u>изменение гидрологического</u> режима бассейна Нижнего Дона и Азовского моря
	<u>Разрушение берегов</u> , заиление ложа
	<u>Сукцессии гидробиоценозов</u> с заменой реопланктона на потамопланктон, зарастание ложа макрофитами
	<u>Эндогенная эвтрофикация</u>
Интенсивное хозяйственное использование	<u>Снижение рыбопродуктивности</u>
	Усиление негативного воздействия на экосистему:
	<u>загрязнение</u> вод сточными водами от сосредоточенных и диффузных источников, расположенных в акватории водохранилища и в его водоохраной зоне
	<u>экзогенная эвтрофикация</u> – бурное развитие сине-зеленых микроводорослей в виде «цветения»
	<u>экзогенная токсификация</u> экосистемы (вода, донные отложения)
	<u>эндогенная токсификация</u> за счет <u>Cyanophyta</u>
	<u>снижение</u> рыбопродуктивности за счет уменьшения кормовой базы
ухудшение санитарно-гигиенического состояния	
Изменение климата – повышение температуры	Экзогенная и эндогенная эвтрофикация
	Эндогенная токсификация
	Снижение рыбопродуктивности

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Динамика развития фитопланктона в наблюдаемых створах за период исследований свидетельствует о значительном преобладании сине-зеленых микроводорослей (рис. 2). Наиболее полно сине-зеленые были представлены в створе 19. Здесь во все годы и сезоны биомасса сине-зеленых составляла не менее 60%, доходя практически до 100% общей биомассы в мае 2007 и в августе 2011 года. Ведущим фактором развития сине-зеленых микроводорослей является, как известно, температурный.

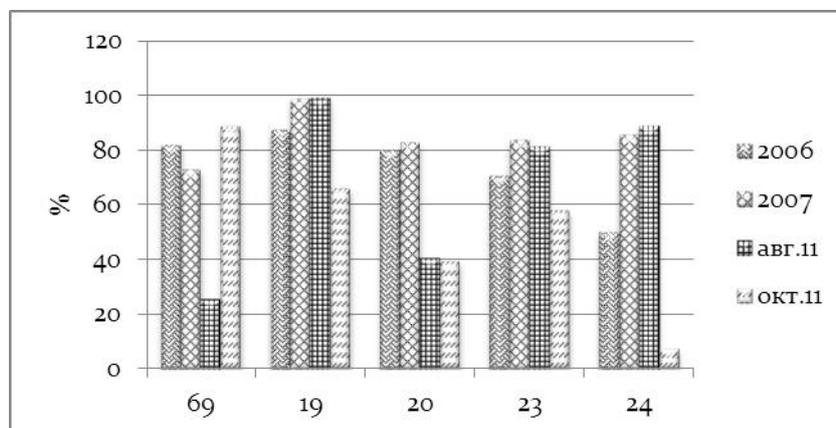
Изменение природных процессов в водохранилище обусловлено глобальным изменением климата. Так установлен значимый рост среднегодовых температур воздуха, интенсивность которого менялась в отдельные периоды. Скорости потепления в 1982-2008 гг. были в 2-3 раза больше, чем в течение периода с 1952 по 2008 г.

Температура воздуха в нижнем бьефе водохранилища увеличивалась в последние десятилетия со скоростью 0,051°С/год, в верхнем – 0,071°С/год. [5] Процесс потепления в Ростовской области имеет выраженную сезонную направленность и происходит преимущественно весной. Установлена устойчивость этих тенденций. [5]

**Таблица 2.** Биологические характеристики эвтрофикации

Показатель	Последствия
Увеличение биомассы микроводорослей в целом	Блокировка солнечного света.
	Уменьшение содержание кислорода.
	Повышение содержания органических веществ за счет большого количества отмерших клеток – эвтрофикация.
Последовательная смена видов планктоценозов	Замена реопланктона на потамопланктон.
	Преобладание в фитопланктоне Cyanophyta и Chlorophyta.
Изменение характера сезонной динамики и структуры фитопланктона	В фитоценозах снижается роль Bacillariophyta и Chrisophyta, увеличивается – Cyanophyta, Dinophyta, а также роль Chlorophyta и Euglenophyta.
Увеличение содержания хлорофилла а	Важный показатель величины нагрузки питательными органическими веществами.
	Важный показатель потенциальной гипоксии.
Токсификация эндогенная (токсичность по биотестированию)	Угроза токсического отравления людей и животных гепато- и нейротоксинами, выделяемыми Cyanophyta.
	Ухудшение органолептических качеств воды за счет большого отмершего фитопланктона
Токсификация экзогенная (токсичность по биотестированию)	Ухудшение органолептических свойств воды за счет промышленных, бытовых и сельскохозяйственных стоков.

Выявлен значительный разброс в пространственно-временной динамике трофности вод водохранилища по значениям хлорофилла а, как по годам в пределах одного створа, так и в разных створах за одну съемку (табл. 3). Например, в створе 20 воды оценивались как олигомезотрофные в 2006 году, в 2007 году – как политрофные. Соответственно класс вод относился к 2а и 4б. В одну съемку 2006 года в створе 20 воды оценивались как олигомезотрофные, а в створе 69 как эвполитрофные. Соответственно класс вод относился 2а и 4а.



**Рис. 2.** Динамика биомассы сине-зеленых микроводорослей (% от общей) в створах приплотинной части Цимлянского водохранилища.

Неравномерное мозаичное распределение фитопланктона, трофности, класса качества вод связано с особенностями ветровых и гидродинамических процессов Цимлянского водохранилища.

**Таблица 3.** Динамика трофности и класса качества вод створов приплотинной части Цимлянского водохранилища по значениям хлорофилла а\*

Створ	Время наблюдений			
	2006, октябрь	2007, май	2011, август	2011, октябрь
19	эвтрофная (3б)	эвполитрофная (4а)	эвтрофная (3б)	мезотрофная (2б)
23	мезоэвтрофная (3а)	мезотрофная (2б)	эвполитрофная (4а)	эвтрофная (3б)
24	Эвтрофная (3б)	эвтрофная (3б)	эвтрофная (3б)	эвтрофная (3б)
20	олигомезотрофная (2а)	политрофная (4б)	эвтрофная (3б)	олигомезотрофная (2а)
69	эвполитрофная (4а)	эвтрофная (3б)	эвтрофная (3б)	мезоэвтрофная (3а)

\*по шкале Оксийок, Жукинского, 1993

Результаты биотестирования вод створов Цимлянского водохранилища с использованием четырех тест-объектов различных систематических групп и трофических уровней свидетельствуют об их неоднозначном токсическом действии (табл. 4). Так, в мае 2007 года вода всех створов оказывала острое токсическое действие, в октябре 2011 года только вода створа 19. Ответная реакция всех тест-объектов на воздействие проб воды была практически одинаковой и свидетельствовала об остром токсическом действии вод. На микроводоросли (показатель коэффициента прироста численности) пробы воды оказывали угнетающее действие. Высокое токсическое действие вод в 2007 году, вероятно, можно связать не только с химическим загрязнением, но с «цветением» сине-зеленых водорослей. Последние, как известно, в процессе жизнедеятельности выделяют токсические вещества. В 2007 году их биомасса составляла почти 100 % общей биомассы.

**Таблица 4.** Динамика токсичности вод приплотинной части Цимлянского водохранилища по результатам четырех биотестов

Створ	Время наблюдений			
	2006, октябрь	2007, май	2011, август	2011, октябрь
19	ОТД	ОТД	ОТД	ОТД
20	нет	ОТД	нет	нет
23	ОТД	ОТД	ОТД	нет
24	ОТД	ОТД	ОТД	нет
69	нет	ОТД	ОТД	нет

Таким образом, результаты биоиндикационных и биотестовых исследований свидетельствуют о наличии процессов эвтрофикации и токсификации в Цимлянском водохранилище, которые сопровождаются резкими колебаниями биомассы и видового состава всех отделов фитопланктона, трофности и токсичности вод. Сочетанное возрастание трофности (по данным биомассы и концентрации хлорофилла а), и что крайне важно, – токсичности вод (по данным биотестирования), свидетельствует о сохранении и усилении токсификации экосистемы Цимлянского водохранилища.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева, Е.Н., Игнатова, Н.А., Черникова, Г.Г. Экоотоксичность вод приплотинного участка Цимлянского водохранилища [Текст] / Е.Н. Бакаева ; Н.А. Игнатова ; Г.Г. Черникова // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – Спецвыпуск. – С. 5–10.
2. Бакаева, Е.Н., Никаноров, А.М. Гидробионты в оценке качества вод суши [Текст] / Е.Н. Бакаева, А.М. Никаноров. – М. : Наука, 2006. – 236 с.
3. РД 52.24.566-94. Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем [Текст]. – М. : ФСР Госкомгидромета, 1994. – 130 с.
4. РД 52.24.662-2004. Оценка токсического загрязнения природных вод и донных отложений пресноводных экосистем методами биотестирования с использованием коловраток [Текст]. – М. : Метеоагентство Росгидромета, 2006. – 60 с.
5. Шаврак Е.И. Современное состояние Цимлянского водохранилища и тенденции его изменения [Текст] / Е.И. Шаврак // Актуальные проблемы обеспечения продовольственной безопасности юга России: Материалы международной научной конференции, 27-30 сентября 2011 г. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. – С. 136–139.

### Water ecotoxicity of Tsimlyansk reservoir during the flowering of blue-green algae

E. N. Bakaeva\*, N.A. Ignatova\*\*

*Southern Division of the Institute of Water Problems of RAS, FBGU Hydrochemical Institute Roshydromet,  
Stachki avenue, Rostov-in-Don, Russia 344090,  
e-mail\*: rotaria@mail.ru, e-mail\*\*: ignatse@aanet.ru*

**Abstract** – The dynamics of water ecotoxicity of Tsimlyansk reservoir dam has been investigated with the help of biological methods during complex research expeditions of the Southern Division of the Institute of Water Problems, RAS (2006, 2007, 2011). The dynamics of spatio-temporal toxicity, trophics and blue-green algae concentration is presented. Strengthening of the toxification process in the reservoir during the flowering of blue-green algae is noted.

**Keywords:** Tsimlyansk reservoir, biotesting, toxicity, phytoplankton, eutrophication, "flowering", toxification, blue-green algae, chlorophyll a.

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.311.25:614

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КАНЦЕРОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДА ВОЛГОДОНСКА

© 2012 г. М.Н. Медведева\*, И.А. Бубликова\*\*, М.Г. Баклыкова\*\*

\* Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области» в городе Волгодонске, Волгодонск, Ростовская обл.

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

Поступила в редакцию 18.11.2012 г.

Радиационный фактор среды от Ростовской АЭС не определяет рост онкологической заболеваемости и смертности населения г. Волгодонска, а при этом заболевания лейкемией и злокачественными новообразованиями щитовидной железы не определяют общую тенденцию роста онкопатологии. Анализ динамики концентрации канцерогенных веществ формальдегида и бенз(а)пирена в атмосферном воздухе в г. Волгодонске показал длительное превышение соответствующих значений ПДК.

*Ключевые слова:* онкозаболеваемость, смертность от онкопатологии, канцерогенные вещества, Ростовская АЭС, город Волгодонск.

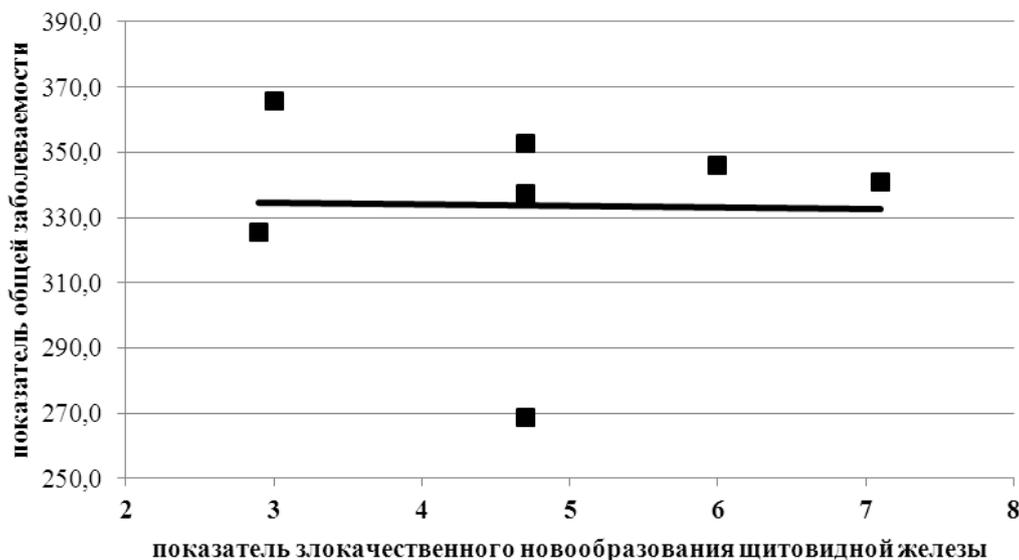
Рост заболеваемости злокачественными новообразованиями является в настоящее время актуальной проблемой. В городе Волгодонске население часто связывает проявление этого заболевания с близостью к Ростовской АЭС. Ранее были опубликованы результаты исследования динамики онкозаболеваемости населения тридцатикилометровой зоны Ростовской АЭС [1,2], включая и г. Волгодонск, за период с 1992 по 2011 годы, которые позволили сформулировать вывод о том, что отсутствует влияние эксплуатации Ростовской АЭС на формирование дополнительной онкопатологии жителей тридцати километровой зоны. Но существует вероятность того, что обусловленные радиационным воздействием Ростовской АЭС случаи заболеваний нивелируются в общей структуре онкозаболеваемости, поэтому был выполнен более детальный её анализ.

Известно, что многие локализации злокачественных новообразований могут быть спровоцированы ионизирующим излучением, но более высокой радиочувствительностью обладают органы кроветворения и щитовидная железа, что в последующем сказывается на росте лейкемии и злокачественных новообразований щитовидной железы. Поэтому был выполнен анализ вклада этих локализаций в общую структуру злокачественных новообразований населения г. Волгодонска.

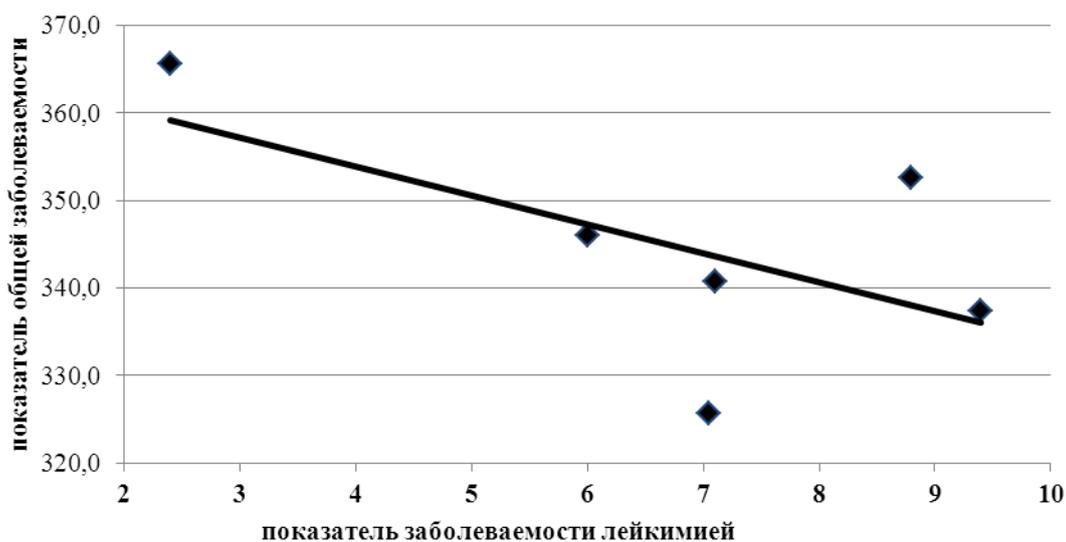
Информационной базой исследования послужили аналитические материалы ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области» и Ростовского НИИ онкологии. Для оценки значимости рассматриваемых локализаций в общей онкологической заболеваемости использовался регрессионный анализ в MS Excel соответствующих данных медицинской статистики за период с 2005 по 2011 годы. На рисунках 1, 2 представлены зависимости общей онкологической заболеваемости населения г. Волгодонска от заболеваемости лейкемией и раком щитовидной железы.

Большой разброс данных и не достаточный их объем не позволили получить значимых математических взаимосвязей рассматриваемых показателей, но позволяют

сделать качественный вывод о том, что не эти локализации определяют общую тенденцию роста онкозаболеваемости.



**Рис. 1.** Вклад локализации злокачественного образования щитовидной железы в общую структуру онкологических заболеваний (на 100 тысяч населения).



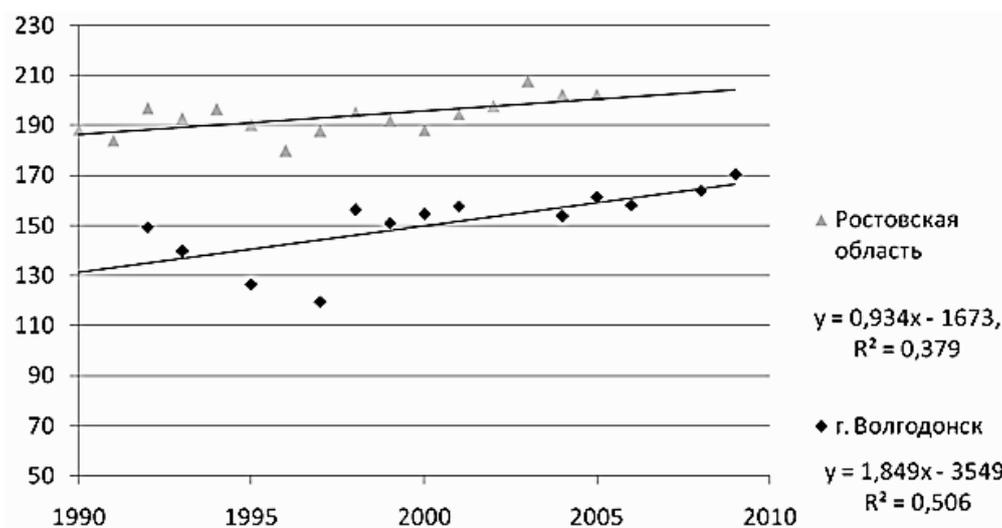
**Рис. 2.** Вклад локализации лейкемии в общую структуру онкологических заболеваний (на 100 тысяч населения).

Было проверено предположение о том, не происходит ли скрытый рост онкологической заболеваемости после пуска атомной станции. Но тогда неизбежно увеличилась бы смертность в связи выявлением заболеваний уже на поздних стадиях. Поэтому была проанализирована динамика показателя смертности от онкопатологии населения г. Волгодонска в сравнении с аналогичными данными по всей Ростовской области (рис. 3). В таблице 1 представлены уравнения трендов и коэффициенты детерминации онкологической заболеваемости [2] и смертности.

**Таблица 1.** Математические модели онкологической заболеваемости и смертности

Показатель	Математическая модель	Коэффициент детерминации $R^2$
Онкозаболеваемость [2]	$y=8,7x-17177$	0,911
Смертность от онкопатологии	$y=1,8x-3549$	0,506

Скорости роста рассматриваемых показателей определяются углом наклона аппроксимирующей прямой к оси абсцисс, то есть коэффициентом перед переменной  $x$ . Значения коэффициентов свидетельствуют, что рост смертности значительно ниже роста заболеваемости (1,8 и 8,7 соответственно). Но для заболеваемости наблюдается меньший разброс данных, что отражается значением коэффициента детерминации, который близок к единице. После пуска Ростовской АЭС в 2001 г. характер распределения данных не изменился, но в 1998 г. произошел скачек данных по смертности вверх. В целом это является косвенным подтверждением того, что после пуска первого энергоблока Ростовской АЭС доля запущенных случаев в общей структуре онкозаболеваемости значительно не изменилась.

**Рис. 3.** Динамика смертности от онкопатологии (на 100 тысяч человек).

Таким образом, проведенный анализ динамики данных медицинской статистики подтверждает сделанный ранее [2] вывод о том, что тенденция увеличения онкологической заболеваемости, наблюдающаяся у населения г. Волгодонска, не связана с работой Ростовской АЭС, а вызвана другими причинами, действие которых на жителей города началось гораздо раньше запуска ее в эксплуатацию.

Существует много факторов, влияние которых на человека может привести к развитию онкологического заболевания. Одним из приоритетных факторов, формирующих здоровье населения, является загрязнение атмосферного воздуха, в том числе канцерогенами. В связи с этим был выполнен анализ динамики концентрации в атмосферном воздухе г. Волгодонска канцерогенных веществ (рис. 4) в период с 1995 по 2011 годы [3], опасность рассматриваемых загрязнений оценивалась отношением их среднесуточных концентраций к соответствующей величине ПДК. Необходимо отметить, что концентрация бенз(а)пирена в атмосфере г. Волгодонска начала контролироваться только с 2002 г.

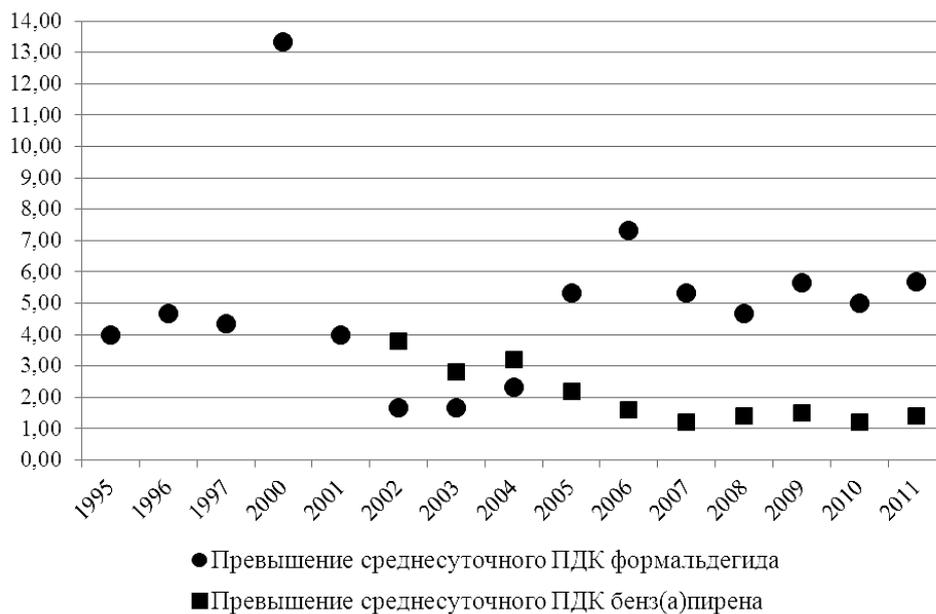


Рис. 4. Динамика загрязнения атмосферного воздуха г. Волгодонска канцерогенными веществами.

Представленные данные свидетельствуют о том, что уже длительное время в атмосфере г. Волгодонска канцерогенные вещества формальдегид и бенз(а)пирен превышают предельно-допустимые концентрации. Среднее содержание формальдегида в атмосфере города за анализируемый период составило 5,0 ПДК с максимумом 13,3 ПДК в 2000 г. и минимумом 1,7 ПДК в 2002 и 2003 годах, бенз(а)пирена – 2,0 ПДК с максимумом 3,8 ПДК в 2002 году и минимумом 1,2 в 2007 и 2010 годах. Основным источником бенз(а)пирена является автотранспорт, а формальдегида – мебельное производство и автотранспорт [4], относительно которых у населения не сформировано представление как об источниках, негативно влияющих на здоровье.

Таким образом, на основе анализа статистических данных онкологической заболеваемости и смертности по г. Волгодонску не подтвердилась обусловленность роста рассматриваемых параметров радиационными воздействиями Ростовской АЭС, при этом в общей структуре онкологической заболеваемости населения такие локализации как лейкемия и злокачественные новообразования щитовидной железы не вносят определяющий характер в её динамику.

Для канцерогенных веществ формальдегида и бенз(а)пирена показано длительное превышение нормативных значений их концентрации в атмосфере города.

Поскольку Ростовская атомная станция является объектом потенциально опасных воздействий, как на окружающую среду, так и на здоровье населения, необходим и в дальнейшем постоянный контроль и анализ показателей заболеваемости, который следует выполнять с учетом статистических свойств данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бубликова, И.А., Егоров, В.В. Влияние Волгодонской АЭС на онкозаболеваемость жителей г. Волгодонска [Текст] / И.А. Бубликова ; В.В. Егоров // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – Спец. вып. – С. 161–163.
2. Бубликова, И.А., Баклыкова, М.Г., Цуверкалова О.Ф. Динамика онкозаболеваемости

- населения тридцати километровой зоны Ростовской АЭС [Текст] / И.А. Бубликова ; М.Г. Баклыкова ; О.Ф. Цуверкалова // Глобальная ядерная безопасность. – 2011. – №1. – С. 39–43.
3. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2011 году» [Текст]. – Ростов-на-Дону, 2012. – 370 с.
  4. Шаврак, Е.И., Шапкина, Т.С., Шаврак, Д.С. Корреляционно-регрессионный анализ влияния автотранспорта на состояние здоровья населения [Текст] / Е.И. Шаврак ; Т.С. Шапкина ; Д.С. Шаврак // Гигиена и санитария. – 2009. – №1. С. 5–9.

## Research of carcinogens dynamics of environment in Volgodonsk

M. N. Medvedeva\*, I.A. Bublikova\*\*, M. G. Baklykova\*\*

\* Federal Budget Healthcare Agency “Center of hygiene and epidemiology in Rostov region” in Volgodonsk, 9/11 Marshal Koshevoi St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347380, e-mail: vses@donpac.ru.

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

**Abstract** – Radioactive effect of Rostov nuclear power plant on environment doesn't influence on the level of cancer disease incidence and oncological mortality in Volgodonsk, at the same time the rate of leucaemia disease and cancerous growths of thyroid gland doesn't show the general cancer pathologies rate. Analyses of concentration dynamics of formaldehyde and benzpyrene in the air of Volgodonsk showed that the maximum permissible concentration had been exceeded for a long time.

*Keywords:* cancer disease incidence, oncological mortality, carcinogens, Rostov nuclear power plant, Volgodonsk.

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 001.124

### О ВОЛНОВЫХ МАКРОЭФФЕКТАХ И МОДЕЛИ НАДЁЖНОСТИ

© 2012 г. В.Ф. Савельев, Н.В. Корнетова, А.С. Донцова

*Московский государственный индустриальный университет (МГИУ), Москва*

Поступила в редакцию 20.05.2012 г.

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

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

В едином псевдодискретном волновом и на 99,(9)% латентном (сакрально-сокрытом, невидимо-неведомом для глаз, приборов) Мире всё «соткано» из сплошной (недискретной, континуальной) энергетической матрицы (материи, апейрона, огня, эфира, теплорода, энтелехии и т.п.). Ныне она зовётся «вакуумом» («Великая Пустота» на Востоке) в заблудшей западной доктрине «атомизма». Но именно это «вырожденное ничто» в волновой модели и есть бесконечное. Всё, в котором наш мир и вся «видимая вселенная» – лишь дефектные разбалансированные (асинфазные) структуры Целого. Основная волновая вакуумно–солитонная Матрица энергоспектра представляет собою абсолютно (идеально) синхронизированные (синфазные) бесконечные непрерывные спектры гармоник (бегущих или стоячих волн – солитонов) обоих знаков (полярных: «вещества – антивещества» или «положительной – отрицательной» энергии), постоянно изменяющихся. Это, как бы, два сопряжённо-единых антисолитона бесконечной Вселенной. Математическая сумма этого безбрежного «Интеграла Фурье» в силу его Абсолютной Симметрии равна «Нулю» (ничто, вакуум, пустота и т.д.). Но «внутри» живёт безбрежная Сущность, где в «локальных фрагментах» (клетках, членах-органах и т.д.) идёт непрерывная вечно-уникальная деятельность, организованная Едино-Целым Организмом Мироздания Вселенной. Близкими известными физическими моделями могут служить «органный эффект» (акустика), когда «ревущие» соседние трубы органа (символична и близость его к «организму», уже чисто фонетически) вдруг «замолкают» при их сближении в противофазном звучании. А также таинственный «стробоскопический» (почти не изученный глубинно) эффект в оптике, делающий реальные волновые (колебательные) процессы визуально-незримыми (латентными, как и в акустике).

В целом надо отметить малоизученность уникальнейшего явления «невидимого» (скрытого, неочевидного) или «латентного» (ноуменологического, идеального, сущностного, неявного, ирреального, иррационального и т.п.). Изучение «микро-», «мега-», «параллельных» и пр. «миров», всяких «шапок (плащей) – невидимок» («Стелс» и пр.), психического, гуманитарного, наконец «религиозного» (магического, мистического, эзотерического, паранормального и т.д.), – всё это из одного ряда бездны почти нетронутого (не трогаемого и неприкасаемого!) «большой» наукой Нового времени (от Демокрита – Аристотеля и Декарта – Эйнштейна). И когда учёные ортодоксы «атомизма» (и вульгарных материализма с либерализмом) называют

психологию «наукой о душе» (сменившей на «Радио России» в зомбирующих ночных сеансах Асахару, профессор Данилин), становится неловко, т.к. их наука души (ума, сознания и т.п. «когнитивно-интеллектуально-духовно-нравственного») не признаёт по своему генетическому устройению. В лоно такой официальной парадигмы и сама основа-основ жизни – вселенская энергия представляется как нечто вторичное (производное, следствие, функция) от «вещества» («атомов» с их массой) и «ускорения» и «сил», привнесённых в этот мир стихией случайных процессов в лице «Большого взрыва». Но в конечно-дискретном мире всё конечно и жизнь сменяет «тепловая смерть» – на неизбежной «асимптотической» ветви (стадии) затухающей экспоненты.

Главная катастрофа (непонимания всего и вся в этом мире) отражена в её классическом определении у Р. Тома, в контексте теории катастроф: «резкое качественное изменение объекта при плавном количественном изменении параметров, от которых он зависит». Но ведь из самой «БВ – экспоненты» это никак не вытекает. И никакая «Стандартная модель» не объяснит в «атомистическом» русле реальные «скачки (сингулярности) – катастрофы», которые, в конечном счете, и дают нам энергию «мирного» (и немирного) атома на АЭС.

Но со времён того же «отца» современной физики Демокрита были и есть учёные, теории и гипотезы которых составляют полярную (альтернативную или анти-) науку по отношению к официальной (которую уже без стеснения, по Ren-TV 13.04.12 г., откровенно показывают как ангажированную мировой закулисой; например, в части дарвинизма и ГМО). Высший уровень познания мироздания в виде: идей Платона, апейрона Анаксимандра, огня Гераклита, эфира античности и Нового времени, а также электромагнитных волн Герца и Максвелла, идеализма и диалектики Гегеля, феноменологии Гуссерля, наконец, русского космизма Циолковского, Вернадского, Чижевского и др., с экономическими волнами Кондратьева, не говоря об иррационально – «внеаучном» (религии в первую очередь), – говорит о слабости ведущей тысячелетия (и особенно последние 300-400 лет) человечество доктрины «жизни ради жизни только здесь и сейчас». В этом атомно-атомизированном мире псевдопрогресса и лжебудущего очередных обманувшихся поколений «социоатомов» – индивидов, добывающих всё Святое, цивилизацию и планету.

А. Хосла (сопредседатель Римского клуба) ныне заявляет: «Фактически мы живём во время скачкообразных изменений, известных как волны Кондратьева... Запас прочности мира снижается...» Ежедневно исчезают 100 видов животных и 50 тыс. Га леса, а 20 тыс. Га земли опустыниваются. И впрямь всё идёт коэволюционно в мире: и в био-, и в техносфере, везде. Не случайно брошены колоссальные ресурсы на спасение нужной кому-то тысячелетие идеологемы атомистического разделения всего и вся. Уже растаяла почти надежда на «божественный» бозон Хиггса, в тупике теории «суперструнного оркестра» физиков и математиков. Растёт критическая масса уже Монблана контраргументов, во главе с «тёмными» энергией и материей. Но в ход идут самые экзотические теории и модели в защиту «устоев». К. Хоган (директор Центра астрофизики, США) выдвигает идею «дрожащей» (вибрирующей) цифровой Вселенной, в основе которой, якобы, элементарные информационные структуры («биты»). Учёный пытается доказать в эксперименте то, что на наноуровне, в субмикром мире существует эта самая «вибрирующая дрожь». Но физика утверждает, что на атомарном уровне даже при абсолютном нуле ионы и др. частицы испытывают так называемые «нулевые колебания», активирующиеся с ростом температуры или скорости движения (волна де Бройля, волновая функция Шредингера и Планковская частота).

Еще в 80-е годы сварщиками на титановых (Столярова Л.Д.), алюминиевых (Крук

С.И.) сплавах и сталях (Гаврилин В.А., Субботин Ю.В.) были выявлены скачки физико-механических свойств через десятки, сотни и даже тысячи часов старения после сварки. А с 1987 г. пионерскими целевыми исследованиями были обнаружены такие же эффекты на основном стабилизированном металле до его возбуждения сборкой, сваркой и т.п. Но первые «катастрофические» волновые (все процессы обнаружили волновой характер) эффекты выявлены на постоянных магнитах в 1988 г. (Савельевой З.М. на МЗЭМА): при сборке двух из них суммарная физическая масса оказалась меньше математической на 170 мг ( $10^{-3}$  мг/мг). А через 10 месяцев мониторинга 14.12.1988 г. «дефект» макромассы упал почти в 4 раза (до -45мг), а довольно стабильная масса каждого из 3-х магнитов внезапно тоже резко снизилась на 200 мг ( $\approx 2.4 \cdot 10^{-3}$ ). Важно и то, что это совпало со Спитакским землетрясением (07.12.88 г.), а эффект был использован в патенте на способ прогнозирования землетрясений [1].

Через 11 лет хранения в собранном состоянии «дефект» массы и вовсе упал до 10-15 мг, но после разборки «дефект» стал расти и достиг через месяц 25-30 мг. С июня 1990 г. почти 4 года во ВНИИ Стали на широком круге сталей и сплавов вёлся мониторинг плотности. В ходе естественного старения в феврале и 21 августа 1991 г. («пик» известных социальных потрясений в СССР) зафиксированы также экстремумы волновых процессов до (6-12)% по объёму и плотности, и 1% – по массе. Тогда же в 1990 г. (совместно с Субботиным Ю.В. и студентом Марковым Д.В.) и с 2003 г. велись исследования по оценке волновой нестабильности сборочных узлов типа «ось-втулка» из стали 35, показавшие, что и в этом случае «дефект» не только массы, но и размеров при сборке и разборке может достигать  $\pm 10^{-3}$  и более.

На стыке веков и в канун третьего тысячелетия в геофизике, океанологии и других сферах науки появился феномен «гигантские волны» (ГВ- «убийцы» и т.п., созвучное «флаттеру» середины XX в.), обнаруживаемый в океанах, земной коре («Живая Земля» Яницкого И.Н.), атмосфере и космосе. Исследователи авиационных материалов тоже отмечают «термическую» нестабильность (падение до 50% и более за 33 года) прочностных свойств при старении сплавов. Всё это и многое другое [1, 2] подтверждает слова и идеи сэра Лайтхилла, Пригожина и нашего рыцаря чести, покойного академика Легасова В.А. о том, что «снобизм и высокомерие «классиков» закрытого мира науки» должен сменить «союз теории с мудростью практики» (критерием истины, кстати). Иначе – застой в науке и всё то, что мы видим сегодня. Надо сказать, что «катастрофы» (в том числе и в микромакромире твёрдых тел) с их «ГВ» («цунами») начинаются с «измерительной катастрофы» («разрухи в головах»), когда мы в угоду негодной и вреднейшей доктрине веками насилуем естество, отбрасывая, сглаживая, выравнивая (бетонируя и закатывая в асфальт догм) живую истину эксперимента, практики, жизни.

Нужны методология, средства и технологии прямого и непрерывного (или минидискретного) мониторинга везде и всюду на основе волновых (а не кинето-статистических) подходов. Ведь мы и без того обречены на дискретность, т.к. бесконечный диапазон АЧХ волновой Вселенной всегда приводит (в силу «инерционности» приборов и т.п.) к тому, что мы регистрируем лишь нечто «среднее», но мы эту ситуацию усугубляем (донельзя) сознательно. Вот так и «теряются», как правило, в дискретном всегда эксперименте (даже без статобработки) истинные ГВ катастроф и их волновые предвестники и афтершоки.

Известное в атомной энергетике «радиационное разбухание» материалов в силу ряда понятных причин слабо освещено (а, возможно, и изучено). По крайней мере, с учётом описанных выше волновых эффектов и подходов, вряд ли оно изучалось. Но даже те скудные информационные материалы, которые нам доступны, говорят о том, что аварии на ЧАЭС и Фукусиме (как и Саяно-Шушенской ГЭС) сопровождались

мощными колебаниями земной коры, гидросферы и вибрациями агрегатов и узлов. Всё это говорит в пользу сверхактуальности использования волновой концепции во всей цепочке обеспечения надёжности и безопасности АЭС от мировоззренческих, теоретических и проектно-технологических до эксплуатационных и экологических этапов жизненного цикла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савельев, В.Ф.* Волновая синергетика Единства – всенестабильность [Текст] / В.Ф. Савельев. – Казань, 2007. – 648 с.
2. *Сагалевич, В.М., Савельев, В.Ф.* Стабильность сварных соединений и конструкций [Текст] / В.М. Сагалевич ; В.Ф. Савельев. – М., 1986. – 264 с.

#### **About wave macroeffects and reliability model**

**V. F. Savelyev\*, N. V. Kornetova, A. S. Dontsova**

*Moscow State Industrial University (MSIU), 16 Avtozavodskaya St., Moscow, Russia 115280,*

*e-mail\*: savel-ev@mail.ru*

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

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

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.039.531

### О ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ

© 2012 г. Е.И. Колоколов

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

Поступила в редакцию 22.11.2012 г.

Проанализированы специальные требования к образцам-свидетелям (ОС) ПНАЭ Г-7-008-89. Показано, что нормативные требования содержат неопределенности, допускающие различные толкования при отборе материалов при изготовлении ОС. Это приводит к дефициту их представительности при оценке остаточного ресурса эксплуатируемых атомных реакторов. Предложен новый подход к формированию проб для изготовления ОС. На основе данного подхода предложено техническое решение по изготовлению ОС для корпусов ВВЭР-1000, находящихся на заводе «Атоммаш» на ответственном хранении. Предложено дополнить программу испытаний ОС, введя в нее оценку критерия, свидетельствующего о возможности появления в материале, охрупченном в результате радиоактивного облучения, усталостной трещины и ее подрастании до критического размера.

*Ключевые слова:* образцы-свидетели, корпуса реакторов, основной металл, металл шва, радиационная стойкость, охрупчивание, активная зона, штатные обечайки, кольцевая сварная проба, химический состав, примесные элементы, фрактографический метод, вязко-хрупкий переход.

Контроль за состоянием корпусных материалов реакторов типа ВВЭР-1000 с помощью ОС является неотъемлемой частью научно-технического сопровождения безопасной эксплуатации АЭС. Анализ данных, полученных при испытаниях ОС первых сроков освидетельствования металла корпусов реакторов (КР) показал [1–4], что поведение основного металла подтверждает нормативные сроки эксплуатации, в то время, как на радиационную стойкость сварных швов влияет повышенное содержание никеля (и в определенной степени марганца), приводящее к ускоренному охрупчиванию по сравнению с проектной величиной.

Результаты детальных лабораторных исследований и эксплуатационного контроля свойств основного металла и сварных соединений КР по программе ОС позволили оценить влияние на радиационную стойкость примесей (Cu, P, As, Sn, Sb) и легирующих элементов (Ni, Si, Mn) [1, 2]. Это дало возможность сформулировать требования к материалам реакторов для вновь строящихся энергоблоков. Наиболее важным результатом исследований стала выработка подхода к обеспечению химического состава и структурного состояния металла сварных швов, обеспечивающих нормативный срок эксплуатации. Логичным аспектом материаловедческого сопровождения ВВЭР повышенной безопасности и ресурса является усовершенствование программ ОС в направлении разработки их более информативной версии, в максимальной степени учитывающей фактические условия эксплуатации.

Существующим программам ОС присущи недостатки, главной из которых является дефицит представительности. Основные усилия исследователей направлены

на более полный учет условий облучения: температуру облучения, флюенс и др. Предлагается также перейти к адаптируемым программам ОС, в которых облучаются заготовки штатных материалов, а образцы актуальных типов изготавливаются после выгрузки из реактора [5]. Возможность изготовления испытательных образцов из блоков облученного металла частично уже реализована в рамках отечественных и зарубежных программ исследования трепанов, вырезанных из корпусов остановленных реакторов [5]. Однако для реакторов ВВЭР-1000 такую работу пока еще только предстоит выполнить.

В настоящее время проводятся работы по усовершенствованию программ ОС. Основой для этих программ служат нормативные документы ПНАЭ Г-7-008-89 «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» [6] и ПНАЭ Г-002-86 «Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» [7]. «Согласно требованиям Российских норм к программам ОС, образцы для контроля свойств металла корпуса реактора должны изготавливаться из: основного металла, металла сварного шва, металла зоны термического влияния. Исходным материалом для ОС основного металла является металл пробного кольца одной из обечаек корпуса реактора, расположенных против активной зоны. Он подвергается тому же комплексу термических обработок и проходит тот же контроль, что и обечайка, от пробного кольца которой он отобран. Исходным материалом для ОС сварного шва и зоны термического влияния является кольцевая сварная проба, изготовленная путем сварки двух колец той же толщины, по той же разделке, при тех же режимах и методах сварки, теми же исполнителями с применением сварочных материалов той же партии, что и сварные швы обечаек активной зоны. Сварная проба подвергается тому же комплексу термических обработок, что и сварные швы корпуса реактора, расположенные напротив активной зоны. В состав ОС должны входить: контрольные комплекты, облучаемые комплекты, температурные комплекты, нейтронно-активационные индикаторы и индикаторы определения температуры облучения».

Эта цитата взята из доклада «Современные требования к программам контроля корпусов реакторов в процессе эксплуатации по ОС для ВВЭР-1000», представленном ОКБ «Гидропресс» на конференции МНТК-2010 «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» [8]. Такой же принцип формирования проб сформулирован в том же докладе и для вновь разрабатываемых проектов РУ типа ВВЭР-1000.

Беспокоит следующее – дефицит представительности ОС заложен уже в самом принципе изготовления проб, сформулированном в ПНАЭ Г-7-008-89. В нормах заложены некоторые неопределенности относительно отбора материала, которые позволяют по-разному трактовать их содержание. Рассмотрим эти неопределенности подробнее.

Пункт 7.7.8. «Для изготовления образцов-свидетелей должны использоваться припуски штатных заготовок, из которых выполняются элементы оборудования и трубопроводов или (при невозможности изготовления из припусков) из штатных материалов или полуфабрикатов». Не совсем понятно, о каких штатных заготовках идет речь. И сталь 15X2НМФА, и сталь 15X2НМФА-А – штатные. По логике должна быть вторая сталь, если основная цель – отследить радиационное охрупчивание. Но этого не указано. Какие припуски, из какой части обечайки? Донная часть или прибыльная – это что – не важно? Далее в правилах следует вариант, когда припусков нет. Ответ – используем штатные материалы или полуфабрикаты. Но все штатные заготовки для данного конкретного реактора идут для изготовления корпуса. Если одну из них порезать на пробы, она уже не станет штатной. Значит используем штатную

поковку от следующего реактора, а для того откуем новую? И опять-таки – а какая все же сталь? Складывается впечатление, что отбор металла для ОС осуществляется по остаточному принципу.

Пункт 7.7.9. «Образцы-свидетели для контроля изменения свойств основного металла корпусов реакторов должны вырезаться из припусков штатных обечаек, располагаемых напротив активной зоны реактора». Вот из этого пункта понятно, что это должна быть сталь 15Х2НМФА-А. Здесь не указано, от какой части поковки следует отбирать металл – от донной или от прибыльной. Кроме того, из формулировки следует, что можно использовать и припуск от нижней части опорной обечайки, которая примыкает к активной зоне. Но в ней совсем другая металлургическая история, а толщина стенки больше, чем в обечайках активной зоны.

Пункт 7.7.10. В этом пункте об ОС металла сварного шва ничего не сказано о том, какие кольца нужно использовать для сварки – из каких обечаек, из какой стали. Известно, что сталь 15Х2НМФА содержит значительно больше примесей, вредных с точки зрения и радиационного, и теплового охрупчивания. Крайние валики, выполненные методом АСФ, содержат эти примеси, так как присадочные материалы перемешаны с основным металлом. В докторской диссертации А.А. Чернобаевой, выполненной в РНЦ «Курчатовский институт» и посвященной проблемам радиационного охрупчивания материала корпусов реакторов, показано, что критическая температура хрупкости металла шва, отобранного таким образом, что надрез располагается на расстоянии 8 мм от линии сплавления выше, чем для центральной части шва [9], т.е. приходится на крайние валики!

Складывается однозначное мнение по поводу отбора металла сварных проб для ОС. Кольца для их изготовления выполняются из стали 15Х2НМФА, так как это не противоречит ни п. 7.7.8, ни п. 7.7.10 ПНАЭ Г-7-008-89. Но если это так, то представительность сварных проб для ОС, как минимум, требует дополнительного обоснования. Результаты испытаний образцов, вырезанных из ЗТВ такого металла, вообще нет смысла обсуждать. Для металла шва, в случае, если часть ОС вырезана из узкой части разделки, среднее значение критической температуры будет повышено. Но именно на результатах испытаний ОС сварных швов, выполненных подобным образом, делается вывод об их недостаточной радиационной стойкости [1, 2].

Вызывает определенное сомнение и то, что сварные пробы выполняются теми же исполнителями, с применением сварочных материалов той же партии или плавки, что и сварные швы обечаек активной зоны. Дело в том, что объем наплавленного металла достаточно велик, швы выполняются не одновременно, причем, для самого реактора, естественно, в первую очередь. Одной партии флюса или одной плавки проволоки вполне может и не хватить.

П. 7.7.11. «Заготовки (включая сварные соединения) для изготовления образцов-свидетелей должны подвергаться той же термической обработке, что и контролируемые изделия в процессе их изготовления и монтажа». Это можно прокомментировать следующим образом. «Той же термической обработке» в процессе изготовления означает, что в той же печи и одновременно. Иначе, это будет подобная термообработка, но не та же.

Неопределенности в ПНАЭ Г-7-008-89 относительно специальных требований к ОС, допускающие различные толкования, в некоторой степени обесценивают программу ОС. На заводах-изготовителях эти неопределенности всегда истолковываются определенным образом – в сторону упрощения и удешевления процесса изготовления. С научной точки зрения программы чрезвычайно ценны и позволили значительно продвинуться в изучении процессов радиационного [1,2,9] и теплового [10] охрупчивания материалов корпуса реактора, влияния химического

состава, условий облучения и других факторов [3,4,9]. Являются ли эти образцы «свидетелями» поведения материала данного конкретного реактора, позволяющими прогнозировать и корректировать его остаточный ресурс? В этом есть сомнение.

Учитывая результаты многочисленных исследований по ОС, назрела пора менять сам подход к формированию проб. Во-первых, металлурги уже накопили опыт выплавки и изготовления обечаек с одинаковым (в пределах допуска и по основным и по примесным элементам) химическим составом и свойствами [11, 12]. Результаты испытаний контрольных проб от обечаек, выпущенных реакторов, после основной термической обработки и после дополнительных отпусков положительные и находятся в узком интервале значений. Положительными являются и результаты испытаний ОС основного металла. Это означает, что разброса свойств от плавки к плавке, при их химическом составе в пределах допуска по основным и примесным элементам и правильно проведенной термической обработке, нет.

В связи с вышеизложенным (в том числе и с неопределенностью по отбору проб основного металла, допускаемого ПНАЭ Г-7-008-89) возникает вопрос: «Нужны ли нынешние жесткие требования ГАН относительно принадлежности материала проб основного металла для ОС конкретному корпусу реактора?». Вряд ли. А вот проверка химсостава на соответствие нормам, включая примеси, для различных обечаек, в том числе и предназначенные для отбора проб для ОС, с предъявлением представителям ГАН (или даже проведение независимого контроля) – нужна.

Второе. Исследования в рамках программ ОС показали, что радиационная стойкость сварных швов зависит в первую очередь от их химического состава: содержания Mn, Si и особенно Ni, его взаимодействие с Cu и P, а также наличия таких примесей, как Sn, Sb и As [11]. А вот разброса значений, в зависимости от номеров плавки или партии сварочных материалов (при химическом составе металла шва в пределах нормы), не прослеживается. В работах, выполненных в НПО «ЦНИИТМаш», ЦНИИ «Прометей» показано, что изменением состава флюса и режимов сварки можно корректировать состав и свойства наплавленного металла, в том числе и содержание примесей [1, 11]. Таким образом, как и для основного металла, для сварных швов определяющими при оценке свойств являются технологические параметры, а не различие в номерах плавки или партии.

Напрашивается вывод о том, что для изготовления проб для ОС совсем не нужно отбирать по остаточному принципу металл от штатных обечаек. Подход может быть таким. Весь металл для корпусов реакторов новых энергоблоков выплавлять из одной и той же стали с составом, наиболее предпочтительным с точки зрения сопротивления радиационному охрупчиванию. Обечайки активной зоны выковываются из плавок, лучше всего подходящих для этой цели. Одна из таких обечаек, поступивших на завод-изготовитель корпусов реакторов после всех технологических переделов, включая выполнение разделки кромок под сварку, разрезается пополам на два кольца, сваривается по штатному режиму донной частью с прибыльной и становится, таким образом, пробой для ОС. Термообработка осуществляется одновременно с другими обечайками активной зоны. Эта же обечайка может быть использована и для пробы другого реактора, изготавливаемого в близкий временной период.

Данный подход может быть использован для решения еще одной серьезной проблемы. На заводе «Атоммаш» на ответственном хранении находятся 6 корпусов реакторов ВВЭР-1000, изготовленных там в послечернобыльский период в полном соответствии с новыми требованиями ПНАЭ Г 7-008-89 и прошедшие жесткую приемку ГАЭН СССР. В настоящее время технического решения о дальнейшем использовании этих корпусов нет, так как у них отсутствуют комплекты ОС. Проблему с ОС этих реакторов можно решить, использовав материал обечаек и сварных

соединений активной зоны одного из них.

Основанием для такого решения является то, что все заготовки для этих реакторов были поставлены теми же поставщиками, в один и тот же временной период и имеют химический состав в пределах узкого допуска. Все применявшиеся сварочные материалы были изготовлены цехом флюсов и электродов ПО «Атоммаш», были аттестованы и приняты ГАЭН. Химический состав сварных швов соответствует требованиям нормативной документации и находится в узком интервале значений. Изготовление корпусов осуществлялось в одном и том же цехе, тем же коллективом аттестованных работников, по аттестованным технологиям и на аттестованном оборудовании в течение непрерывного временного периода. Согласно технической документации свойства материалов после проведения всех термообработок для всех корпусов находятся в узком интервале между верхними и нижними значениями.

Фактически, применение материала самого уже изготовленного реактора не требует обоснования представительности, так как он изначально предназначен для работы в условиях реального облучения энергетического реактора. Тем не менее, необходимо проведение химического анализа материала основного металла и сварных швов всех данных реакторов методами неразрушающего рентгеноспектрального анализа по наружной поверхности. Это позволит произвести селективный отбор мест для проб ОС, предназначенных разным реакторам, с учетом их химического состава. Выбор корпуса реактора, из которого будут изготовлены ОС, должен осуществляться на основе данного предварительного анализа и имеющихся архивных данных.

Уникальная возможность провести детальное исследование целого реактора, предназначенного для эксплуатации, позволяет рассмотреть ряд других вопросов, которые практически невозможно решить другими способами. Первое – появляется возможность рассмотреть химический состав, структуру и свойства металла самого реактора, а не контрольных проб, разрушающими и неразрушающими методами, сопоставив результаты с имеющимися материалами по пробам других реакторов. Второе – появляется возможность исследовать свойства материала ЗТВ под антикоррозионной наплавкой на различных ее участках непосредственно на реакторе. Третье – проводя неразрушающий контроль сварных соединений методами с повышенной чувствительностью, можно выбрать места с предполагаемыми реальными технологическими дефектами, что позволит провести исследования их характера и влияния на сопротивление малоциклового усталости и другие механические свойства. Четвертое – вырисовывается возможность проведения дополнительных исследований влияния радиационного охрупчивания на долговечность реального материала, отобранного из активной зоны изготовленного корпуса реактора. Это вызвано тем, что имеющиеся данные о результатах испытаний образцов-свидетелей, пока нельзя считать однозначными.

Можно привести и другие возможности по проведению исследований – в частности, об информативности результатов реализуемых программ исследования ОС. Согласно докладу Г. П. Карзова на МНТК-2010, фактический срок безопасной эксплуатации реактора неизвестен, так как не может быть определен прямыми экспериментами [13]. Поэтому в настоящее время срок безопасной эксплуатации определяется расчетным методом при проектировании и затем подвергается корректировке в процессе эксплуатации. Оценка эта косвенная и, естественно, должна быть консервативной. Для расчетов используются методы механики разрушения, с помощью которых определяется критический размер дефекта ( $a_p$ ). Если трещина превысит этот размер, может произойти катастрофическое разрушение. Понятно, что эта расчетная величина совсем не обязательно отражает реальное состояние металла эксплуатируемого реактора. Консерватизм оценок понуждает исследователей активно

работать над этой проблемой. Г.П. Карзов призывает развивать локальный подход в механике разрушения, связывающий ее критерии с физическими механизмами разрушения и структурой материала [13].

Такие работы активно ведутся. Еще в 70-х годах А.Я. Красовский применил фрактографический метод для оценки вязкости разрушения, связав ее величину с размером зоны «вытяжки» в вершине усталостной трещины на компактных образцах при квазихрупком разрушении [14]. Недавно в Курчатовском институте фрактографический метод был применен при исследовании ОС, испытанных на трещиностойкость. Была обнаружена корреляция между расстоянием от места зарождения хрупкого разрушения сколом до вершины усталостной трещины (CID) с коэффициентом интенсивности напряжений  $K_{Jc}$  [15]. Показано, что зарождение трещины скола осуществляется на округлых неметаллических включениях типа  $SiO_2$ . Применение статистических методов обработки поверхностей хрупкого разрушения, осуществленные в работах А.А. Чернобаевой, С.В. Скородумова и др. [16], позволило установить, что энергоемкость межзеренного разрушения и разрушения сколом в интервале вязко-хрупкого перехода практически не отличается.

Тем не менее, пока еще нет ясности в вопросе, каким должно быть состояние облученного материала, чтобы в нем зародилась и подросла трещина критического размера. Существование этой неясности будет сохранять консервативность оценок ресурса. Полезным было бы проведение дополнительного обследования исследованных ОС, испытанных для определения сдвига критической температуры  $\Delta T_k$ , с измерением деформационной характеристики [17] – степени искажения формы образца в зоне концентратора напряжений. Наличие такого искажения говорит о том, что материал при данной температуре еще не достиг критической степени охрупчивания.

Наиболее вероятным и практически единственным механизмом подрастания трещины до критического размера, который может реализоваться в материале корпуса реактора – это усталостный механизм. Структурно-чувствительным параметром распространения усталостной трещины является показатель степени  $m$  в уравнении Пэриса  $dL/dN = C\Delta K^m$  [18, 19]. В материале, охрупченном при радиационном или тепловом воздействии, в интервале вязко-хрупкого перехода на усталостном изломе, на фоне типично усталостного рельефа с характерными усталостными бороздками, появляются локальные участки межзеренного разрушения или отдельные фасетки скола [19]. Угол наклона кривой Пэриса резко увеличивается, т.е. растет коэффициент  $m$ . Такой результат был получен, в частности, и при испытании компактных образцов стали 15X2МФА, испытанных на усталость в интервале ВХП [20]. Проведение таких исследований и соответствующие испытания ОС позволят оценить возможность ускоренного развития усталостной трещины радиационно-охрупченного материала.

## ВЫВОДЫ

1. Существующим программам ОС присущ дефицит представительности, один из которых заложен уже в самом принципе изготовления проб, сформулированном в ПНАЭ Г-7-008-89. В нормах заложены некоторые неопределенности относительно отбора материала, которые позволяют по-разному трактовать их содержание.

2. Анализ результатов испытаний контрольных проб основного металла и сварных соединений различных реакторов, а также испытаний ОС, показывает, что свойства, в том числе радиационное охрупчивание, зависят от содержания основных и примесных элементов. Однако нет разброса свойств, связанного с изменением плавки или партии материалов, при отсутствии отклонений от марочного состава стали и соблюдении режимов термической обработки.

3. Для изготовления ОС для корпусов реакторов, находящихся на ответственном хранении на территории завода «Атоммаш», можно использовать материал активной зоны одного из корпусов. Для выработки технического решения по отбору проб для ОС необходимо провести детальное обследование всех корпусов неразрушающими методами и лабораторные исследования отобранного корпуса, в сопоставлении с имеющимися данными и накопленным опытом. По результатам исследования произвести селективный отбор проб для ОС остальных корпусов реакторов.

4. Необходимо проведение дополнительных исследований влияния радиационного охрупчивания на долговечность реального материала, отобранного из активной зоны изготовленного корпуса реактора. Это вызвано тем, что имеющиеся данные о результатах испытаний ОС, относительно остаточного ресурса эксплуатируемых реакторов, пока нельзя считать однозначными.

5. Информативность результатов испытаний ОС можно существенно повысить, введя в программу контроля испытания на циклическую трещиностойкость с построением кривой Пэриса и определением структурно-чувствительного параметра – показателя степени  $m$ , зависящего от степени охрупчивания материала. Увеличение этого параметра будет свидетельствовать о возможности появления и подрастания усталостной трещины до критического размера.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов, А.М., Николаев, В.А., Юрченко, Е.В. О влиянии легирующих элементов на радиационное охрупчивание никельсодержащих корпусных материалов реакторов ВВЭР-1000 [Текст] / А.М. Морозов ; В.А. Николаев ; Е.В. Юрченко // Вопросы атомной науки и техники. – 2004. – №3. – С. 46–52.
2. Гурович, Б.А., Штромбах Я.И. Структурные критерии выбора режима восстановительного отжига материалов корпусов реакторов ВВЭР-1000 [Текст] / Б.А. Гурович ; Я.И. Штромбах и др. // Вопросы атомной науки и техники. – 2010. – №5. – С. 50–57.
3. Гриник, Э.У., Ревка, В.Н. Радиационное охрупчивание корпусных сталей с различным содержанием никеля [Текст] / Э.У. Гриник ; В.Н. Ревка и др. // Вопросы атомной науки и техники. – 2005. – №3. – С. 73–77.
4. Буканов, В.Н., Вишневский, И.Н. Мониторинг состояния металла корпусов реакторов ВВЭР-1000 в Украине [Текст] / В.Н. Буканов ; И.Н. Вишневский и др. // Ядерна Фізика та енергетика. – 2011. – Т. 12. – №3. – С. 272–280.
5. Красиков, Е.А. Усовершенствование программы образцов-свидетелей для контроля металла корпусов реакторов [Электронный ресурс] / Е.А. Красиков ; коллектив авторов. – Режим доступа: URL: <http://www.mntk.rosenergoatom.ru/> – 22.11.2012.
6. ПНАЭ Г 7-008-89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
7. ПНАЭ Г-002-86 «Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
8. МНТК-2010. Современные требования к программам контроля корпусов реакторов в процессе эксплуатации по образцам-свидетелям для ВВЭР-1000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.reamntk.ru/dokladi.html/> – 22.11.2012.
9. Чернобаева, А.А. Обоснование моделей радиационного охрупчивания материалов корпусов реакторов и процедуры их применения для оценки состояния эксплуатирующихся корпусов реакторов : автореф. дис. докт. техн. наук [Электронный ресурс] / А.А. Чернобаева. – М., 2009. – Режим доступа: URL: <http://dissers.ru/2tehnicheskie/> – 22.11.2012.
10. Петелина, А.А., Юханов, В.А., Шур, А.Д. Оценки изменения сдвига критической температуры хрупкости стали 15Х2НМФА в результате термического старения [Электронный ресурс] / А.А. Петелина, В.А. Юханов ; А.Д. Шур. – Режим доступа: URL: <http://www.sworld.com.ua/konfer23/317.htm/> – 22.11.2012.
11. Дуб, А.Д. Прогресс на поле технологий. Комплексный компетентный подход и своевременная смена приоритетов в развитии материаловедения. РЭА [Электронный ресурс] / Д.А. Дуб. – Режим доступа: URL: <http://www.rosenergoatom.info/> – 22.11.2012.

12. *Марков, С.И.* Металловедческие основы производства заготовок для высоконадежных элементов энергетических и трубопроводных систем : автореф. дис. докт. техн. наук [Электронный ресурс] / С.И. Марков. – М., 2012. – Режим доступа: URL: <http://cniitmash.ru/> – 22.11.2012.
13. *Карзов, Г.П.* О сталях для реакторов ВВЭР [Текст] / Г.П. Карзов. – Режим доступа: URL: <http://www.atominfo.ru/> – 22.11.2012.
14. *Красовский, А.Я., Вайншток, В.А.* Критерий разрушения материалов, учитывающий вид напряженного состояния у вершины трещины [Текст] / А.Я. Красовский ; В.А. Вайншток // Проблемы прочности. – 1978. – №5. – С. 64–69.
15. *Ерак, А.Д., Кулешова, Е.А.* Фрактографические исследования образцов-свидетелей основного металла корпуса реактора ВВЭР-1000, испытанных на трещиностойкость [Электронный ресурс] / А.Д. Ерак ; Е.А. Кулешова. – Режим доступа: URL: <http://www.Gidropress.podolsk.ru/> – 22.11.2012.
16. *Чернобаева, А.А., Скородумов, С.В.* Вклад зернограничного разрушения в изменение критической температуры хрупкости стали 15Х2НМФА и ее сварных соединений [Текст] / А.А. Чернобаева ; С.В. Скородумов и др. // МиТОМ. – 2011. – №8. – С. 27–34.
17. *Колоколов, Е.И.* Исследование особенностей разрушения конструкционных сталей в интервале вязко-хрупкого перехода при различных условиях разрушения : автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / Е.И. Колоколов. – 1979. – 26 с.
18. *Ritchie R., Knott J.* Acta Metallurgica. – 1973. – v. 21. – №5. – p. 639.
19. *Ботвина, Л.Р., Колоколов, Е.И.* Закономерности развития усталостных трещин в интервале вязко-хрупкого перехода [Текст] / Л.Р. Ботвина ; Е.И. Колоколов // МиТОМ. – 1976. – №8. – С. 45–48.
20. *Ботвина, Л.Р., Колоколов, Е.И., Бобринский, А.П., Маркочев, В.М.* Фрактография и вязкость разрушения сталей при статическом и циклическом нагружении в интервале вязко-хрупкого перехода [Текст] / Л.Р. Ботвина ; Е.И. Колоколов ; А.П. Бобринский ; В.М. Маркочев // Циклическая вязкость металлов и сплавов. – М. : Наука, 1981. – С. 126–134.

## About representativeness of reference specimens

E. I. Kolokolov

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,*

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

*e-mail: VITkafMPM@mephi.ru*

**Abstract** – Special requirements for reference specimens (RS) RNNE G-7-008-89 (“Rules of setup and safe using of nuclear power plants’ equipment and pipelines”) were analyzed. It was occurred that the requirements were ambiguous and could imply some different interpretations in the course of selection materials for reference specimens. It leads to the degression of their representativeness while estimation of exploited nuclear reactors’ residual resource. The new approach to the forming of samples for reference specimens making was suggested. On the base of that approach the technical solution for reference specimens making for WWER-1000 vessels was proposed. Today the WWER-1000 vessels are at the plant “Atommash” according to the agreement of bailment. It was also suggested to extend the program of reference specimen testing and add to it the estimation of the criteria testifying a possible fatigue crack and its extreme accretion in the material weakened with radioactive irradiation.

**Keywords:** reference specimens, reactor vessels, parent metal, joint metal, radiation resistance, making brittle, active zone, standard ferrules, ring welded sample, chemical composition, doped elements, fractographic method, visco-brittle transfer.

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.039.564

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

© 2012 г. М.В. Жилина

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

Поступила в редакцию 10.02.2012 г.

Рассматривается применение метода Монте-Карло с использованием метода локальной оценки потока в задачах радиационного мониторинга окружающей среды. С помощью разработанного метода были рассчитаны радиальные распределения мощности дозы фотонного излучения от объемного и поверхностного (стены, пол, потолок) источников фотонного излучения, возникающих при выбросе газоаэрозольной радиоактивной примеси в контаймент реактора, которые удовлетворительно согласуются с данными, полученными иным способом (методы дискретных ординат, моментов).

Разработанный метод применим для решения следующих практических задач: оценка величины мощности дозы и фактора накопления от радиоактивного газоаэрозольного столба, возникающего при выбросе радиоактивной примеси через венттрубу АЭС, что в дальнейшем позволяет определить полную объемную активности примеси; определение оптимальной высоты и площади сканирования при оценке радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности с помощью БДК, а также определение спектральных характеристик фотонного излучения по показаниям датчиков АСКРО.

*Ключевые слова:* метод Монте-Карло, радиационные характеристики, мощность дозы фотонного излучения, радиационный мониторинг, беспилотный дозиметрический комплекс, спектральные характеристики.

В настоящее время основные методы расчёта мощностей доз от радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, а также воздушного бассейна, служащие для оценки мощностей доз внешнего облучения, основаны либо на концепции лучевого равновесия, либо, в лучшем случае, на интегральных методах с учётом фактора накопления [1].

Анализ методов оценки последствий радиационных аварий в помещениях реакторного блока на АЭС показал невозможность использования метода лучевого равновесия для оценки величины мощности дозы внешнего облучения в силу нарушения условий однородности среды на границе раздела двух сред, а для использования интегрального метода требуется знание величины дозового фактора накопления [2].

Одним из перспективных методов решения поставленной задачи является метод Монте-Карло, представляющий собой численное моделирование физического процесса распространения фотонного излучения в среде, который свободен от этих недостатков [3], тогда как технические возможности ныне существующих персональных компьютеров позволяют использовать этот метод без каких-либо ограничений.

Указанный подход к расчету доз на местности позволяет более корректно оценивать радиационные поля на площадке реакторного блока, в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН). Это, в свою очередь, позволит повысить

требования к системам локализации аварий на реакторном блоке и, следовательно, повысит его безопасность.

Прежде чем оценивать радиационную обстановку окружающей среды, необходимо охарактеризовать ситуацию во внутренних помещениях АЭС или радиационно-опасном предприятии, где произошла авария, и, в первую очередь, определить дозовые нагрузки на персонал.

В условиях радиационной аварии при равномерном распределении концентрации газоаэрозольной радиоактивной примеси по объему энергоблока оценку дозовых нагрузок на персонал в любой точке нахождения субъекта можно получить расчетным путем, используя интегральный метод расчета мощности дозы внешнего облучения  $D'(x_i, y_j, z_k)$ :

$$D'(x_i, y_j, z_k) = E_\gamma \eta(E_\gamma) \gamma(E_\gamma) q_0 \int_V B_F(E_\gamma, R) \exp(-\mu(E_\gamma)R) / R^2 dV, \quad (1)$$

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

$x, y, z$  – текущие координаты  $dV = dx dy dz$ ;

$\eta(E_\gamma), \mu(E_\gamma), \gamma(E_\gamma)$  – квантовый выход, коэффициенты линейного ослабления и поглощения фотонного излучения в воздухе с энергией  $E_\gamma$  соответственно;

$q_0$  – объемная активность;

$B_F(E_\gamma, R)$  – фактор накопления;

$R$  – расстояние между элементарным источником  $dV$  и точкой детектирования,

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

$V$  – область интегрирования.

Однако для оценки этой величины требуется знание дозового фактора накопления, величина которого известна для бесконечной, полубесконечной сред и в условиях барьерной геометрии [4], поскольку рассматриваемая среда не подходит ни под одну из перечисленных, величина  $B_F(E_\gamma, R)$  остается неопределенной, в связи с чем и возникает задача разработки метода её оценки. Как указывалось ранее, одним из перспективных методов решения поставленной задачи является метод Монте-Карло.

Расчет дозового фактора накопления и мощности доз внешнего облучения указанным методом осуществлялся от объемного и поверхностного источников  $\gamma$ -квантов, возникающих при аварии, при условии, что расстояние источник – детектор не превышает  $4\mu d$ . В основе аварии лежит сценарий, в соответствии с которым в контаймент, который моделируется цилиндром конечной высоты  $H_k = 25$  м и радиусом  $R_k = 22,5$  м с защитной бетонной оболочкой, выбрасывается радиоактивная газоаэрозольная примесь, распределяющаяся за короткий промежуток времени равномерно по его объему, представляя собой объемный источник. После выдержки и удаления из контаймента радиоактивной газовой фазы внутренняя поверхность контаймента (пол, потолок, стены), на которой сорбируются радиоактивные аэрозоли, представляет собой поверхностный источник (рис. 1).

Для полного представления о работе программы рассчитывались радиальные распределения мощности дозы  $D'(r, h, E_0)$  и фактора накопления  $B_F(r, h, E_0)$  (рис. 2) на различной высоте в контайменте и для различных энергий  $\gamma$ -квантов [2]. Радиальные распределения мощности дозы  $D'(r, h, E_0)$  нормировались на значение мощности дозы  $D'(r, h, E_0)$ , вычисленной в точке  $r = 0, h = 1$  м при той же энергии фотонного излучения.

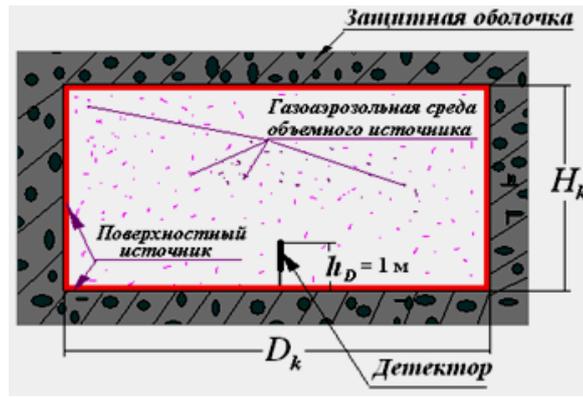


Рис. 1. Измерение мощности дозы в контейменте,  $H_k$ ,  $D_k$  – высота и внутренний диаметр контеймента.

С целью проверки результатов расчетов, полученных в рамках метода Монте-Карло и обоснования методики оценки последствий радиационных аварий в помещениях реакторного блока с реактором ВВЭР-1000 были проведены расчеты радиальных распределений мощности дозы внешнего облучения и дозового фактора накопления по программам «Каскад-Радуга» [5], основанных на методе дискретных ординат [6].

На рис. 3 приведены радиальные распределения мощности дозы внешнего облучения и фактора накопления от поверхностного источника в контейменте реактора для энергии фотонного излучения равной  $E_0 = 0,261$  МэВ при  $h = 4$  и 11м, полученные в рамках метода Монте-Карло (1,2) и методом дискретных ординат (3,4) по программе «Каскад-Радуга» (5).

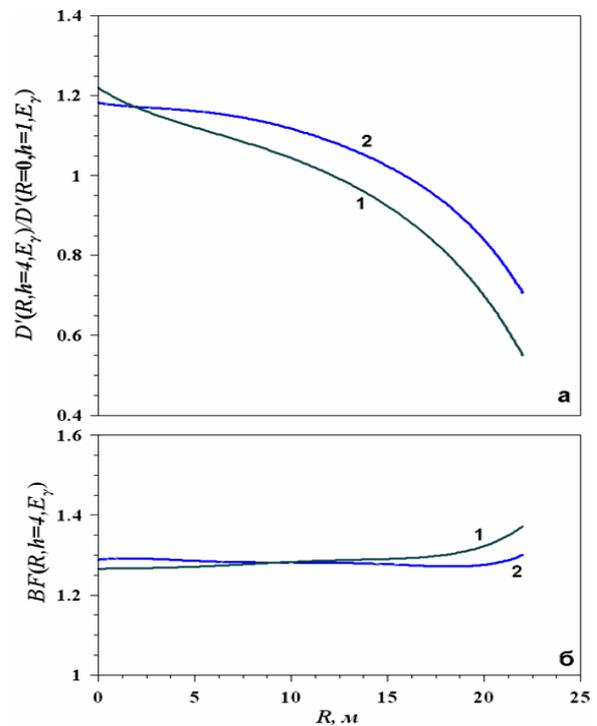


Рис. 2. Радиальные распределения мощности дозы  $D'(r, h, E_0)/D'(0, 1, E_0)$  (а) и дозового фактора накопления  $B_F(r, h)$  (б) в контейменте реактора ВВЭР-1000 при  $E_0 = 0,261$  МэВ на высоте  $h = 4$  м. расчет методом: Монте-Карло (1); по программе «Каскад-Радуга»(2).

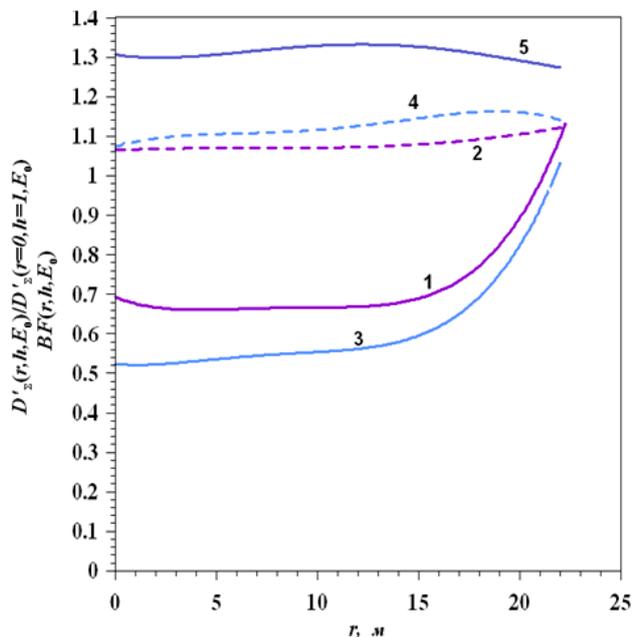


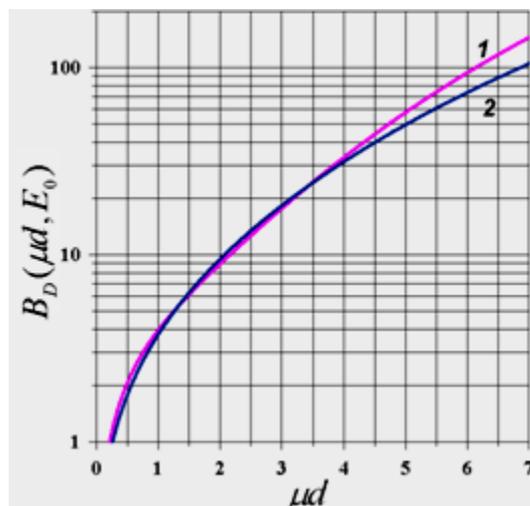
Рис. 3. Радиальные распределения мощности дозы внешнего облучения  $D'_\Sigma(r, h, E_0)/D'_\Sigma(r=0, h=1, E_0)$  (1,3) и фактора накопления  $B_F(r, h, E_0)$  (2,4,5) от поверхностного источника в контейменте при  $E_0 = 0,261$  МэВ на высоте  $h = 4$ м (1,2);  $h = 11$  м (3,4,5). Расчет методом Монте-Карло (1,2,3,4) и по программам «Каскад-Радуга»(5).

При проведении расчётных оценок радиационных характеристик в контайменте реактора ВВЭР-1000 в условиях радиационных аварий по методу Монте-Карло [2,7] было получено, что при использовании объёмного или поверхностного изотропных источников результаты, полученные в указанных работах, удовлетворительно согласуются с расчетными данными, найденными иными методами (методом моментов, методом дискретных ординат) на расстояниях от источника не больших 4 длин свободного пробега ( $\mu d$ , д.с.п.).

При решении задач прохождения фотонов через однородную гомогенную среду (воздух) для плоского мононаправленного источника было найдено, что область применимости указанного метода ограничивается  $\mu d \approx 10$  [8], а в работе [6] –  $\mu d \approx 6-8$ .

Таким образом, различие в диапазоне области применимости метода Монте-Карло в указанных выше работах потребовало её уточнения, как для плоского мононаправленного источника, так и для изотропных источников, объёмное и поверхностное распределения которых представляют собой наиболее реальные источники при распространении радиоактивной газоаэрозольной примеси в атмосфере.

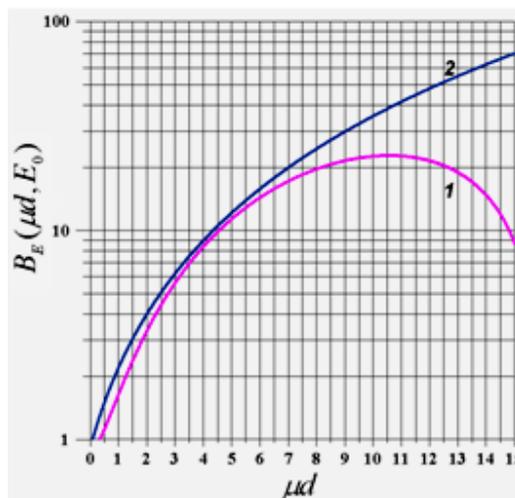
При проведении расчетных исследований наиболее характерной величиной, по которой можно было бы проследить уточнение диапазона применимости метода Монте-Карло, является величина дозового или энергетического факторов накопления. Поэтому для решения поставленной задачи было целесообразно найти пространственное распределение дозового фактора накопления  $B_D(\mu d, E_0)$  точечного изотропного источника фотонного излучения в однородной гомогенной среде (воздухе) при различных энергиях фотонов ( $E_0$ ), который в дальнейшем мог бы быть использован в интегральных методах оценки распределений мощностей доз [4,6].



**Рис. 4.** Дозовый фактор накопления  $B_D(\mu d, E_0)$  при  $E_0 = 0,15$  МэВ в воздухе от точечного изотропного источника фотонного излучения. Расчет методом Монте-Карло (1); методом моментов (2) [4].

Полученные зависимости дозового фактора накопления как функции от расстояния источник – детектор  $\mu d$ , представленные на рис. 4, показывают, что расчеты, выполненные по методу Монте-Карло совпадают с результатами, представленными в работе [4] в пределах погрешности (10-15%) до  $\mu d \leq 4$  при начальных энергиях фотонного излучения от 0,1 до 1,5 МэВ, а при  $\mu d > 4$  расхождение с другими результатами возрастает. В работе [8] было получено, что предельным расстоянием в единицах  $\mu d$ , при котором результаты расчёта методом Монте-Карло согласуются с результатами работы [4], составляет 8 – 10 д.с.п. фотона в рассматриваемой среде. Чтобы убедиться в корректности разработанного алгоритма, использующего метод Монте-Карло и его применимости при  $\mu d \leq 4$  для точечного

изотропного источника [4], целесообразно было проверить работу программного модуля с использованием плоского мононаправленного источника фотонов, представляющего собой суперпозицию точечных мононаправленных источников, равномерно распределённых на плоскости. Зависимость энергетического фактора накопления  $B_E(\mu d, E_0)$  от расстояния источник-детектор  $\mu d$  при энергии фотонов  $E_0 = 0,5$  МэВ представлена на рис. 5 [9].



**Рис. 5.** Энергетический фактор накопления  $B_E(\mu d, E_0)$  при  $E_0 = 0,5$  МэВ в воде от плоского мононаправленного источника фотонного излучения. Расчет методом Монте-Карло (1); методом моментов (2) [4].

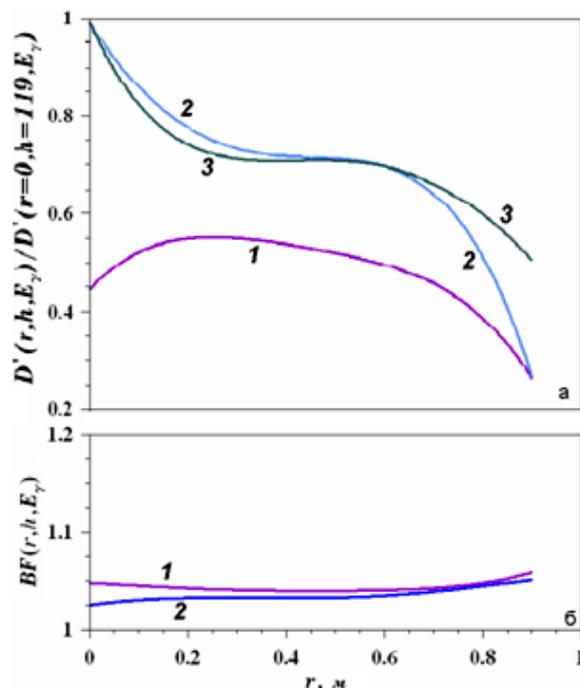
Как видно из рисунков зависимости энергетического фактора накопления  $B_E(\mu d, E_0)$  для различных энергий фотонов [9], расчеты, выполненные по методу Монте-Карло, совпадают с результатами, представленными в работе [4] в пределах погрешности (10-15%), при  $\mu d \leq 7-8$ , а при  $\mu d > 7-8$  расхождение с другими результатами возрастает. Из рисунков также видно, что вид зависимости для экспериментальных данных значительно отличается от зависимости  $B_E(\mu d, E_0)$ , полученной по данным работы [4], то есть, начиная с некоторого  $\mu d$  (с  $\mu d = 8-9$ ) кривая, полученная по методу Монте-Карло, убывает, а кривая, построенная по данным работы [2,7], возрастает при увеличении  $\mu d$ , что и согласуется со всеми известными результатами [4].

Таким образом, анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что метод Монте-Карло применим для оценки мощностей доз внешнего облучения от изотропного источника, включая и точечный, при  $\mu d \leq 4$  (погрешность при этом не превышает 10%), а для плоского мононаправленного источника фотонного излучения метод применим для  $\mu d \leq 7-8$  (погрешность составляет 10-15%).

Перспективными методами, позволяющими уменьшить погрешность расчетов на больших расстояниях от источника излучения, являются методы смещенных пробегов и минимума дисперсии (МД – метод) [4,6]. Использование указанных методов позволяет расширить диапазон применимости метода Монте-Карло до 15 – 16 д.с.п., при этом погрешность составляет величину не большую 15–20% [9].

С помощью разработанного метода можно оценить величину мощности дозы, создаваемую в вентиляционной трубе АЭС непосредственно радиоактивной газо-аэрозольной примесью при выбросе последней. При этом использование несложных технологий [7] позволяет определить не только величину её объемной активности, но и парциальную активность каждого радионуклида. Как показывают расчеты, которые проводились в рамках работы [7] с использованием метода Монте-Карло, радиальное

распределение мощности дозы в венттрубе диаметром  $\sim 2$  м при равномерном распределении газоаэрозольной радиоактивной среды носит неравномерный характер, который отличается в зависимости от высоты измерения (расчета) (рис. 6). Что же касается фактора накопления, то расчеты, проведенные в этой же работе, показывают (рис. 6), что величину последнего с погрешностью не более 10% можно принять за постоянную  $B_F(E_\gamma, r_e) = B_{F_c} \cong 1,05$ .



**Рис. 6.** Радиальное распределение мощности дозы внешнего облучения (а) и фактора накопления (б) от газоаэрозольного источника, равномерно распределенного по объему вентиляционной трубы на высоте 0,5 м от ее основания ( $E_\gamma=0,261$  МэВ) (1), в устье на высоте 119 м при  $E_\gamma=0,261$  МэВ (2) и при  $E_\gamma=0,661$  МэВ (3) [7].

Для решения задач, связанных с оценкой уровней радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности в следе радиоактивного облака или на территориях, ранее подвергшихся радиоактивному загрязнению, целесообразно использовать беспилотный дозиметрический комплекс (БДК) [10]. Для чего проводится пилотирование БДК над подстилающей поверхностью на определенной высоте, регистрируется аппаратный спектр гамма-излучения радионуклидов, загрязняющих подстилающую поверхность, а гамма-детектором регистрируется значение мощности дозы гамма-излучения [10].

В этой работе основное внимание уделялось определению поверхностной концентрации радиоактивных аэрозолей в следе радиоактивного облака.

Парциальная концентрация радионуклидов определяется выражением:

$$\chi(p_i) = \frac{D'_{tot}(x_0, y_0, h_D) \cdot p_i}{2\pi \cdot 1.458 \cdot 10^5 \sum_{i=1}^N \gamma(E_i) E_i \nu(E_i) \psi(E_i) \beta(E_i) p_i \left\{ \int_{h_D}^{\infty} \frac{\exp[-\mu(E_i)U]}{U} dU - \int_{h_D \sqrt{m^2+1}}^{\infty} \frac{\exp[-\mu(E_i)U]}{U} dU + \frac{a_i}{1-b_i} \exp[\mu(E_i)h_D(b_i-1)\sqrt{m^2+1}] \right\}}$$

где  $p_i$  находят по формуле на основе показаний спектрометрического датчика.

Оценка указанной величины потребовала уделить существенное внимание определению высоты и эффективной площади сканирования (рис. 7).

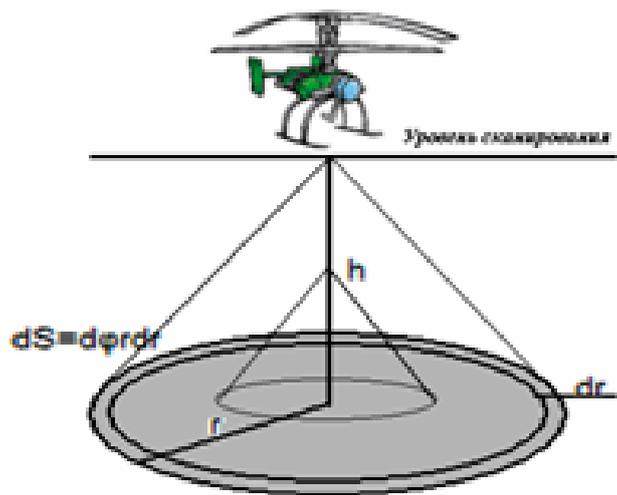


Рис. 7. Определение оптимальной высоты сканирования подстилающей поверхности.

Для оценки высоты пилотирования проводились расчеты высотного распределения мощности дозы для различных энергий фотонного излучения с учетом отражения  $\gamma$ -квантов от подстилающей поверхности (методом Монте-Карло) и без (по аналитической формуле, с учетом фактора накопления в виде Бергера) (рис. 8). Результаты расчетов выявили существенное различие в распределениях [10]. Наиболее простой способ учесть это отличие состоит в определении поправочной функции  $\psi(E_i) = D'_{МК}/D'_Ф$  (рис. 9), которая не зависит от высоты сканирования, где  $D'_{МК}$  – мощность дозы фотонного излучения, рассчитанная методом Монте-Карло,  $D'_Ф$  – мощность дозы фотонного излучения, рассчитанная по формуле [10]. Введение поправочной функции  $\psi(E_i)$  позволяет уменьшить погрешность расчета аналитическими методами до 10% (погрешность метода Монте-Карло).

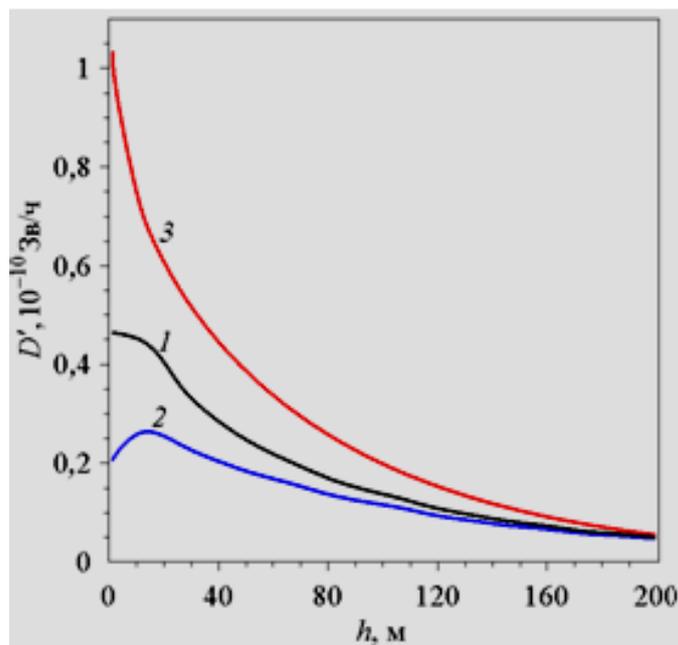
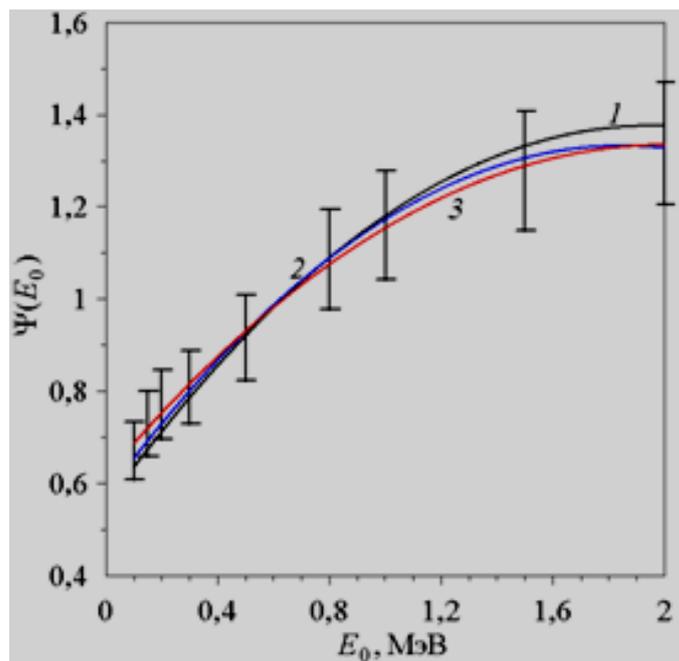


Рис. 8. Зависимость мощности дозы фотонного излучения на высоте от подстилающей поверхности, загрязненной в результате радиационной аварии, как функция высоты для  $\gamma$ -квантов  $E_\gamma = 0,15$ , рассчитанная методом Монте-Карло (суммарное излучение (1), рассеянное излучение (2)) и по формуле [10] (3).



**Рис. 9.** Расчетные значения поправочного коэффициента  $\psi(E_i)$  как функции энергии гамма-излучения на высоте 60 м (1), 80 м (2), 100 м (3).

Результаты оценки высоты сканирования подстилающей поверхности, загрязненной радиоактивными аэрозолями в результате радиационной аварии, показали, что оптимальная высота сканирования, на которой БДК должен осуществлять радиационный контроль составляет от 40 до 100 м (ниже будет мешать растительный покров и неоднородность орографии подстилающей поверхности, выше – происходит существенный спад мощности дозы гамма-излучения и для набора достаточной статистики при работе спектрометра необходимо более продолжительный промежуток времени, что не обеспечивает условие передачи информации в режиме on-line), а радиус эффективной площади сканирования определяется соотношением  $r_{\text{тр}} \approx 3h_D$ .

В условиях, когда выброс радиоактивных примесей происходит не через венттрубы АЭС, а из отверстий, клапанов, неплотностей сосудов, рваных отверстий или щелей, возникающих в случае взрыва или разрыва резервуаров, находящихся под высоким давлением и высокой температурой, экспериментально почти невозможно определить ни параметры струи, выбрасываемой из отверстий, ни объемную активность примесей, ни их радиационные характеристики, поскольку не известен спектр или средняя энергия фотонного излучения, и, в конечном счете, невозможно определить масштабы радиоактивного загрязнения окружающей среды и оценить его экологические последствия, так как подобные аварии являются крайне редкими и не могут быть прогнозируемыми. Тем не менее, радиоактивное загрязнение окружающей среды в этом случае может быть успешно оценено при использовании показаний технологических датчиков, устанавливаемых в сосудах и определяющих температуру и давление среды, и показаний датчиков автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), определяющих мощность дозы внешнего облучения от облака, образовавшегося в результате выброса. При этом датчики на промплощадке и в СЗЗ должны быть расположены по определенному правилу, которое требует, чтобы расстояние от возможного источника радиационной опасности (АЭС) до любого датчика было строго различно. Чтобы убедиться в этом, достаточно рассмотреть в общем случае выражение для мощности дозы в точках  $P_{i,j,k} = P(x_i, y_j, z_k)$ , расположенных на подстилающей поверхности:

$$Q_V \int_{E_{min}}^{E_{max}} \alpha(E) \mu_a(E) \left[ B(E, R_{i,j,k}) / R_{i,j,k}^2 \right] \exp[-\mu(E)R_{i,j,k}] \varphi(E) E dE = D(R_{i,j,k}), \quad (2)$$

где  $R_{i,j,k} \equiv R_i; i = 1, 2, 3 \dots N_d$ ;

$N_d$  – достаточное число детекторов фотонного излучения системы АСКРО [11].

Уравнение (2) относительно функции  $\varphi(E)$  представляет собой уравнение Фредгольма первого рода и относится к классу некорректных задач при заданной погрешности  $\Delta D$  измерения датчиков фотонного излучения. Нетривиальное решение этого уравнения возможно, если  $R_i \neq R_{i+1} \neq R_{i+2} \dots R_{N_d}$ . Уравнение (2) решают заменой  $\varphi(E)$  групповым спектром, аппроксимацией интеграла конечной суммой и, таким образом, при различных  $i$  задачу сводят к системе линейных алгебраических уравнений, т.е. решают систему вида:

$$\hat{A} \vec{\varphi} = \vec{D}, \quad (3)$$

где  $\hat{A}$  – матрица  $N_d \times M$  ( $N_d \geq M$ ) с матричным элементом  $a_{i,j}$ :

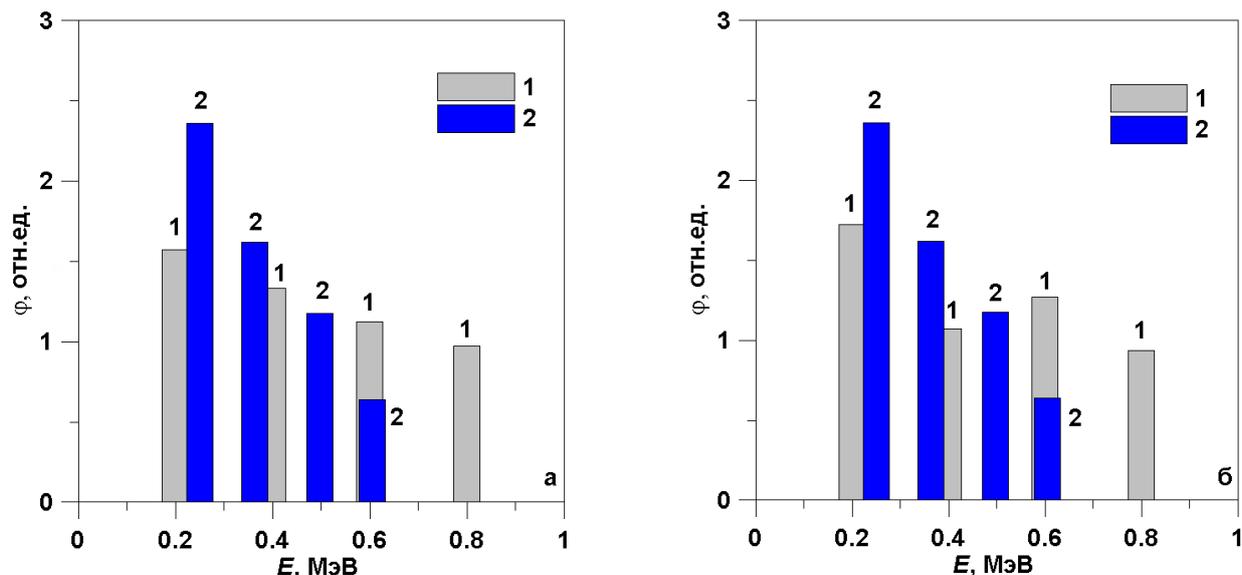
$$a_{i,j} = a(E_j) \mu(E_j) \left\{ 1 + a(E_j) \mu(E_j) R_i \exp[b(E_j) \mu(E_j) R_i] \right\} \exp[-\mu(E_j) R_i] E_j \Delta E,$$

где  $\vec{\varphi}$  – вектор искомого решения с компонентами  $\varphi_j, j = 1, 2, 3, \dots M$ ;

$\vec{D}$  – заданный вектор результатов измерений с компонентами  $D_i = D(R_i) R_i^2 / Q_V$ .

Из имеющихся методов решения подобных систем уравнений наибольшее применение получили методы регуляризации [12] и итеративной регуляризации [13], в которых искомое решение находят, учитывая погрешность как правой части уравнения (3), так и оператора  $\hat{A}$ , если она есть (в данной задаче эта погрешность может быть обусловлена фактором накопления). Вместе с тем, для задач спектрометрии ионизирующего излучения разработаны и специальные методы, особенностью которых является жесткое требование положительности решения  $\varphi_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots M$  и отсутствие погрешности в операторе  $\hat{A}$  [14,15]. Для проверки методов расчета  $\varphi_j$  используется так называемый метод «бумажного эксперимента»: задают исходный спектр  $\varphi_{app}(E)$ , затем по уравнению (3) находят значения  $D(R_i)$ , которые искажают в пределах погрешности реальных показаний датчиков (15÷25%), после чего решают обратную задачу определения  $\varphi_j$ . [11]. Однако в рамках данной работы нет необходимости искажать результаты показаний датчиков АСКРО, так как значения мощностей доз внешнего облучения рассчитывались с помощью программного модуля, в основе которого лежит метод Монте-Карло [2,3,9], а статистическая погрешность указанного метода составляет 10-15%.

Для решения уравнения (3) были использованы методы N. Scofield [14] и Y. Su [15]. Эти методы отличаются от метода работы [12] тем, что они требуют строгой положительности решения, что полностью отвечает рассматриваемой задаче. Между собой эти методы отличаются определенным алгоритмом, суть которого сводится к поправке диагональных элементов матрицы. Последнее определяет скорость сходимости задач, которые решают, используя итерационные процедуры.



**Рис. 10.** Гистограммы спектров фотонного излучения: 1 – восстановленный с использованием метода N.Scofield ( $E_{cp}=0,460$  МэВ) (а) и Y.Su ( $E_{cp}=0,457$  МэВ) (б), 2 – исходный  $\varphi(E)_{app}$  ( $E_{cp}=0,458$  МэВ).

Условие  $R_i \neq R_{i+1} \neq R_{i+2} \dots \neq R_{N_d}$ ,  $i = 1, 2, 3 \dots N_d$  накладывает определенные требования на размещение датчиков фотонного излучения АСКРО, которые сводятся к исключению осевой и центральной симметрии при их размещении. Более подробно принцип размещения датчиков АСКРО в СЗЗ рассмотрен в [11].

На рис. 10 представлены результаты решения уравнения (3) по методам N. Scofield [14] и Y. Su [15]. Анализ гистограмм показывает, что исходный и восстановленный спектры удовлетворительно согласуются в области мягких энергий (до 0,6 МэВ), что подтверждается данными работы [16].

По гистограммам восстановленных спектров фотонного излучения (рис. 10) стало возможно определить среднюю энергию фотонного излучения. Вычисление средней энергии фотонного излучения радиоактивной примеси, формирующей радиоактивное облако, позволяет найти все необходимые параметры для проведения прогностических оценок дозовых нагрузок на персонал и население в условиях радиационных аварий. Средняя энергия представленных распределений представляет собой интегральную величину:

$$E_{cp} = \frac{\int_{E_{min}}^{E_{max}} E \varphi(E) dE}{\int_{E_{min}}^{E_{max}} \varphi(E) dE}$$

В таблице 1 приведены результаты расчетов спектров и средних энергий фотонного излучения, выполненные по методам N. Scofield [14], Y. Su [15], априорного спектра  $\varphi_{app}(E)$ , а также решение системы линейных алгебраических уравнений, полученное тривиальным обращением матрицы (неудовлетворительное решение):  $\vec{\varphi} = (\hat{A}^* \hat{A})^{-1} \vec{b}$ , где  $\hat{A}^*$  – матрица сопряженная  $\hat{A}$ ,  $(\hat{A}^* \hat{A})^{-1}$  – обратная матрица размером  $M \times M$ ;  $\vec{b} = \hat{A}^* \vec{D}$  – вектор. Сравнение результатов расчетов средних энергий восстановленных спектров и средней энергии априорного спектра показывает абсолютное совпадение значений средней энергии  $E_{cp}$ , абсолютная погрешность расчетов составляет не более 1 %.

**Таблица 1.** Сравнение исходного  $\phi_{\text{апр}}$  и восстановленных спектров

Индекс $j$	Энергия $E_j$ , МэВ	Спектр $\phi(E_j)$						
		Априорный	$E_{\text{ср}}$ , МэВ	Вычисленный методом				
				Y.Su [22]	$E_{\text{ср}}$ , МэВ	N. Scofield [21]	$E_{\text{ср}}$ , МэВ	обр. matr.
1	0,25	2,359	0,458	1,722	0,460	1,573	0,457	19,285
2	0,364	1,618		1,070		1,332		-33,735
3	0,497	1,178		1,269		1,123		28,269
4	0,605	0,638		0,939		0,972		-8,819

Следует также отметить, что найденная таким образом средняя энергия фотонного излучения от объемного источника, образовавшегося в результате радиационной аварии на ОИАЭ, по показаниям датчиков системы АСКРО не будет соответствовать какому-либо определенному радионуклиду, но, тем не менее, даст возможность провести оценки дозовых нагрузок на персонал и население.

Рассмотренный метод определения спектральных характеристик фотонного излучения по показаниям датчиков АСКРО позволяет существенно упростить процедуру принятия решения при аварии на АЭС или любом другом ОИАЭ.

Таким образом, метод Монте-Карло с использованием метода локальной оценки потока позволяет оценивать радиационные характеристики окружающей среды в условиях радиационных аварий, учитывая особенности, возникающие на границе раздела двух сред. Анализ результатов расчета показал, что указанный метод применим для расчета радиационных характеристик, таких как мощность дозы фотонного облучения, на расстояниях источник-детектор не превышающих 4 д.с.п. фотона в среде при энергиях источника фотонов, лежащих в интервале от 0,1 до 1,5 МэВ, при этом абсолютная величина расхождения результатов расчета с данными, полученными по методу моментов [4], колеблется в пределах 10-15%. Использование МД-метода и метода смещенных пробегов позволяет расширить диапазон применимости метода Монте-Карло до 15-16 д.с.п. фотона в среде, а величина абсолютной погрешности результатов расчета не превышает 20%.

Однако в условиях радиационной аварии применение метода Монте-Карло нецелесообразно, поскольку требует больших временных затрат. Поэтому для оценки радиационных характеристик использование интегральных методов или метода, основанного на концепции лучевого равновесия с учетом особенностей на границе раздела сред (земля-воздух) является оптимальным. При этом указанные особенности можно учесть с помощью рассмотренного выше метода введением поправочных функций или коэффициентов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов, В.И.* Курс дозиметрии [Текст] / В.И. Иванов. – М. : Атомиздат, 1978. – 392 с.
2. *Елохин, А.П., Хмылёв, А.Н., Жилина, М.В.* Метод оценки последствий радиационных аварий в помещениях реакторного блока на АЭС с реактором ВВЭР-1000 [Текст] / А.П. Елохин ; А.Н. Хмылёв ; М.В. Жилина // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2007. – №1(21). – С. 3–21.
3. Метод Монте-Карло в проблеме переноса излучений [Текст] / Под ред. чл-корр. АН СССР Г.И. Марчука. – М. : Атомиздат, 1967. – 256 с.
4. *Машкович, В.П., Кудрявцева, А.В.* Защита от ионизирующих излучений [Текст]: Справочник / В.П. Машкович ; А.В. Кудрявцева. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
5. *Волощенко, А.М., Швецов, А.В.* КАСКАД-С-2.5 – программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения методом дискретных ординат в двумерной

- геометрии. Инструкция для пользователя. Отчет ИПМ им. М.В. Келдыша [Текст] / А.М. Волощенко ; А.В. Швецов. – М. : РАН, 2003.
6. Гусев, Н.Г., Кимель, Л.Р., Пологих, Б.Г., Суворов, А.П. Защита от ионизирующих излучений [Текст] / Н.Г. Гусев ; Л.Р. Кимель ; Б.Г. Пологих ; А.П. Суворов. – М. : Атомиздат, 1969. – 471 с.
  7. Елохин, А.П., Рау, Д.Ф., Беркович, В.М., Халупкова Г.И., Виноградов А.П., Жилина М.В. Оценка мощности выброса инертных радиоактивных газов, выходящих из пассивной системы фильтрации межоболочечного пространства реактора ВВЭР-1500, в условиях запроектной аварии [Текст] / А.П. Елохин ; Д.Ф. Рау ; В.М. Беркович ; Г.И. Халупкова ; А.П. Виноградов ; М.В. Жилина // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2007. – №2(22). – С. 17–39.
  8. Armstrong T.W., A  $V^0$  Importance Function for Monte Carlo Calculation of Deep Penetration of Gamma Rays. The University of Tennessee, Physics, general, 1967, 63 p.
  9. Елохин, А.П., Жилина, М.В. Обоснование условий применимости метода локальной оценки потока при расчетах методом Монте-Карло [Текст] / А.П. Елохин ; М.В. Жилина // Ядерные измерительно-информационные технологии. Nuclear Measurement & Information Technologies. – 2008. – №3(27). – С. 39–51.
  10. Елохин, А.П., Жилина, М.В., Пархома, П.А. Особенности сканирования подстилающей поверхности с помощью беспилотного дозиметрического комплекса [Текст] / А.П. Елохин ; М.В. Жилина ; П.А. Пархома // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107. – Вып. 2. – С. 103–112.
  11. Елохин, А.П. Принципы размещения датчиков мощности дозы вокруг АЭС [Текст] / А.П. Елохин // Атомная энергия. – Т. 76. – Вып. 3. – 1994. – С. 188–193.
  12. Тихонов, А.Н. О решении некорректно поставленных задач и метод регуляризации [Текст] / А.Н. Тихонов // ДАН СССР. – 1963. – Т. 191. – №3. – С. 501–509.
  13. Фридман, В.М. Метод последовательных приближений для интегральных уравнений Фредгольма I-го рода [Текст] / В.М. Фридман // Успехи математических наук. – 1956. – Т. 11. – №1. – С. 233–234.
  14. Scofield N. Proc. Symp. NAS-NS 3017, 1962, p. 108.
  15. Su Y. Study of scintillation spectrometry unfolding methods. Nucl. Instr. Meth., 1967, v.54, p. 109–115.
  16. Fabian H.U., Nemsman U. Determination of the energy spectrum of a gamma-ray flash // Atomkernenergie. – 1970. – BD 16. – P. 143–145.

## Application of Monte-Carlo method in estimation of radiation accidents effects

M. V. Zhilina

*Federal Budget Establishment “Scientific and Engineering Centre for Nuclear  
and Radiation Safety (SEC NRS)”*,

*2/8-5 Malaya Krasnoselskaya St., Moscow, Russia 107140, e-mail: mashazhilina@mail.ru*

**Abstract** – Application of Monte-Carlo method with using the method of local fluence estimation for radiation monitoring of environment is considered. By means of the developed method the radial distributions of dose capacity of photon radiation from volume and surface (walls, floor, ceiling) sources of photon radiation appearing at emission of gas-aerosol radioactive admixture in reactor containment have been calculated. They coincide with the data received by other different ways (methods of discrete ordinates, moments).

The developed method is applicable for such practical problems as: estimation of dose capacity and the factor of accumulation from gas-aerosol radioactive column appearing at emission of a radioactive impurity through ventiduct of nuclear power plant, later it can help determine the total volume activity of impurity; determination of optimal height and scanning area while estimation of radioactive pollution of spreading surface with the help of pilotless dosimeter complex and also determination of spectral characteristics of photon radiation according to the indications of ASKRO detectors.

**Keywords:** Monte Carlo method, radiation characteristics, dose capacity of photon radiation, radiation monitoring, pilotless dosimeter complex, spectral characteristics.

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

УДК 621.762

**ПОЛУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 110Г13  
МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО УПЛОТНЕНИЯ**

© 2012 г. Р.В. Пирожков, Т.А. Литвинова, С.А. Томилин

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

Поступила в редакцию 20.11.2012 г.

Предложен способ получения порошковой высокоаустенитной стали 110Г13 методом электроконтактного уплотнения. Установлены режимы получения структуры данной стали, рассчитано количество аустенита в структуре в зависимости от плотности тока, пропускаемого через образец. Исследована зависимость износостойкости материала в зависимости от режимов получения стали.

*Ключевые слова:* сталь 110Г13, электроконтактное уплотнение, аустенит, плотность тока, износостойкость.

Одним из современных методов получения порошкового материала является метод электроконтактного уплотнения. Он включает в себя совмещение механического и электрического воздействия на порошковую заготовку, что позволяет достичь высокой плотности при низком давлении за очень короткий промежуток времени [1].

Изменяя такие параметры, как время пропускания тока, цикличность приложения нагрузки и плотность тока, варьируя их, можно получить различные структуры стали.

Сталь 110Г13 является высокоаустенитной, поэтому критерием оценки структуры материала является объемная доля  $\gamma$ -фазы в матрице.

Одним из основных факторов, влияющих на образование аустенитной структуры стали 110Г13 является температура спекания. Менять температуру спекания возможно, варьируя плотность тока, пропускаемого через образец.

Используя данный метод, были получены образцы на основе активированной шихты порошковой стали 110Г13п при различных значениях плотности тока. Для приготовления образцов из высокомарганцовистой стали 110Г13п применяли порошки:

1) железо марки ПЖВ 2.200.28 (ГОСТ 9849-86) производства Сулинского металлургического завода. Химический состав порошка в состоянии поставки приведен в табл. 1, 2. Насыпная плотность порошка составляет  $2,51 \text{ г/см}^3$ , текучесть – 29 с.

**Таблица 1.** Химический состав железного порошка ПЖВ 2.200.28 в состоянии поставки

Содержание элементов, % мас.						
Fe	P	Mn	Si	C	S	Остаток в HCl
основа	0,01	0,3	0,13	0,08	0,007	0,23

**Таблица 2.** Гранулометрический состав железного порошка ПЖР 2.200.28

Гранулометрический состав выход фракции, мас. %, при размере частиц, мм					
более 0200	от 0200 до 0160	от 0160 до 0100	от 0100 до 0071	от 0071 до 0045	Менее 0045
1,4	5,6	22,0	24,4	28,5	18,1

2) порошок ферромарганца ФМн 88 (ГОСТ 4755–91 (ИСО 5446–80)), полученный путем дробления в конусной дробилке до фракции – 160 мкм. Химический состав приведен в табл. 3.

**Таблица 3.** Химический состав порошка ферромарганца

Марка порошка	Содержание элементов, % мас.					
	Mn	Fe	C	Si	P	S
ФМн 88	88,0	9,37	1,0	1,5	0,1	0,03

3) графит карандашный ГК-1 (ГОСТ 4404–78), характеристики которого приведены в табл. 4.

**Таблица 4.** Характеристики порошка графита

Марка порошка	Зольность, %	Содержание влаги, %	Выход летучих веществ, %	Остаток на сите №0063, %
ГК-1	1,0	0,5	0,5	0,5

После смешивания исходных компонентов проводилось механическое активирование многокомпонентной шихты в шаровой планетарной мельнице САНД-1 при частоте вращения чаш 290 мин<sup>-1</sup> в течение 2 часов.

В результате была получена исходная шихта, состав которой приведен в табл. 5.

**Таблица 5.** Состав исследуемой дисперсной системы

Исследуемые шихты	Содержание компонентов, % мас.		
	ПЖВ 2.200.28	Ферромарганец	Графит
110Г13	82,4	16,5	1,1

Начальными параметрами (режимом) получения структуры стали 110Г13 были приняты значения давления прессования, длительность пропускания и плотность тока, установленные как оптимальные для получения стали 45 [2].

Режимы получения образцов порошковой стали 110Г13 методом ЭКУ были следующие: давление прессования – 380 МПа, длительность пропускания тока – 38 сек. (было определено экспериментально как оптимальная), плотность тока варьировалась в интервале от 35 до 45 МА/м<sup>2</sup>. При плотности тока, меньшей 35 МА/м<sup>2</sup>, согласно данным микроструктурного анализа, аустенитную структуру, свойственную стали

110Г13, получить не удалось, при плотности тока свыше  $45 \text{ MA/m}^2$  возникал пережог образцов.

Пористость полученных образцов варьировалась в пределах 4-6%.

Согласно методике, приведенной в [3], было определено количество аустенита, образовавшегося в стали, при изменении плотности тока, пропускаемого через образец. Результаты приведены в табл. 6.

**Таблица 6.** Результаты расчета объемной доли аустенита

Плотность тока, $\text{MA/m}^2$	Объемная доля аустенита в металлической матрице, %	Погрешность измерения, %
35	68,9	2,4
37	73,3	2,9
39	80,1	4,0
42	86,5	3,1
45	91,2	2,9

Графически результаты расчетов приведены на рис.1.



**Рис. 1.** Зависимость объемной доли аустенита от плотности тока.

В результате проведенных испытаний на износ образцов стали 110Г13, полученных методом ЭКУ при различной плотности тока, были получены следующие результаты (рис. 2). Износ образцов определялся как разность масс до испытания и после, отнесенной к продолжительности трения (1 час).

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что количество образовавшегося аустенита в стали 110Г13п, зависит от плотности тока, пропускаемого через образцы, причем, чем выше плотность тока, тем больше объемная доля аустенита в металлической матрице.

При плотности тока свыше  $40 \text{ MA/m}^2$  было отмечено присутствие жидкой фазы. Это связано с тем, что при температурах свыше  $1175^\circ\text{C}$  ферромарганец переходит в

жидкое состояние, процесс спекания протекает с исчезающей жидкой фазой – это один из способов активирования спекания. Вследствие этого спекание происходит более интенсивно и полно, что способствует образованию более гомогенной аустенитной структуры.

Количество аустенита, образовавшегося в процессе спекания образцов при различной плотности тока, влияет на механические свойства стали, в частности, на износостойкость. Минимальный износ достигается при наибольшей плотности тока ( $45 \text{ MA/m}^2$ ), и с ее понижением износ увеличивается.

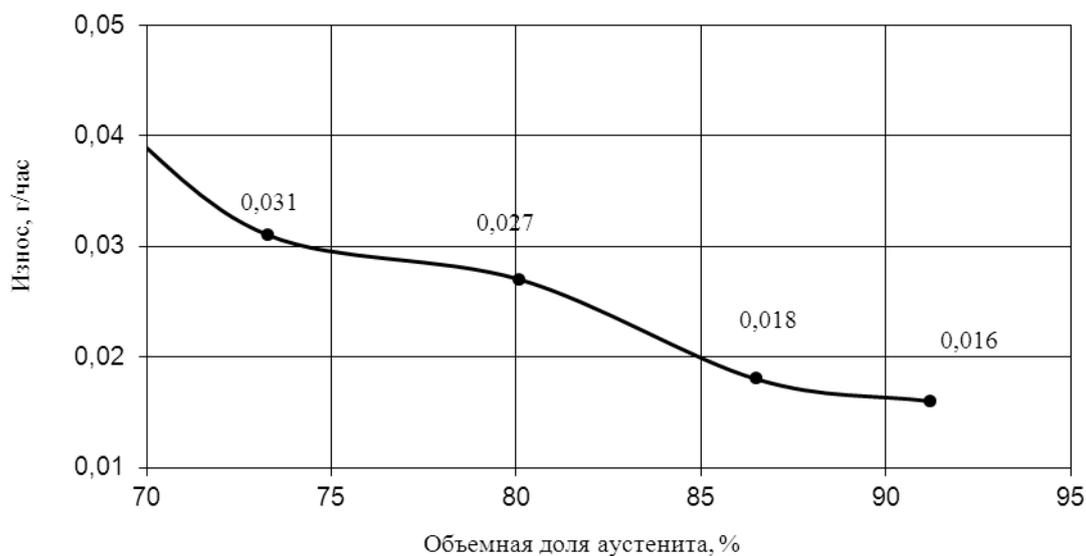


Рис. 2. Зависимость износа образцов стали 110Г13п от содержания в ней аустенита.

Данное явление объясняется тем, что при механическом воздействии на сталь происходит упрочнение в ходе пластической деформации. Это достигается не только деформационным упрочнением аустенита, но и образованием мартенсита с гексагональной ( $\epsilon$ ) или ромбоэдрической ( $\epsilon'$ ) решеткой, что способствует повышению износостойкости материала [4].

Таким образом, были получены оптимальные режимы метода ЭКУ, при которых образуется аустенитная структура стали 110Г13п, близкая к структуре стали 110Г13п, полученной методом динамического горячего прессования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райченко, А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока [Текст] / А.И. Райченко. – М. : Metallurgia, 1987. – 122 с.
2. Литвинова, Т.А. Формирование порошковой стали методом электроконтактного уплотнения : дис. канд. техн. наук [Текст] / Т.А. Литвинова. – Новочеркасск. – 2010. – 170 с.
3. Пирожков, Р.В. Формирование структуры и свойств композиционного металлостеклянного материала на основе порошковой стали 110Г13п : дис. канд. техн. наук [Текст] / Р.В. Пирожков. – Новочеркасск. – 2003. – 129 с.
4. Материаловедение и технология металлов [Текст]: Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.П. Фетисов ; В.М. Матюнин и др.; Под ред. Г.П. Фетисова. – М. : Высш. шк., 2001. – 638 с. : ил.

## **Formation of steel structure 110G13 with the help of the electric resistance compression method**

**R. V. Pirozhkov, T. A. Litvinova, S. A. Tomilin**

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

*e-mail: VITkafTEO@mephi.ru*

**Abstract** – The way of receiving of powder high-austenitic steel 110G13 with the help of electrocontact compression method is offered. The modes of receiving the structure of this steel are established, the amount of austenite in structure depending on density of the current passed through a sample is calculated. Dependence of wear resistance of a material depending on modes of receiving steel is investigated.

*Keywords:* steel 110G13, electrocontact compression, austenite, current density, wear resistance.

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

УДК 004.942

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ДЛЯ  
МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РДС В МУЛЬТИМЕДИЙНОМ ТРЕНАЖЕРЕ**

© 2012 г. В.А. Толстов, Л.О. Ишигова, А.В. Черкалина, В.Г. Цуверкалов

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

Поступила в редакцию 02.11.2012 г.

Описана процедура планирования и обработки эксперимента для построения математических критериев оценки состояния виртуального сварочного процесса по моделируемым сигналам.

*Ключевые слова:* сварка, планирование эксперимента, обработка результатов эксперимента, математическое моделирование.

Обучение навыкам ручной дуговой сварки (РДС) является трудоёмкой задачей. На этапе начального обучения, совместно с обучением на реальном процессе, целесообразно применение тренажерных систем [1]. Чтобы обучение на тренажёре было эффективным, необходимо использовать адекватные математические модели процесса РДС. При этом, из-за сложности процесса, его модели приходится строить исходя из ряда упрощений [2]. В настоящее время для мультимедийного тренажёра РДС разработаны модели основных контролируемых характеристик и явлений [3,4,5,6].

Модель расчёта тока сварки и напряжения на дуге получает на входе координаты торца виртуального электрода. Определение координат торца имитатора электрода с помощью оптического устройства координатного слежения (УКС) подвержено помехам. Например, появление в поле зрения камеры УКС мощного источника света приведёт к сильным искажениям или невозможности определения координат отражателей. В таких условиях необходимы критерии достоверности выходных данных модели. Чтобы получить их, предлагается использование процедуры планирования и обработки эксперимента. Эксперимент может быть спланирован и проведён при любых начальных условиях.

**СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ЭКСПЕРИМЕНТА**

Примем для проведения экспериментов следующие условия: электрод диаметром 3 мм (данный фактор фиксирован) и инверторный сварочный источник Prestige 164. Наплавка на пластину выполнялась с вертикальным положением электрода. Скорость перемещения торца электрода постоянная.

Сварщик может управлять следующими параметрами процесса РДС во время его проведения:  $L_0$  – длина дуги, мм,  $V_{CB}$  – скорость сварки, мм/с и технологические параметры, задаваемые перед проведением процесса  $I_{III}$  – максимальный ток, устанавливаемый на источнике питания,. В качестве независимых факторов выбраны длина дуги и максимальный ток.

Опишем уровни варьирования независимых факторов. Рекомендуемая средняя длина дуги [7] составляет  $L_d \approx 0,8d_{эл}$ , где  $d_{эл}$  – диаметр электрода, поэтому примем  $^{min}L_d = 2,1$  мм,  $^{max}L_d = 2,7$  мм исходя из диаметра электрода 3 мм. Для тока сварки примем следующие уровни:  $^{min}I_{ИП} = 60A$ ,  $^{max}I_{ИП} = 65A$ . Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Фиктивный фактор $x_0$	Длина дуги $x_1$	Ток на источнике питания $x_2$
1	+1	-1	-1
2	+1	-1	+1
3	+1	+1	-1
4	+1	+1	+1

При использовании данного плана возможно построение уравнений регрессии следующего вида:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 \quad (1)$$

В качестве функций отклика рассмотрим статистические характеристики сигналов тока сварки и напряжения на дуге: математическое ожидание (МО) и среднеквадратическое отклонение (СКО).

Для проверки адекватности модели рекомендуется провести дополнительные опыты. Повысим количество уровней у фактора "Длина дуги" до трёх, введя в него значение  $L_d \approx 0,8d_{эл} = 2,4$ мм, обозначив его в матрице планирования уровнем "0". В результате получим план эксперимента, состоящий из шести опытов.

**Таблица 2.** План эксперимента с дополнительными опытами

№ опыта	Фиктивный фактор $x_0$	Длина дуги $x_1$	Ток на источнике питания $x_2$	Взаимодействие $x_1x_2$
1	+1	-1	-1	+1
2	+1	-1	+1	-1
3	+1	0	-1	0
4	+1	0	+1	0
5	+1	+1	-1	-1
6	+1	+1	+1	+1

Для определения коэффициентов уравнений регрессии не будут использоваться опыты, соответствующие строкам 3 и 4, которые необходимы для проверки адекватности полученной регрессии.

### ПРОВЕДЕНИЕ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В соответствии с планом эксперимента, проводились контрольные сварочные процессы. Установив ток на источнике питания согласно плану эксперимента, сварщик начинал сварку с укороченной дугой, затем удлинял её. Таким образом, значения длины дуги разделены по времени. Сигналы тока для установленных токов 60 А и 65 А представлены на рис. 1 а) и б) соответственно.



**Таблица 4.** Коэффициенты уравнений регрессии

Коэффициент	Функции отклика	
	МО	СКО
$b_0$	62,93	3,78
$b_1$	-0,87	0,14
$b_2$	-1,80	-0,30
$b_3$	-1,12	-0,38

### ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ

Проверку адекватности произведём на примере уравнения регрессии для функции отклика математического ожидания:

$$\hat{y} = 62,93 - 0,87x_1 - 1,8x_2 - 1,12x_1x_2. \quad (2)$$

Используем среднюю ошибку аппроксимации по всем строкам таблицы 2. Ошибки аппроксимации приведены в таблице 5.

**Таблица 5.** Ошибки аппроксимации

№ опыта	Фактическое значение	Значение по регрессии	Отклонение от факт.знач.
1	64,48	64,48	0,00%
2	63,12	63,12	0,00%
3	65,34	64,72	0,93%
4	60,84	61,12	0,48%
5	64,98	64,98	0,00%
6	59,13	59,13	0,00%

Средняя ошибка аппроксимации составляет:

$$\bar{A} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\% = 0,24\% .$$

Так как средняя ошибка аппроксимации меньше 10%, то уравнение регрессии (2) адекватно.

### ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ

Проверку адекватности подробно рассмотрим на примере уравнения регрессии для среднего значения. Разобьём каждый из сигналов на фрагменты длительностью по 1 с. Введём следующие обозначения:

- $n$  – номер фрагмента;
- $N$  – количество фрагментов,  $N = 74$ ;
- $k$  – количество коэффициентов при переменных в уравнении регрессии (2),  $k = 3$ ;
- $y_n$  – фактическое среднее значение на фрагменте с номером  $n$ ;
- $\hat{y}_n$  – значение, вычисленное по регрессии;
- $\bar{y}_n$  – фактическое среднее значение характеристики в строке плана/

Для определения критерия Фишера необходимо вычислить следующие величины:

- остаточная дисперсия  $D_{\text{ост}} = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n - \hat{y}_n)^2}{N - k - 1}$ ;
- дисперсия на один фактор  $D_{\text{факт}} = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y}_n - \bar{y}_n)^2}{k} = \frac{N(\hat{y}_n - \bar{y}_n)^2}{k}$ ;
- фактическое значение критерия Фишера  $F = \frac{D_{\text{факт}}}{D_{\text{ост}}}$ .

Фактическое значение критерия Фишера составляет 3,54. Табличное значение критерия Фишера  $F_{\text{табл}}$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и степенях свободы  $k_1=k=3$  и  $k_2=N-k-1=70$  составляет 2,74. Так как  $F_{\text{табл}} < F$ , то уравнение статистически значимо. Аналогичным способом проверены адекватность и статистическая значимость уравнений для других функций отклика.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ СВАРОЧНОГО ПРОЦЕССА

Ограничения для тока сварки на выходе модели представим в следующем виде:

$$|I_{\text{мод}} - y1| < y2. \quad (3)$$

где  $I_{\text{мод}}$  – значение тока, рассчитанное по модели;  
 $y1$  – оценка математического ожидания по уравнению (2);  
 $y2$  – оценка дисперсии по уравнению:

$$y2 = 14,53 + 1,31x_1 - 2,36x_2 - 2,95x_1x_2. \quad (4)$$

Если значение тока сварки, которое было рассчитано по модели, не удовлетворяет ограничению (3), то используется предыдущее значение. Если в течение заданного промежутка времени ситуация не меняется, то виртуальный процесс РДС останавливается.

### ВЫВОД

Проведена процедура планирования и обработки эксперимента, в результате которой определены ограничения для модели процесса РДС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грузинцев, Б.П., Сас, А.В. Эргономические основы подготовки высококвалифицированных операторов ручной дуговой сварки [Текст] / Б.П. Грузинцев ; А.В. Сас // Глобальная ядерная безопасность. – 2011. – №1. – С. 121–126.
2. Березовский, Б.М. Математические модели дуговой сварки [Текст] / Б.М. Березовский: В 3 т. – Том. 3. Давление дуги, дефекты сварных швов, перенос электродного металла. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 485 с.
3. Кривин, В.В., Виниченко, М.Ю., Ишигов, И.О., Толстов, В.А. Испытательная мультимедийная система для обучения сварщиков РДС [Текст] / В.В. Кривин ; М.Ю. Виниченко ; И.О. Ишигов ;

- В.А. Толстов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. №4(42) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 120 с.
4. Кривин, В.В., Виниченко, М.Ю., Ишигов, И.О., Толстов, В.А. Математическая модель для имитации сварочного процесса в виртуальном тренажере сварщика [Текст] / В.В. Кривин ; М.Ю. Виниченко ; И.О. Ишигов ; В.А. Толстов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн.науки. – 2009. – Спец. вып. – С. 61–64.
  5. Кривин, В.В., Толстов, В.А. Вероятностная модель звука сварки для мультимедийного сварочного тренажёра [Текст] / В.В. Кривин ; В.А. Толстов // Динамика научных исследований – 2012 : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Польша, Przemyśl, 7-15 июля 2012 г.). – Przemyśl: Nauka I studia., 2012. – С. 55–59.
  6. Кривин, В.В., Виниченко, М.Ю., Толстов, В.А. Модель стержневых конечных элементов для теплового расчёта виртуального сварного шва [Текст] / В.В. Кривин ; М.Ю. Виниченко // Динамика научных исследований – 2011 : материалы VII Междунар. на-уч.-практ. конф. (Польша, Przemyśl, 7-15 июля 2011 г.). – Przemyśl: Nauka I studia. – С. 31–34.
  7. Акулов, Д.И., Бельчук, Г.А. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] / Д.И. Акулов ; Г.А. Бельчук. – М. : Машиностроение, 1977. – 432 с. : ил.
  8. Стеклов, О.И., Сас, А.В., Грузинцев, Б.П. Оценка качества регулирования дуговой сварки по модели контура «зрительный анализатор – моторный выход» [Текст] / О.И. Стеклов ; А.В. Сас ; Б.П.Грузинцев. – М. : МИНГ им. И.М. Губкина, 1989. – С. 14–20.

## Experimental estimation of the limitations for the model of manual arc welding in multimedia simulator

V. A. Tolstov, L. O. Ishigova, A. V. Cherkalina, V. G. Tsuverkalov

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

*e-mail: VITkafIUS@mephi.ru*

**Abstract** – The article describes the process of planning and processing the experiment to construct the mathematical criteria for the assessment of the virtual welding process using the simulated signals.

**Keywords:** welding, planning of experiment, analysis of experiment results, mathematical modeling.

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

УДК 621.039

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ  
В АТОМНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ**

© 2012 г. П.Д. Кравченко

*Волгодонский институт сервиса (филиал) ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», Волгодонск, Ростовская обл.*

Поступила в редакцию 28.04.2012 г.

Представлены проектные решения по способу демонтажа радиоактивного оборудования и перегрузочной машины с канатным подвесом объектов перегрузки на АЭС.

*Ключевые слова:* демонтаж радиоактивного оборудования, подвесные блоки-модули, канатный подвес, автоматические грузозахватные устройства, способ демонтажа.

**ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ДЕМОНТАЖЕ АЭС**

Применяющиеся способы демонтажа АЭС, как правило, в своей основе содержат принцип фрагментации радиоактивного корпусного оборудования с последующей контейнеризацией фрагментов. Размеры фрагментов могут различаться в соответствии с применяемым технологическим оборудованием – от размеров стружки при фрезеровании до размеров отдельных блоков, получаемых механическим распиливанием или другими способами разрезки.

Подъемно-транспортное оборудование (ПТО) должно обеспечивать надежное и безопасное выполнение как операций по установке и удалению технологического оборудования фрагментации, так и операций удаления и контейнеризации фрагментов. Один из предложенных вариантов демонтажа радиоактивного корпусного оборудования АЭС с реактором типа ВВЭР предусматривает применение опорной разборной базовой крышки, которая выполняет функции как базовой конструкции для монтажа, эксплуатации и демонтажа технологического оборудования фрагментации, так и защитного экрана.

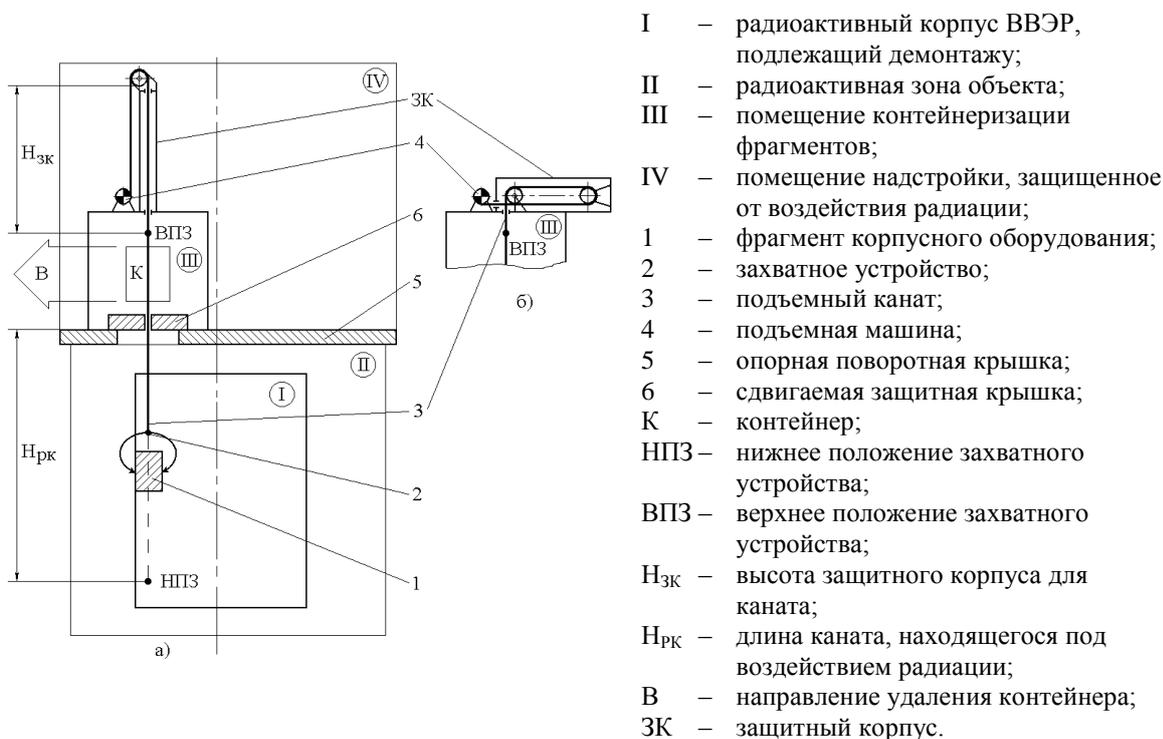
Рассмотрим особенности поиска оптимальных решений при проектировании ПТО [1] согласно модели, представленной на рис. 1.

Фрагментация корпусного оборудования объекта в нашем случае производится распиливанием на фрагменты в технологической последовательности сверху вниз. Фрагменты 1 с помощью захватного устройства 2 перемещаются из зоны I в помещение III контейнеризации. При этом необходимо обеспечить выполнение условия  $H_{ЗК} > H_{РК}$  с тем, чтобы длина  $H_{РК}$  каната 3, находящегося под воздействием радиации в зоне I, была меньше высоты  $H_{ЗК}$  защитного корпуса для каната; в этом случае проникновение радиации в безопасную зону IV может быть сведено к минимуму.

Опорную конструкцию 5, являющуюся базовым элементом, целесообразно изготовить поворотной и разборной для удобства ее демонтажа после завершения

фрагментации и удаления радиоактивных фрагментов объекта.

Конструкция сдвигаемой защитной крышки 6 является несложной и обеспечивает прохождение сквозь нее подъемного каната. Величина длины «загрязненного» участка каната  $H_{PK}$  определяется ориентировочно по размерам объекта и положениям устройства – нижнем НПЗ и верхнем ВПЗ. Защитный корпус ЗК для экранирования «загрязненного» участка каната в представленных схемах рисунка 1(а) и 1(б) является несущей конструкцией и должен быть рассчитан на работоспособность и надежность по всем правилам строительной механики.



**Рис. 1.** Вариант схемы проектирования ПТО:

а) без навивки на блоки «загрязненного» каната; б) вариант с многоблочной навивкой.

Предварительные расчеты показывают, что с применением данного проекта крупные фрагменты массой 0,2...2 т с помощью мобильного металлорежущего оборудования и подвесных дистанционно-управляемых блоков время демонтажа снижается в 2–3 раза по сравнению со способом сплошного фрезерования, при снижении металлоемкости технических средств фрагментации и транспортировки – в 5–6 раз.

В предлагаемом способе планируется применение только трех индивидуальных приводов: подачи, резания и закрепления, что значительно упрощает схему.

Способ заключается в применении двух металлорежущих блоков, подвешенных на гибком звене (грузоподъемном канате).

В предлагаемом способе для обеспечения биозащиты применяется разборная крышка, представленная на рис. 2. Через прорези 11 в радиально-подвижной съемной разборной крышке 2, установленной на вращающейся разборной крышке 3, проходит канат 1. Крышка 3, установленная на подшипниках качения 6, может вращаться при помощи зубчатой передачи 4 с приводом поворота крышки ППК 5. К узлу 12 подвески 8 подсоединяются металлорежущие блоки-модули, предназначенные для фрагментации радиоактивного корпуса 7.

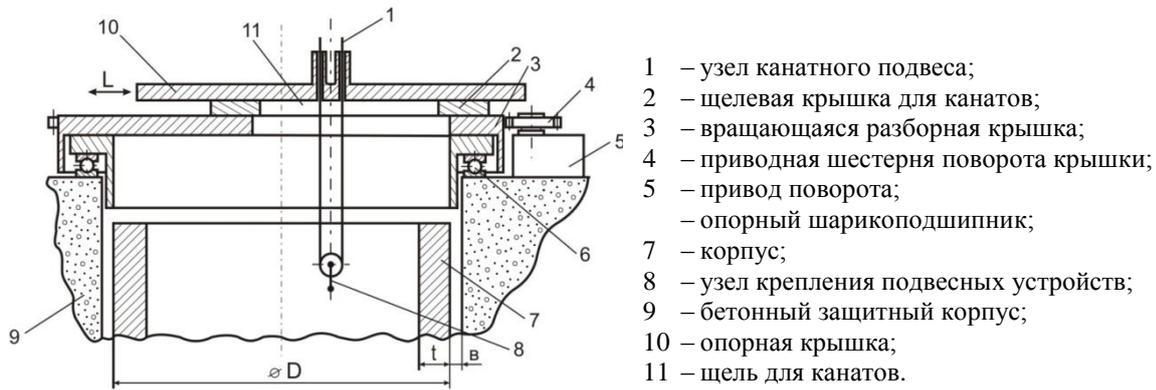


Рис. 2. Схема защитной разборной крышки.

Обеспечение биозащиты, кроме крышки 3 осуществляется с помощью применения, подвижной в направлении  $L$ , радиальной щелевой крышки 10, перекрывающей щель 11 при любом положении каната. Размеры крышки 2, ее конструктивное исполнение зависит от уровня радиоактивности корпуса 7, его размеров: внешнего диаметра  $\varnothing D$ , толщины стенки  $t$ , зазора  $b$  между внешней поверхностью объекта и поверхностью 9 защитного ограждения и определяется с помощью известных методов конструирования.

Схема применения блока для подрезания фрагментов представлена на рис. 3.

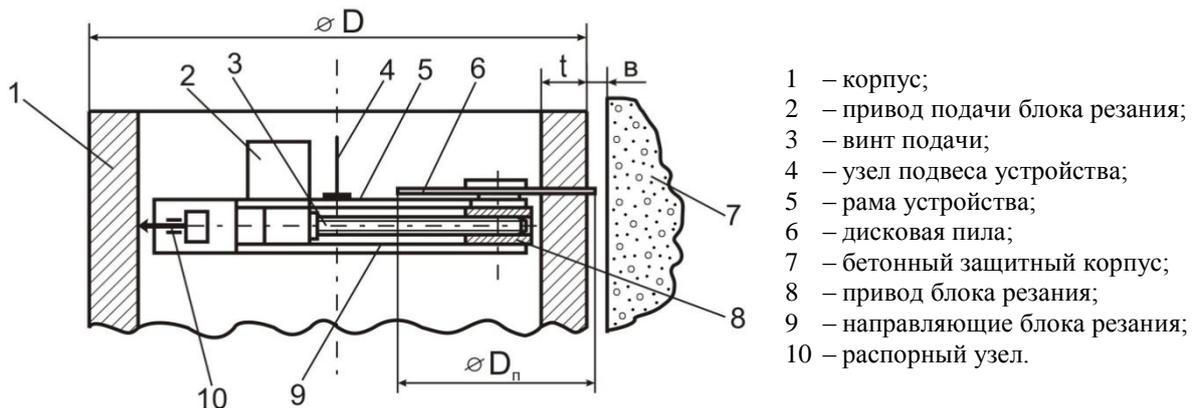


Рис. 3. Схема способа подрезания фрагмента.

В корпус 1 с наружным диаметром  $\varnothing D$  и толщиной стенки  $t$  опускается блок-модуль, смонтированный на раме 5 и подвешенный на канате в узле 4 подвеса. Блок-модуль фиксируется внутри корпуса с помощью распорных элементов 10. Подрезание фрагментов производится дисковой пилой 6 с диаметром  $\varnothing D_p$ , привод 8, которой перемещается в направляющих 9 с помощью винта подачи 3. Ход дисковой пилы 20 ограничивается зазором  $b$  между стенкой корпуса 1 и бетонным защитным корпусом 7; величина хода и диаметр пилы  $\varnothing D_p$  зависят от ширины подрезаемого фрагмента.

Схема применения блока для разрезания объекта на вертикальные фрагменты-лепестки представлена на рис. 4.

На верхнюю кромку объекта 10 опускается корпус блока-модуля с узлами 6 крепления, который фиксируется на объекте с помощью зажимов 8. На корпусе блока-модуля в направляющих 5 перемещается блок резания, состоящий из дисковой пилы 11 с приводом 1; подача осуществляется с помощью винта 4 и привода 1 блока подачи, жестко закрепленного на корпусе.

Ход  $S$  фрезы определяется высотой  $h$  лепестка, диаметр  $\varnothing D_p$  пилы определяется

толщиной  $t$  стенки объекта и зазором  $b$  между наружной поверхностью объекта и поверхностью защитного ограждения 3. Корпус блока подвешивается к канату в узле подвеса 2.

Предложенный способ отличается простотой, большинство элементов системы могут работать параллельно, повышая её надежность.

### МАШИНА ПЕРЕГРУЗОЧНАЯ МПК С КАНАТНЫМ ПОДВЕСОМ ОБЪЕКТОВ

Вес отдельной перемещаемой тепловыделяющей сборки ТВС для реактора ВВЭР-1000 5 блока Нововоронежской АЭС составляет 735кг, веса других ТВС для аналогичных реакторов отличаются незначительно, в основном будем считать их менее 1 т.

Особые условия эксплуатации – опасный уровень радиоактивности, обеспечение высокого уровня безопасности процесса перегрузки, обеспечение высокой степени точности наведения грузозахватного устройства на объект, работа, полностью автоматизированная по безлюдной технологии – обусловили появление именно такой конструкции перегрузочной машины МП, или транспортно-перегрузочного робота – с длинными жесткими телескопическими звеньями, что привело к весу МП более 84 т.

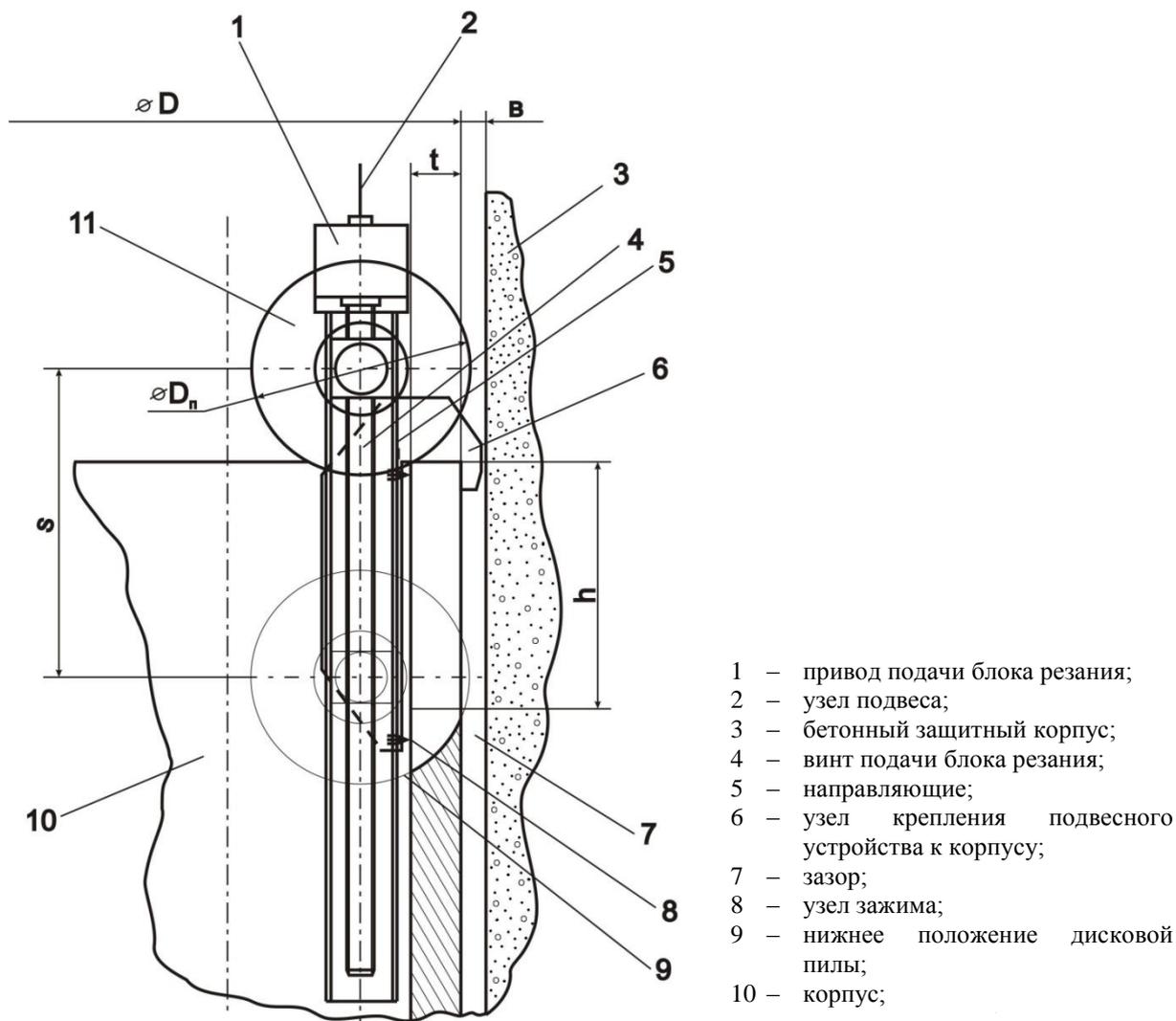


Рис. 4. Схема способа разрезания корпуса на фрагменты – вертикальные лепестки.

Появление новых способов и средств автоматизации транспортно-перегрузочных операций позволило обосновать и предложить новый способ перегрузки топливных элементов – с применением в перегрузочной машине гибкого подвеса ТВС [2] в виде сдвоенных канатных полиспадов, используемых в конструкциях известных широко применяемых мостовых кранов, вместо жесткой телескопической рабочей штанги.

В настоящее время поворот и захват пробки пенала осуществляется с помощью механизма поворота перегрузочной машины, снабженной жесткой телескопической рабочей штангой, которая является весьма сложным, массивным и дорогостоящим устройством.

Предложенное решение позволяет упростить процесс поворота и захвата пробки пенала за счет воздействия силы тяжести вертикально перемещающегося, подвешенного на канате устройства и винтовой линии при взаимодействии контактирующих элементов устройства и пробки. Предлагаемый способ осуществляется с помощью устройства, представленного на рис. 5.

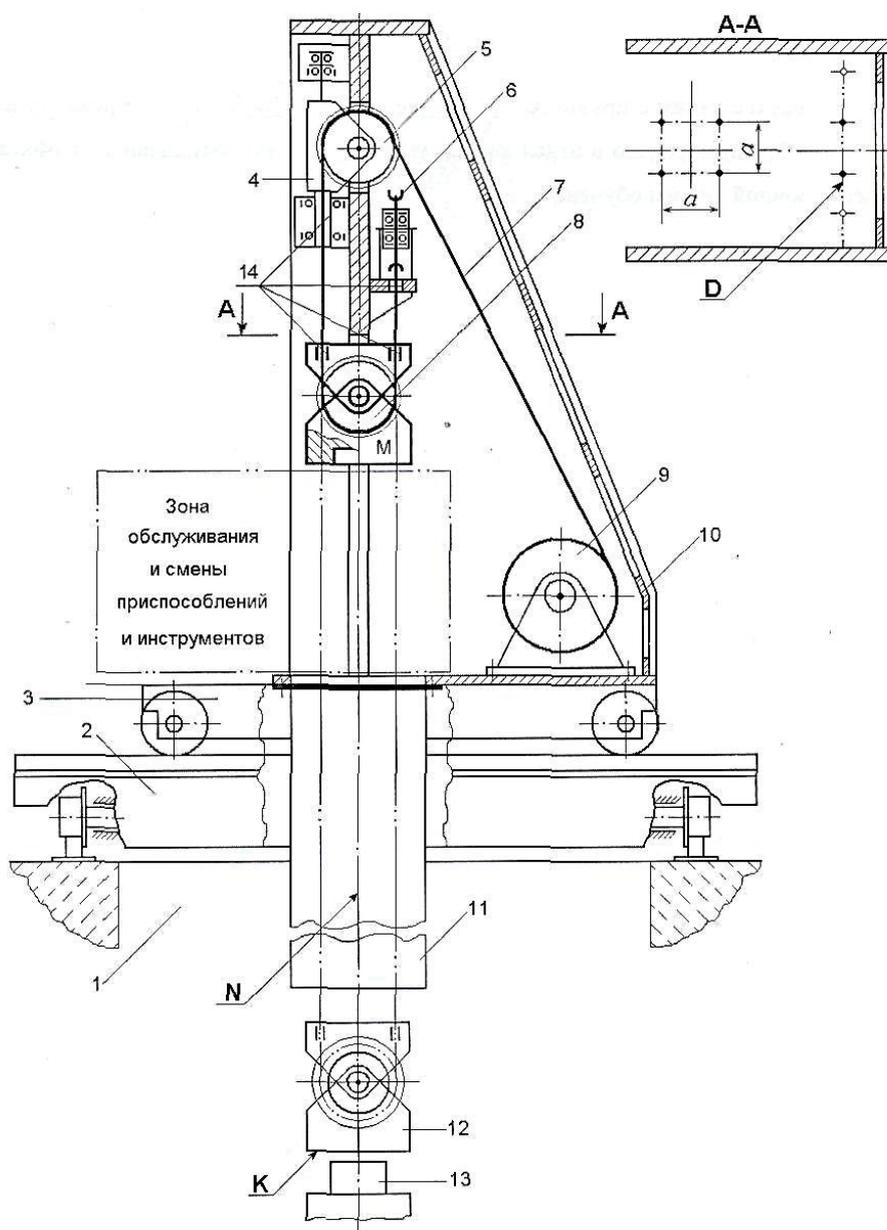


Рис. 5. Схема способа перегрузки топливных элементов в ядерном реакторе перегрузочной машиной с гибким подвесом объектов.

В зоне 1 перегрузки топливных элементов реактора типа ВВЭР на полу реакторного отделения установлена перегрузочная машина, состоящая из моста 2, тележки 3, на которой установлены несущая сварная металлоконструкция 10, на которой закреплены приводной барабан 9 привода подъема объектов перегрузки, полиспастные блоки 5, 6 и 8, образующие сдвоенный полиспаст.

Верхние блоки 5 полиспаста закреплены на металлоконструкции 10.

Канат 7 обходит все блоки полиспастов, причем дополнительная масса М 12 на нижнем подвижном блоке 8 обеспечивает достаточное натяжение ветвей полиспаста для строго вертикального перемещения его по вертикальной оси N. Кроме того, обеспечение точности расположения ветвей канатов по размерам  $a \times a$  (сечение А-А) производится за счет направляющих отверстий 14 в верхних опорах узла неподвижного блока 5 и в подвижном блоке.

В сечении А-А показано по линии D направления смещения каната, сбегаящего с приводного барабана 9. Зона обслуживания и смены приспособлений и инструментов показана условно. В этой зоне происходит, например, смена автоматического захвата кассет или других приспособлений в месте К, показанном условно. Для быстрого перемещения машины объект поднимают в защитную трубу 11.

Наведение подвешенного блока с дополнительной массой 12 и захватом объекта производится после совмещения оси N с геометрической осью объекта 13.

Подвесное автоматическое устройство поворота и захвата пробки пенала представлено изобретениями [3,4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2260502 РФ МПК С1 В23 С3/00 G21. Способ фрагментации радиоактивного оборудования с помощью подвесных блоков-модулей.
2. Пат. 2319236 РФ С1 МПК G21 С 19/00. Устройство перегрузки топливных элементов в ядерном реакторе перегрузочными машинами с гибким подвесом объектов.
3. Пат. 2319234 РФ С1 МПК П21 С 19/00. Подвесное автоматическое устройство поворота крышки гермопенала.
4. Пат. 2332729 РФ С1 МПК G21 С 3/00. Подвесное автоматическое устройство поворота и захвата пробки пенала.

## Innovation projects in power engineering

P. D. Kravchenko

*Volgodonsk Institute of Service (branch) «South-Russian State University of Economy and Service»,*

*16 Mira St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347380, e-mail: krapa21@yandex.ru*

**Abstract** – Project decisions for dismantling of radioactive equipment and reload machine with rope suspension for loading objects at NPP are represented.

**Keywords:** dismantle of radioactive equipment, suspended blocks-modules, rope suspension, automatic harness, method of dismantle.

УДК 621.039.538:621.311.25

## К ВОПРОСУ О ДЕГРАДАЦИИ ЗАЩИТНЫХ ОБОЛОЧЕК АЭС

© 2012 г. В.Н. Медведев, Александр С. Киселев, Алексей С. Киселев,  
В.Ф. Стрижов, А.Н. Ульянов

*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва*

Поступила в редакцию 22.02.2012 г.

Результаты длительного наблюдения за напряженно-деформированным состоянием защитных оболочек по датчикам контрольно-измерительной аппаратуры показали наличие деформаций ползучести бетона и наличие растягивающих напряжений в стержневой арматуре радиального направления. Разработаны детальные расчетные модели защитной оболочки с учетом реального расположения стержневой и напрягаемой арматуры, а также усовершенствованные алгоритмы расчета, позволили установить основные причины появления и роста растягивающих напряжений в радиальной арматуре стен защитной оболочки. Предложены возможные мероприятия по ограничению трещинообразования в теле оболочки и дополнительное установление на этапе возведения сооружения датчиков, измеряющих напряжения в радиальной стержневой арматуре, расположенной в наиболее нагруженных зонах.

*Ключевые слова:* защитная оболочка, деформированное состояние, расчетная модель, радиальные напряжения, арматура, контрольно-измерительная аппаратура.

### ВВЕДЕНИЕ

Железобетонная преднапряженная защитная оболочка АЭС, являясь одним из основных элементов системы локализации аварий, по своим эксплуатационным свойствам должна обеспечивать стабильную работу на всем протяжении эксплуатации энергоблока [1].

Долговечность железобетонных конструкций в процессе эксплуатации зависит от множества факторов, таких, как свойства использованных при строительстве материалов, однородности напряженного состояния и характера внешних воздействий [2–4].

Результаты длительного наблюдения за напряженно-деформированным состоянием (НДС) защитных оболочек по датчикам контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) показали наличие деформаций ползучести бетона и наличие растягивающих напряжений в стержневой арматуре радиального направления. В этой связи возникла необходимость оценки возможности трещинообразования в стенке оболочки, установить причины этого явления и определить влияние этого фактора на эксплуатационные свойства сооружения [5].

В данной работе приведен расчетный анализ НДС защитной оболочки при воздействии эксплуатационных нагрузок с учетом влияния сезонных колебаний температуры и ползучести бетона, выполнена оценка возможности трещинообразования в стенке защитной оболочки и определены причины возникновения этого явления.

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

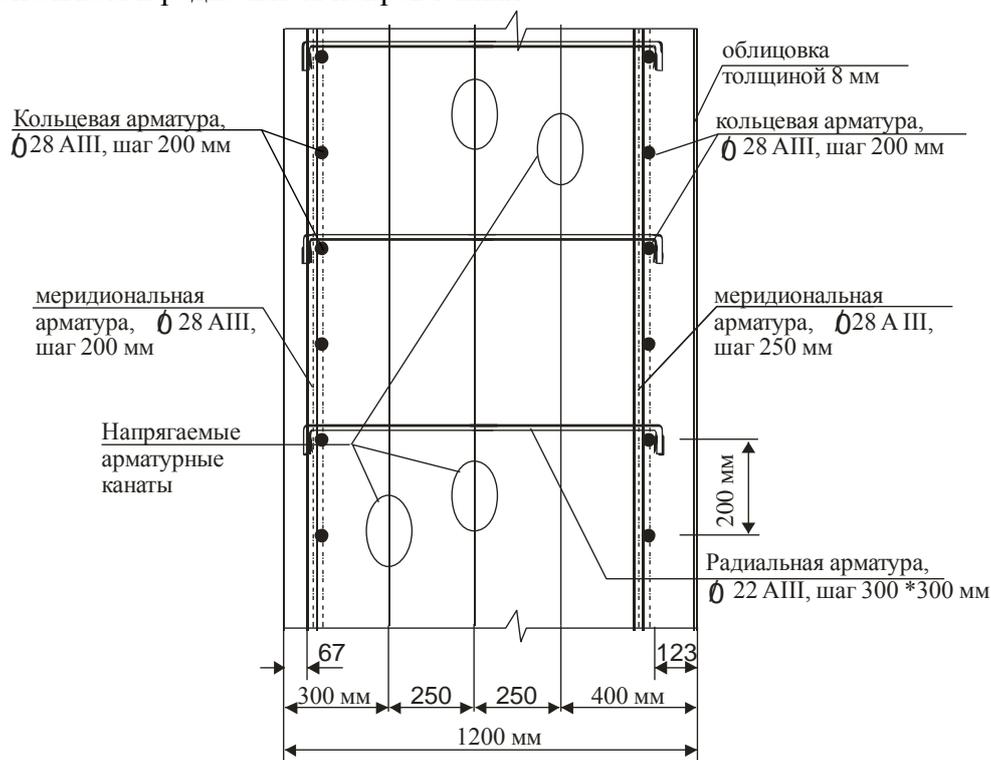
Результаты оценки НДС защитных оболочек по показаниям датчиков КИА показывают наличие растягивающих напряжений в стержневой арматуре радиального направления.

Причиной появления растягивающих напряжений в радиальной арматуре, и, соответственно, в бетоне, могут быть конструктивные особенности системы преднапряжения ЗО, в частности, расположение канатов системы преднапряжения в три слоя, центры которых находятся на расстоянии 400, 650 и 900 мм от внутренней поверхности оболочки.

При воздействии напрягаемых арматурных канатов в средней части сечения, наружный слой бетона не испытывает сжимающих радиальных нагрузок и его обжатие происходит за счет уменьшения радиуса внутренних обжимаемых слоев бетона, которые увлекают за собой наружный слой, вызывая на границе растягивающие напряжения (см. рис. 1). Наряду с упомянутыми воздействиями на этот слой активно действуют температурные нагрузки, вызывающие появление значительных растягивающих напряжений, т.к. температурный градиент по толщине стенки оболочки в зимний период может достигать 60°C и более. Кроме этого, каналобразователи имеют форму круглых отверстий, которые сами по себе являются концентраторами напряжений.

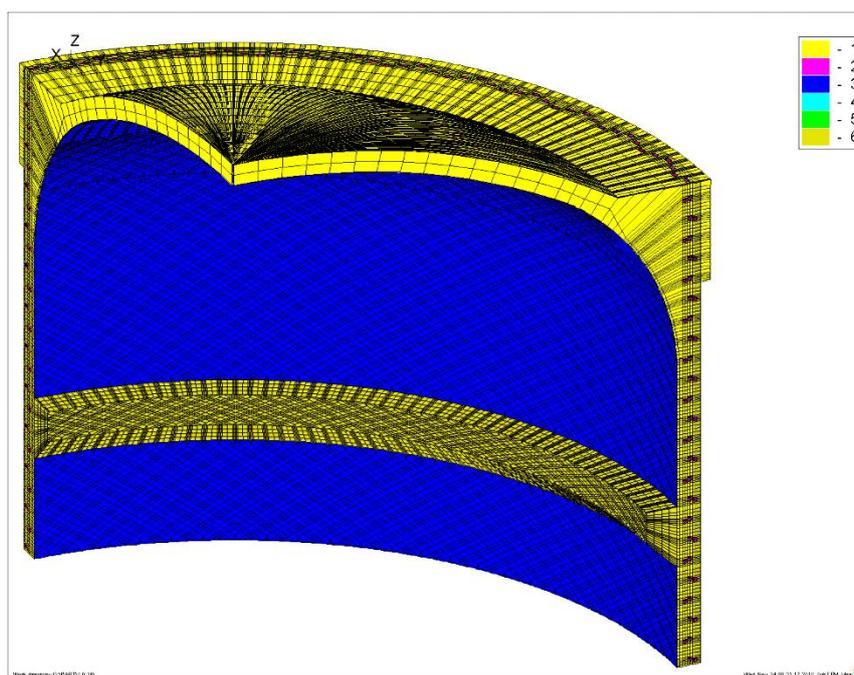
Очевидно, что столь сложное напряженное состояние, в конечном счете, может вызвать образование трещины между наружными и внутренними обжимаемыми слоями.

Для подтверждения этих выводов методами компьютерного моделирования разработана детальная численная модель защитной оболочки, в которой смоделирована реальная геометрия и положение каналобразователей по толщине стенки защитной оболочки в три слоя, герметизирующая облицовка, стержневая арматура в кольцевом, меридиональном и радиальном направлениях.

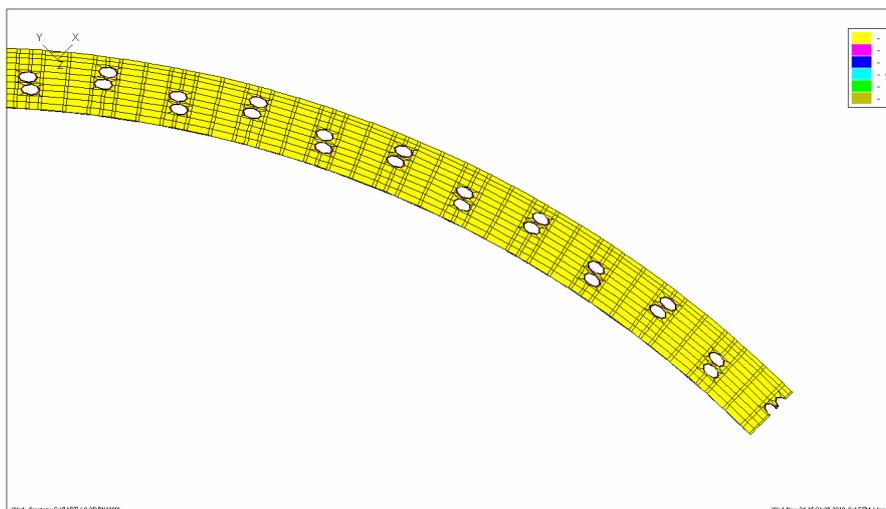


**Рис. 1.** Схема расположения арматуры в средней части цилиндра защитной оболочки.

Учитывая, что моделирование реальной геометрии каналобразователей, имеющих геликоидальную траекторию, и стержневой ненапрягаемой арматуры в стенке оболочки приводит к необходимости значительного измельчения сетки конечных элементов, количество элементов и степеней свободы полномасштабной модели 3О может достигать нескольких миллионов, а затраты компьютерных ресурсов оказываются неприемлемо большими. В этой связи в данной работе отдельно моделируются фрагменты верхней и нижней частей 3О, представляющие собой сектор  $90^\circ$ , на границах которого задаются условия симметрии. Модель верхней части включает цилиндрическую часть, подкрановую балку, опорное кольцо в зоне перехода от цилиндрической части к сферическому куполу и купол.



**Рис. 2.** Конечноэлементная модель верхней части оболочки (материал №1 – бетон, материал №2 – вкладыши в каналобразователи, материал №3 – облицовка, материал №6 – подкрановая консоль. Модель содержит 354115 конечных элементов, 416368 узлов, 1249404 степеней свободы.



**Рис. 3.** Фрагмент поперечного сечения модели 3О в цилиндрической части оболочки, на котором видно положение каналобразователей.

На рис. 2 различными цветами, соответствующим различным номерам материалов, показаны конструктивные элементы – облицовка на внутренней поверхности оболочки, подкрановая консоль. По толщине цилиндрической части оболочки моделируются каналобразователи диаметром 220 мм для преднапрягаемой арматуры, имеющие геликоидальную траекторию, расположенные в трех сечениях по толщине оболочки – на расстоянии 400мм, 650мм и 900мм от внутренней поверхности оболочки. На рис. 3 показан фрагмент поперечного сечения цилиндрической части оболочки, на котором видно положение каналобразователей, а на рис. 4 показана их геометрия. Внутри каждого отверстия каналобразователя вставлен вкладыш (материал №2 на рис. 2), имеющий свойства полиэтилена, толщиной 10 мм.

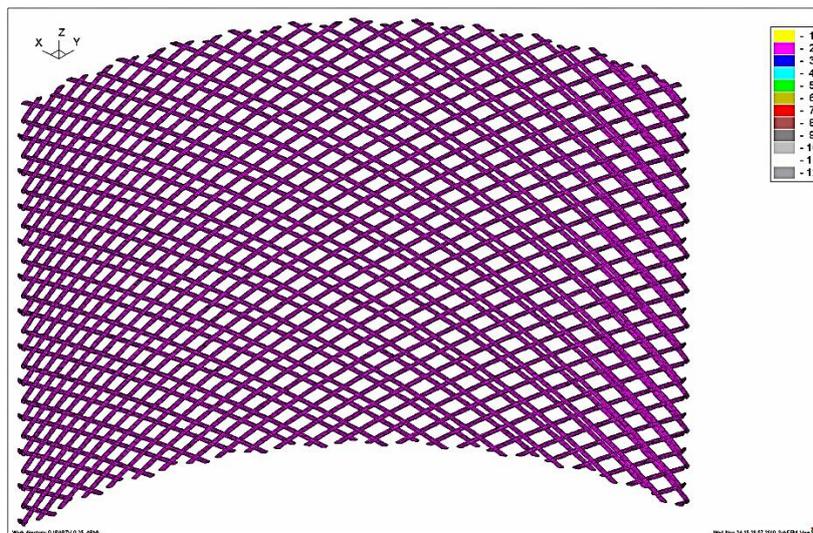


Рис. 4. Геометрия каналобразователей в цилиндрической части оболочки.

Вблизи внутренней и наружной поверхностей оболочки моделируется рядовая арматура с применением стержневых конечных элементов – рис. 5, которые работают совместно с объемными конечными элементами, моделирующими бетон. Для этого разработан специальный алгоритм, не требующий совпадения сеток арматуры и бетонной стенки «узел в узел».

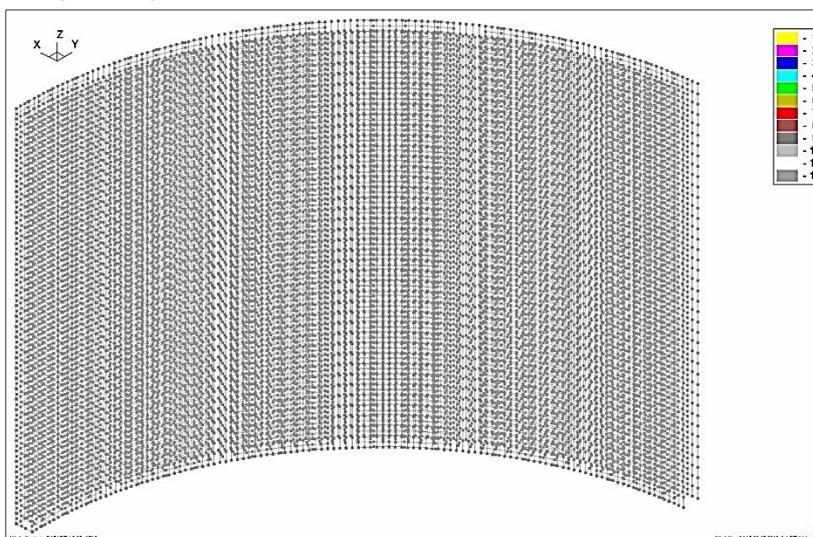


Рис. 5. Рядовая арматура вблизи внутренней и наружной поверхностей оболочки, моделируемая стержневыми конечными элементами (Материал №12).

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НДС ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

На рис. 6 приведено распределение окружных напряжений по объему оболочки при воздействии нагрузки от двух пересекающихся канатов. На этих рисунках можно видеть, что максимальные напряжения действуют в зоне пересечения канатов, а также хорошо прослеживаются траектории напряженных канатов.

На рис. 7 приведено распределение радиальных напряжений оболочки в сечении  $Z = 57,95$  м по высоте оболочки, в котором лежит точка пересечения 2-х канатов. При этом радиальные напряжения по сечению стены претерпевают существенные изменения: от сжимающих напряжений порядка 2,3 МПа под канатом до растягивающих напряжений порядка 1,5 МПа по боковым его поверхностям, превышающих предел прочности бетона на растяжение.

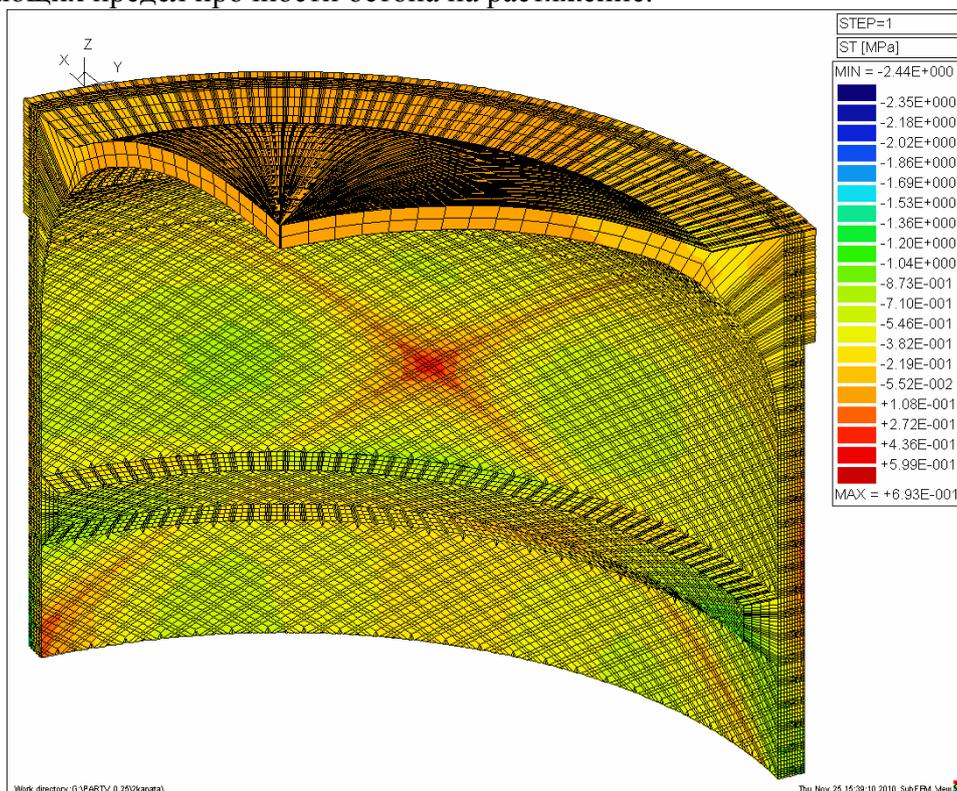


Рис. 6. Распределение окружных напряжений по объему оболочки при воздействии нагрузки от двух пересекающихся канатов.

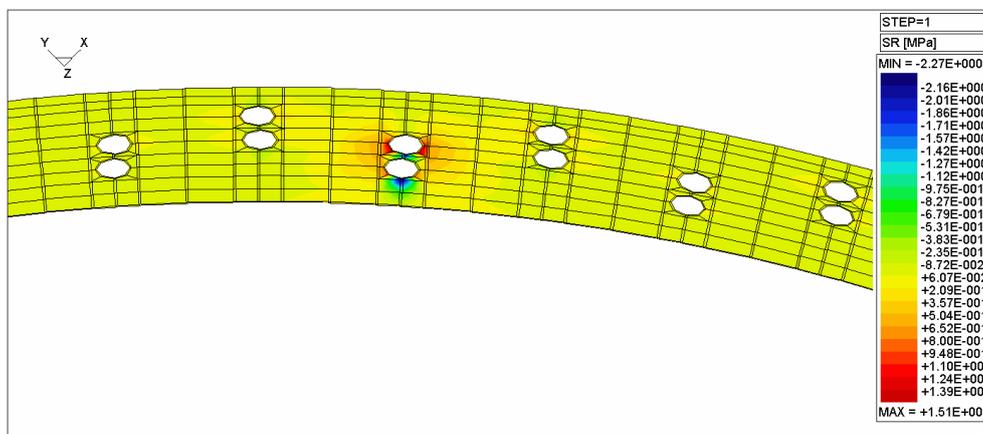


Рис. 7. Распределение радиальных напряжений в сечении  $Z = 57,95$  м при воздействии нагрузки от двух пересекающихся канатов.

На рис. 8 приведено распределение радиальных напряжений оболочки в сечении  $Z = 53,8$  м (сечение цилиндра выше подкрановой консоли) при воздействии нагрузки преднапряжения. Можно отметить, что максимальные радиальные растягивающие напряжения составляют 3,33 МПа, т.е. вероятность трещинообразования в бетоне в зоне расположения канатов увеличивается. При этом окружные напряжения по сечению стены распределены неравномерно: у внутренней поверхности напряжения сжатия составляют порядка  $-14$  МПа, а у внешней  $-9$  МПа (см. рис. 9).

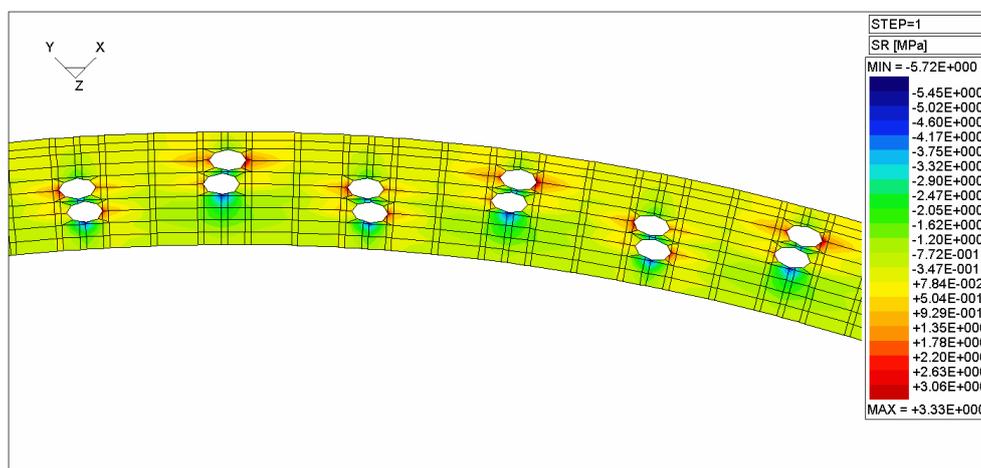


Рис. 8. Распределение радиальных напряжений в сечении  $Z = 53,8$  м защитной оболочки при воздействии нагрузки от преднапряжения.

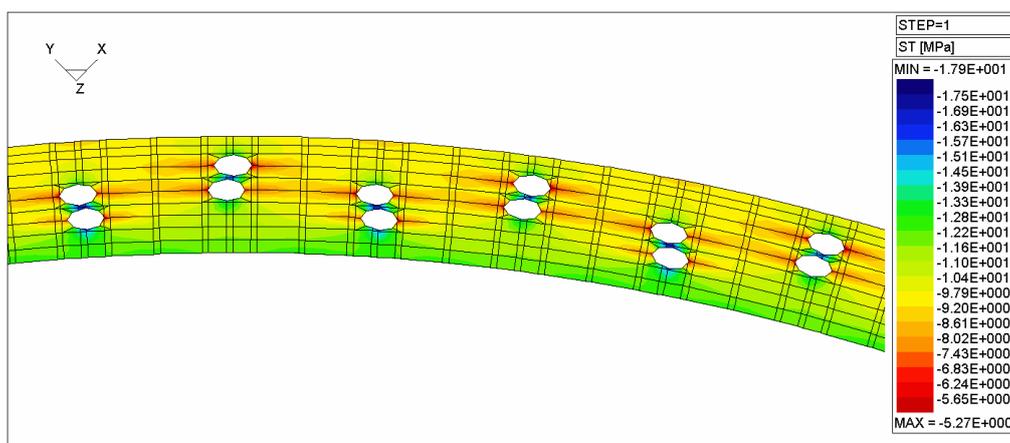


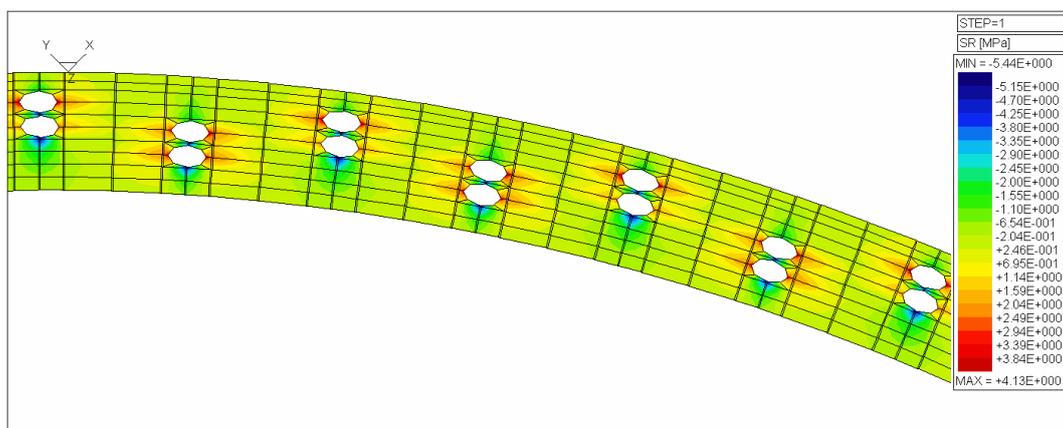
Рис. 9. Распределение окружных напряжений в сечении  $Z = 53,8$  м защитной оболочки при воздействии нагрузки от преднапряжения.

На следующем этапе были выполнены расчеты НДС защитной оболочки АЭС при воздействии нагрузки от преднапряжения и температуры. При этом температура среды снаружи оболочки принималась равной  $-40$  °С, а температура внутри оболочки – равной  $+40$  °С.

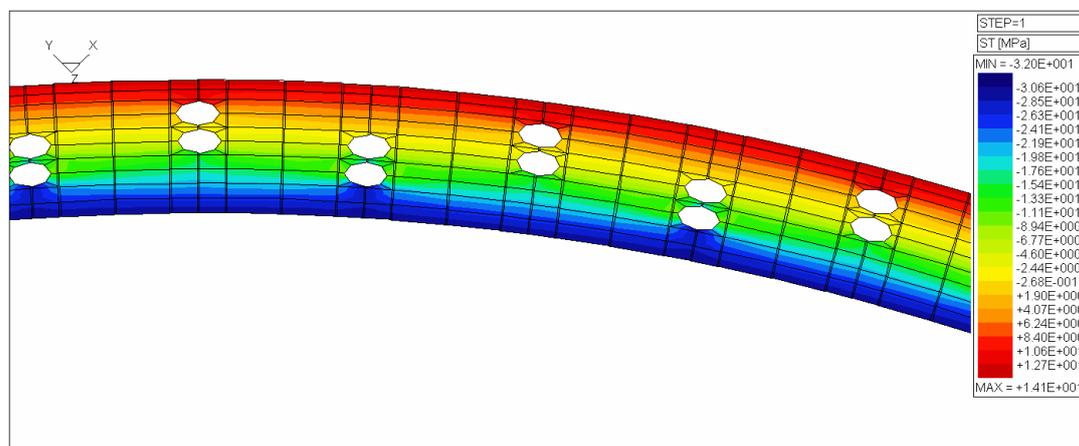
На рис. 10 приведено распределение радиальных напряжений оболочки в сечении  $Z = 47,5$  м при воздействии указанной комбинации нагрузок, на котором можно видеть, что максимальные радиальные растягивающие напряжения составляют 4,13 МПа, что несколько больше по сравнению с вариантом нагрузки от преднапряжения.

Однако неравномерность распределения окружных напряжений по сечению стены значительно увеличилась: у внутренней поверхности напряжения сжатия возросли до  $-30$  МПа, а у внешней поверхности растягивающие напряжения значительно превышают предел прочности бетона на растяжение (см. рис. 11), т.е. сезонные колебания

температуры увеличивают деградационные процессы в защитной оболочке и отрицательно влияют на ее долговечность.



**Рис. 10.** Распределение радиальных напряжений в сечении  $Z = 47,5$  м защитной оболочки при воздействии преднапряжения и температуры ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C} + 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



**Рис. 11.** Распределение окружных напряжений в сечении  $Z = 47,5$  м защитной оболочки при воздействии преднапряжения и температуры ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C} + 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

## ВЫВОДЫ

1. Разработанные детальные расчетные модели защитной оболочки с учетом реального расположения стержневой и напрягаемой арматуры, а также усовершенствованные алгоритмы расчета, позволили установить основные причины появления и роста растягивающих напряжений в радиальной арматуре стен защитной оболочки.

2. Основными причинами роста растягивающих напряжений в радиальной арматуре стен цилиндра и купола защитной оболочки являются следующие факторы:

– при выполнении предварительного напряжения как цилиндрической, так и купольной части оболочки радиальная нагрузка от напрягаемых арматурных канатов прикладывается внутри сечения стен. При этом наружный слой бетонного сечения, не нагруженный непосредственно радиальным давлением, испытывает сжимающие напряжения за счет совместной работы сечения при уменьшении диаметра цилиндра и купола, т.е. этот слой увлекается за обжимаемым сечением за счет действия в бетоне и поперечной арматуре растягивающих напряжений радиального направления.

– причиной роста растягивающих напряжений радиального направления и образования трещин могут являться сезонные температурные воздействия с температурным градиентом по толщине оболочки порядка 60 °С.

3. Возможными мероприятиями по ограничению трещинообразования в теле оболочки являются оптимизация уровня её обжата и теплоизоляция внешней поверхности.

4. Для защитных оболочек АЭС достраиваемых и строящихся энергоблоков предлагается установить дополнительное количество радиальной арматуры. Данное предложение реализовано на защитных оболочках энергоблоков №№ 3 и 4 Ростовской АЭС, энергоблока №4 Калининской АЭС.

5. Для контроля эксплуатационного состояния защитных оболочек целесообразно на этапе возведения сооружения дополнительно установить датчики, измеряющие напряжения в радиальной стержневой арматуре, расположенной в наиболее нагруженных зонах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы проектирования железобетонных конструкций локализирующих систем безопасности атомных станций. ПНАЭ Г-10-007-89, Госатомэнергонадзор СССР [Текст]. – М., 1991.
2. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст]. – М., 2004.
3. Свод правил СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры [Текст]. – М., 2004.
4. Свод правил СП 52-102-2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции» [Текст]. – М., 2004.
5. *Медведев, В.Н., Ульянов, А.Н., Киселев, Александр С., Киселев, Алексей С., Стрижов, В.Ф., Баюклин, В.Ф.* Разработка экспертной системы оценки напряженного состояния для защитной оболочки 1-го энергоблока Волгодонской АЭС [Текст] / В.Н. Медведев ; А.Н. Ульянов ; Александр С. Киселев ; Алексей С. Киселев ; В.Ф. Стрижов; В.Ф. Баюклин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – Спецвыпуск. – С. 107–112.

### About the degradation of NPP containments

**V. N. Medvedev\*, Alexander S. Kiselev\*\*, Alexey S. Kiselev\*\*, V. F. Strizhov\*\*\*, A. N. Ulyanov\***

*Institute of Nuclear Energy Safe Development, Russian Academy of Sciences,  
52 Bolshaya Tul'skaya St., Moscow, Russia 115191,*

*e-mail\*: cont@ibrae.ac.ru , e-mail\*\*: kis-rncki@rambler.ru , e-mail\*\*\*: vfs@ibrae.ac.ru*

**Abstract** – The results of long-time monitoring of containments' stressedly-deformed condition with the help of checking and measuring equipment's sensors showed the concrete creep deformation and tensile stress in the reinforcing rod of radial direction. The detailed rating models of containment were worked out with taking into consideration the real arrangement of reinforcing rod and pretensioned reinforcement. Improved rating algorithms permitted to define the main reasons of tensile stresses appearance and their increasing in containment walls' radial reinforcement. The possible actions aimed at prevention of clinking in the containment were proposed. Also it was suggested to set additional sensors at the stage of reactor construction to measure the stress in radial reinforcement of the most loaded zones.

**Keywords:** containment, condition of deformation, rating models, radial stresses, reinforcement, checking and measuring equipment.

УДК 621.039.5

## МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ЦНД ТУРБИНЫ К-1000-60/1500-2

© 2012 г. В.П. Пасько, В.Г. Бекетов

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

Поступила в редакцию 20.11.2012 г.

Рассмотрен опыт применения уплотнений на турбинах АЭС, предложена конструкция сотового концевое уплотнения ЦНД турбины К-1000-60/1500-2, выполнено количественное сравнение пропускной способности концевое уплотнения ЦНД турбины К-1000-60/1500-2 лабиринтного и сотового типа.

*Ключевые слова:* лабиринтные уплотнения, сотовые уплотнения.

Эксплуатация турбин К-1000-60/1500-2 характеризуется наличием ряда объективных факторов (потерь), снижающих их надежность и экономичность работы. Все потери, возникающие при эксплуатации турбоустановки, можно разделить на две группы:

– потери внутренние, т.е. потери, непосредственно влияющие на изменение состояния рабочего тела при его расширении в турбине (потери в диафрагмах, на рабочих лопатках, потери с выходной скоростью, потери на трение диска и вентиляцию, потери от влажности пара, потери в выхлопном патрубке, потери за счет перетоков пара между ступенями цилиндров через конструктивные зазоры в проточной части);

– потери внешние, т.е. потери, которые не влияют на изменение состояния рабочего тела при его расширении в турбине (механические потери и потери от утечек пара (через концевые уплотнения ЦВД и ЦНД), а также потери, обусловленные присосами воздуха в конденсаторы турбин).

Система уплотнений турбины К-1000-60/1500-2 предназначена для предотвращения потерь от непроизводительных перетоков, протечек пара в машзал и присосов воздуха в конденсаторы турбины и включает в себя:

– уплотнения в проточной части (надбандажные и диафрагменные уплотнения), предназначенные для исключения или снижения потерь от перетоков пара помимо рабочих колес и сопловых аппаратов в проточной части ЦВД и ЦНД;

– систему концевых уплотнений, предназначенную для предотвращения выхода пара в машзал и обводнения масла в подшипниках, исключения попадания воздуха из машзала в вакуумную систему через кольцевые конструктивные зазоры в местах выхода вала турбины из цилиндров.

В конструкциях паровых турбин для АЭС используются три вида уплотнений: концевые, диафрагменные и уплотнения рабочей решётки (надбандажные и осевые). Уплотнения предназначены, прежде всего, для обеспечения минимума утечек пара. Поэтому зазоры в уплотнениях должны быть минимально допустимыми с учётом соображений надежности при касании подвижных и неподвижных частей турбоагрегата. При задеваниях зазоры увеличиваются из-за срабатывания гребней, а также возможно появление теплового остаточного прогиба ротора. Это происходит в

основном в начальный период эксплуатации, поэтому турбина практически весь межремонтный период работает с пониженной экономичностью. Кроме того, уплотнения должны быть ремонтпригодными и легко заменяться в условиях электростанции. Широко применяемые уплотнения с гребнями не в полной мере соответствуют перечисленным требованиям. Во-первых, они легко истираются при задеваниях, недостаточно надежны и требуют больших затрат при ремонте. Кроме того, при движении влажного пара отмечается явление эрозийного износа поверхности вала в местах расположения гребней, а также образование отложений на сегментах диафрагм и гребнях, которые нивелируют остроту кромок гребней, способствуя увеличению утечки пара. Статистика изменения величины зазоров в ремонтных формулярах, полученная замерами при выходе агрегатов в ремонт, показывает значительное увеличение зазоров (иногда в два и более раза).

Концевые уплотнения ЦНД служат для предотвращения подсосов воздуха в вакуумную систему турбины и связанных с этим ухудшением вакуума, повышенными выбросами радиоактивных аэрозолей в атмосферу. Узлы концевых уплотнений ЦНД состоят из трех уплотнительных колец с каждой стороны цилиндра, образующих две камеры: камеру подвода уплотняющего пара (А) и камеру отсоса пароводяной смеси (ПВС). Благодаря существующему перепаду давлений между камерой А и смежными полостями (часть подаваемого на уплотнения пара поступает в выхлопной патрубок ЦНД, вторая часть – в камеру отсоса ПВС, откуда вместе с проникающим извне воздухом отсасывается эжектором уплотнений). Конструктивно концевое уплотнение ЦНД – лабиринтовое уплотнение с гребнями. Уплотнение представляет собой составное кольцо, образованное двадцатью идентичными сегментами с шириной активной части 106 мм. Сегменты уплотнительного кольца прижимаются пластинчатыми пружинами к заплочикам паза обоймы уплотнений, поддерживая установленный монтажный зазор (0,7 мм) между валом и кромкой гребня. При работе турбоустановки на мощности сегменты кольца прижимаются в сторону ротора к заплочикам паза не только под действием прижимных усилий пружин, но и гидростатическим усилием от перепада давления, действующего на сегмент.

В теле каждого сегмента уплотнения ЦНД выполнены девять параллельных продольных проточек, в которые зачеканиваются латунные гребни толщиной 2 мм. Выступающая часть имеет на конце заострение 0,3 мм (минимальное сужение). Вал ротора в месте уплотнений гладкий, без проточек, что обусловлено большими относительными тепловыми перемещениями роторов ЦНД.

Действующий парк паротурбинных установок, установленных на ТЭЦ и АЭС, устарел физически и морально. Кроме того, в последние годы на них не проводились плановые всеобъемлющие ремонтные работы. Поэтому показатели КПД в среднем отклоняются от нормальных на величину до 5 %, а в некоторых случаях – до 10 %. И это только за счет уменьшения КПД  $\eta_{oi}$ , который учитывает большое количество видов потерь в рабочем процессе действующей турбины по сравнению с идеальной, работающей без потерь. Среди всех видов потери на утечки теплоносителя через зазоры приобретают особенно большое значение и могут оказаться решающими при снижении экономичности турбоагрегата. Требования улучшения экономических показателей турбомашин с высокой степенью надежности в основном противоречивы и обуславливают необходимость оптимального проектирования элементов проточной части, в частности уплотнений валов и лопаточного аппарата. При этом тенденция уменьшения зазоров между неподвижными и вращающимися частями турбоустановок ограничивается критериями надежности, которые зависят от существенно различающихся факторов. По объективным причинам зазоры в период эксплуатации

увеличиваются, и задачей для ремонтного персонала является восстановление их значений до начального уровня.

Все передовые турбостроительные фирмы ведут поиск и исследования по созданию новых конструктивных схем уплотнений. Так, фирма «General Electric» разрабатывает щеточные уплотнения, японские специалисты ведут работы с регулируемыми уплотнениями. В нашей стране разработаны приоритетные, так называемые, сотовые уплотнения для паровых турбин, причем они могут быть использованы как надбандажные, диафрагменные или концевые.

Сотовые уплотнения применяются, начиная с 60-х гг., в газотурбинных двигателях и газотурбинных установках различного назначения. В паровых турбинах сотовые уплотнения активно внедряются в проточные части с середины 90-х гг. на более чем 30-ти тепловых электростанциях. Опыт применения и результаты теоретических исследований позволяют констатировать, что уплотнения сотового типа являются в настоящее время наиболее перспективным классом уплотнений.

Основным преимуществом уплотнений этого типа перед лабиринтовыми с гребнями является надежность. Сотовые уплотнения в процессе эксплуатации подвергаются значительно меньшему износу: касание (задевание) валом уплотняющих поверхностей не наносит ущерба работоспособности конструкции уплотнения и вала турбины, т.к. задевание вала происходит с развитой поверхностью ячеистой структуры, изготовленной из никелесодержащей фольги ХН70ЮШ. Благодаря этому, в частности, обеспечивается интенсивный теплоотвод от пятна контакта вала с ячейками, что исключает возможность нанесения вала термических повреждений. Оригинальные свойства указанных уплотнений позволяют получить экономический эффект от внедрения в проточную часть за счет увеличения КПД при увеличении мощности паровой турбины. Срок окупаемости в зависимости от объема оснащения турбины сотовыми уплотнениями [1] составляет от 1 до 2,5 лет.

Применение сотовых уплотнений возможно на всех действующих турбинах, выпускаемых предприятиями: ЛМЗ, УТМЗ, КТЗ, ХТГЗ.

Опыт освоения мощных энергоблоков показал, что на некоторых станциях наблюдалось обводнение масла в системе смазки турбины, что приводило к ухудшенному вакууму в конденсаторе. Это явление полностью или частично объясняется неудовлетворительной работой концевых уплотнений: пропариванием в машинный зал или подсосами воздуха в проточную часть турбины. При этих обстоятельствах не обеспечивалась автоматическая работа системы уплотнений, а расход пара на уплотнения приходилось регулировать вручную путем изменения давления в коллекторе подачи.

Внедрение сотовых уплотнений стабилизирует зазоры, сокращает утечки теплоносителя, а также снижает подсосы воздуха в конденсатор и сводит к минимуму обводнение масла в подшипниках турбомашин, расположенных в области концевых уплотнений. Применение сотовых уплотнений вместо традиционных уплотнений с гребнями упрощает технологический процесс ремонта как самих уплотнений, так и роторов паровых турбин (без проточки в местах эрозийного износа влажным паром поверхности роторов под гребнями). Следует учесть, что внедрение сотовых уплотнений не требует коренного изменения их конструкции и может осуществляться доработкой уплотнительных узлов эксплуатируемых турбин при очередном капитальном ремонте. Большим преимуществом предлагаемых конструкций сотовых уплотнений является то, что даже при срабатывании сотовых вставок из-за задеваний в проточной части эти уплотнения практически превращаются в осерадиальные и начинают функционировать как последние. Замена сотовых вставок в случае необходимости не представляет больших трудностей. Следует отметить, что максимальный

положительный результат от применения сотовых уплотнений в проточной части турбины для АЭС может быть получен при оптимизации, как конструкции уплотнений, так и геометрических характеристик сотовых ячеек.

Отработка сотовой структуры для турбин АЭС, работающих на влажном паре, осуществлялась на аэродинамическом стенде БГТУ [2, 3]. Геометрия моделей сотовых уплотнений (в виде щелей, одна стенка которых – гладкая, другая – сотовая поверхность) при различных геометрических соотношениях величин диаметра окружности вписанной в ячейку (диаметра ячеек) ( $d_я$ ), глубины ячейки ( $h_я$ ) и зазора в уплотнении ( $\delta$ ). При испытаниях установлено снижение на 20...30 % расхода утечки в области характеристики  $h_я/d_я \approx 0,3$ . Это объясняется взаимодействием пространственных потоков в щели и ячейке, что подтверждается многочисленными экспериментами на различных сотовых структурах в широком диапазоне режимных параметров течения в уплотнениях. По результатам проведенных экспериментов рекомендованы следующие оптимальные соотношения геометрических параметров шестигранных ячеек:  $\frac{h_я}{d_я} = 4,0$ ;  $\frac{d_я}{\delta} = 3,5$ .

Использование «глубоких» ячеек оправданно с точки зрения сохранения их при значительных врезаниях при касании вращающимися частями турбоустановок, т.е. при существенном изменении зазора в процессе эксплуатации. Это присуще периферийным уплотнениям ступеней большого диаметра, особенно для газовых турбин, вследствие температурных расширений корпусов. Валы роторов имеют значительно меньшие диаметры и небольшие изменения радиальных зазоров в процессе эксплуатации. Поэтому для уплотнения валов можно использовать «неглубокие» соты ( $h_я/d_я \approx 0,3...0,5$ ) [5] с наибольшей (оптимальной) газодинамической эффективностью и минимально допустимыми зазорами.

Лабиринтное концевое уплотнение ЦНД, подлежащее замене, изображено на рисунке 1.

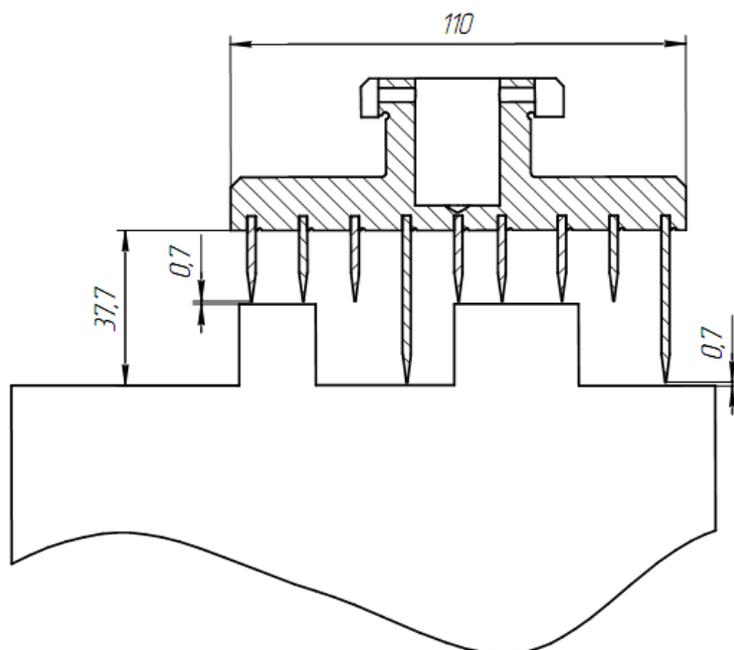


Рис. 1. Лабиринтное концевое уплотнение ЦНД.

Для концевых уплотнений ЦНД турбины К-1000-60/1500-2, автором разработана конструкция сотового типа, изображенная на рисунках 2 и 3. Ячеистая структура образована сотоблоками ФГУП «ПНН «Мотор» (г. Уфа) с параметрами:

- соты – шестигранная ячейка, диаметр вписанной окружности  $d = 2,5$  мм;
- высота ячейки  $d = 7,0$  мм;
- толщина стенок ячейки  $d = 0,5$  мм.

На рисунке 2 изображена конструкция сотового концевого уплотнения ЦНД, предназначенного для замены существующего лабиринтного уплотнения. Гребни вала турбины закрыты бандажами. На существующие крепления лабиринтного уплотнения устанавливаются сотоблоки. Конструкция сегмента сотового концевого уплотнения ЦНД вместе с бандажом изображена на рисунке 3. Зазор между сотовым уплотнением и демпфером вала принят равным существующему (0,7 мм), но рассматривалась возможность уменьшить радиальный зазор до 0,5 мм, т.к. по результатам испытаний концевых уплотнений сотового типа ЦНД турбины К-500-65/3000 на Смоленской АЭС [1] допускается назначение величины радиального зазора 0,5 мм.

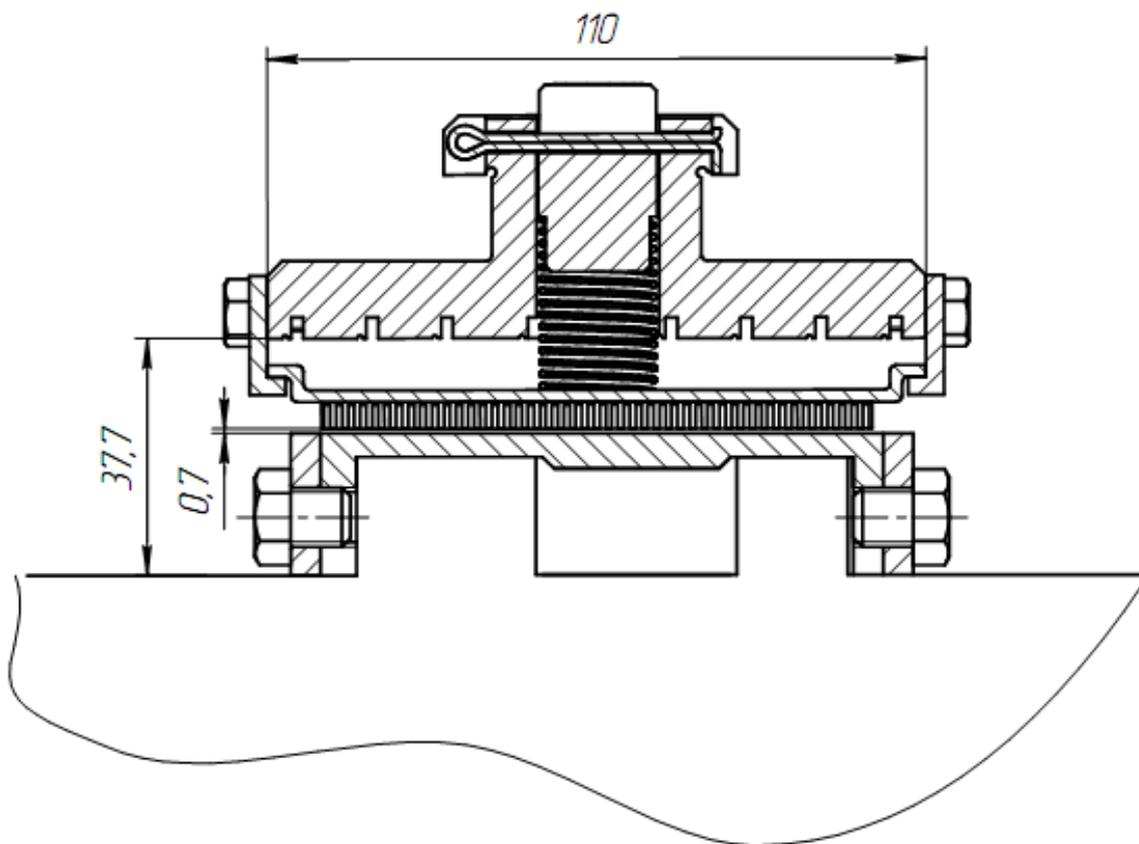


Рис. 2. Конструкция сотового концевого уплотнение ЦНД.

При использовании предложенной конструкции ожидаются следующие технико-экономические результаты:

1) Упрощается процесс восстановления зазоров по валу турбомашин в период ремонта, который заключается лишь в наборе пластин с сотоблоками, поставляемых на станцию с запасными частями.

2) Монтажный зазор в уплотнении минимизируется и остается стабильным в процессе эксплуатации, что уменьшает утечку рабочего тела и повышает экономичность турбоустановки.

3) Применение сотоблоков в концевых уплотнениях паровых турбин снижает расход уплотняющего пара, а также пропаривание (обводнение масла) и подсос воздуха в конденсатор турбины.

4) Сотовая структура, являясь достаточно жёсткой, сохраняет целостность при касании вала в процессе разборки-сборки турбины в период ремонтов.

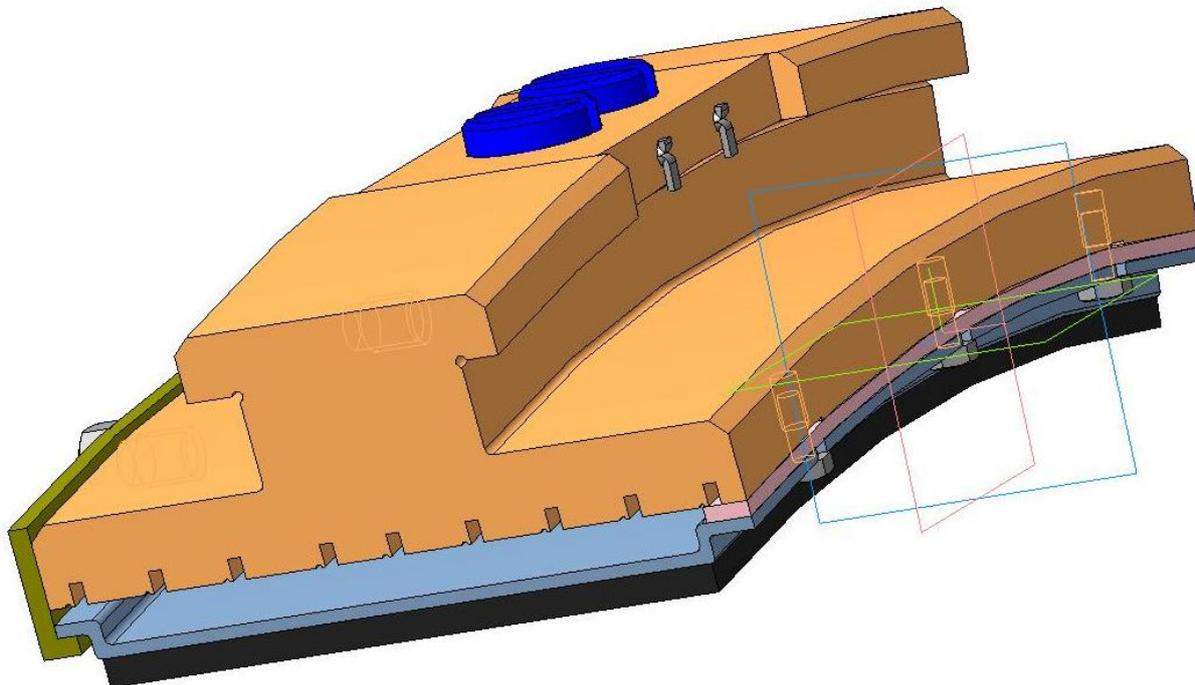


Рис. 3. Сегмент сотового концевого уплотнение ЦНД.

В процессе реконструкции концевых сотовых уплотнений необходимо выполнить следующие работы:

- произвести проточку уплотнительных поверхностей роторов в местах установки концевых сотовых уплотнений;
- произвести подгонку и установку сотовых вставок на место штатных сегментов концевых уплотнений с учетом центровки (объем работ соответствует ремонту штатных концевых уплотнений с заменой 100 % сегментов).

Выполнено сравнение эффективности лабиринтного и сотового концевого уплотнения на расчетных моделях. Для чего осуществлено численное решение дифференциальных уравнений гидродинамики потока с помощью профессионального программного комплекса ANSYS, который позволяет решать полные трехмерные нестационарные дифференциальные уравнения сжимаемых и несжимаемых ламинарных и турбулентных течений ньютоновских и реологических жидкостей.

Для описания гидродинамических процессов, происходящих в уплотнении, используем двухпараметрическую дифференциальную SST модель (Shear Stress Transport – модель переноса напряжений сдвига). SST модель является расширением стандартной  $k-\epsilon$  модели турбулентного потока (совмещенный анализ кинетической энергии турбулентности и диссипации кинетической энергии турбулентности).

Для получения гидравлической характеристики уплотнения была построена трехмерная конечно-элементная модель. Выполнен расчет лабиринтного уплотнения между камерой подвода уплотняющего пара и камерой отсоса паровоздушной смеси. Расчет выполнен для лабиринтного концевого уплотнения после ППР, т.е. уплотнение не имеет механических дефектов и зазоры выставлены максимально точно. Движение потока в лабиринтном концевом уплотнении приведено на рисунке 4, а в сотовом – на рисунке 5. В результате расчета лабиринтного уплотнения между камерой подвода уплотняющего пара и камерой отсоса паровоздушной смеси, определено, что

коэффициент гидравлического сопротивления уплотнения равен  $\zeta = 38350$ , что при зазоре 0,7 мм и перепаде давлений 10 кПа (106000 – 96000 Па) приводит к расходу запирающего пара через одно уплотнение  $G = 263,8$  кг/час.

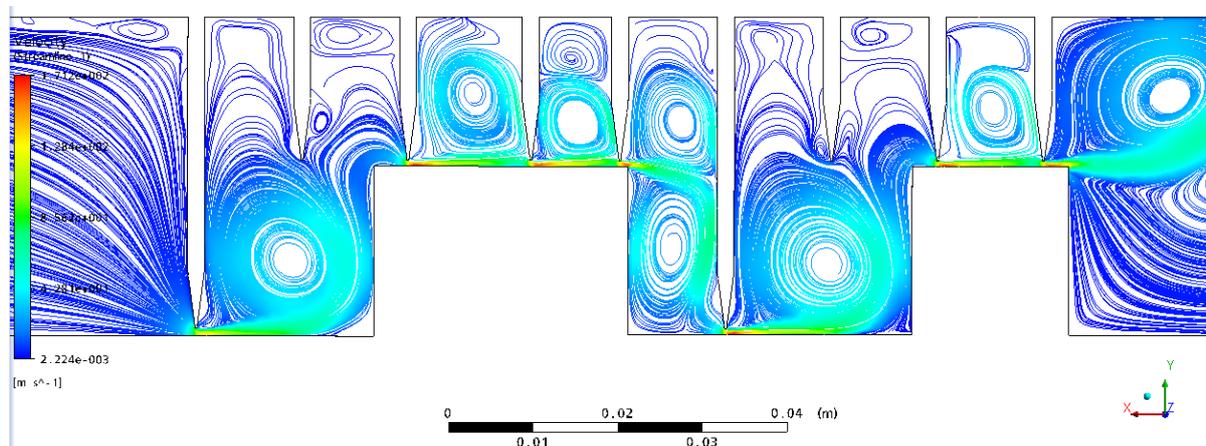


Рис. 4. Скорости и линии тока в лабиринтном концевом уплотнении.

В результате расчета сотового уплотнения между камерой подвода уплотняющего пара и камерой отсоса паровоздушной смеси, определено:

- при зазоре 0,7 мм коэффициент гидравлического сопротивления уплотнения равен  $\zeta = 63100$ , что при перепаде давлений 10 кПа (106000 – 96000 Па) приводит к расходу запирающего пара через одно уплотнение  $G = 205,7$  кг/час;
- при зазоре 0,5 мм коэффициент гидравлического сопротивления уплотнения равен  $\zeta = 178500$ , что при перепаде давлений 10 кПа (106000 – 96000 Па) приводит к расходу запирающего пара через одно уплотнение  $G = 122,3$  кг/час.

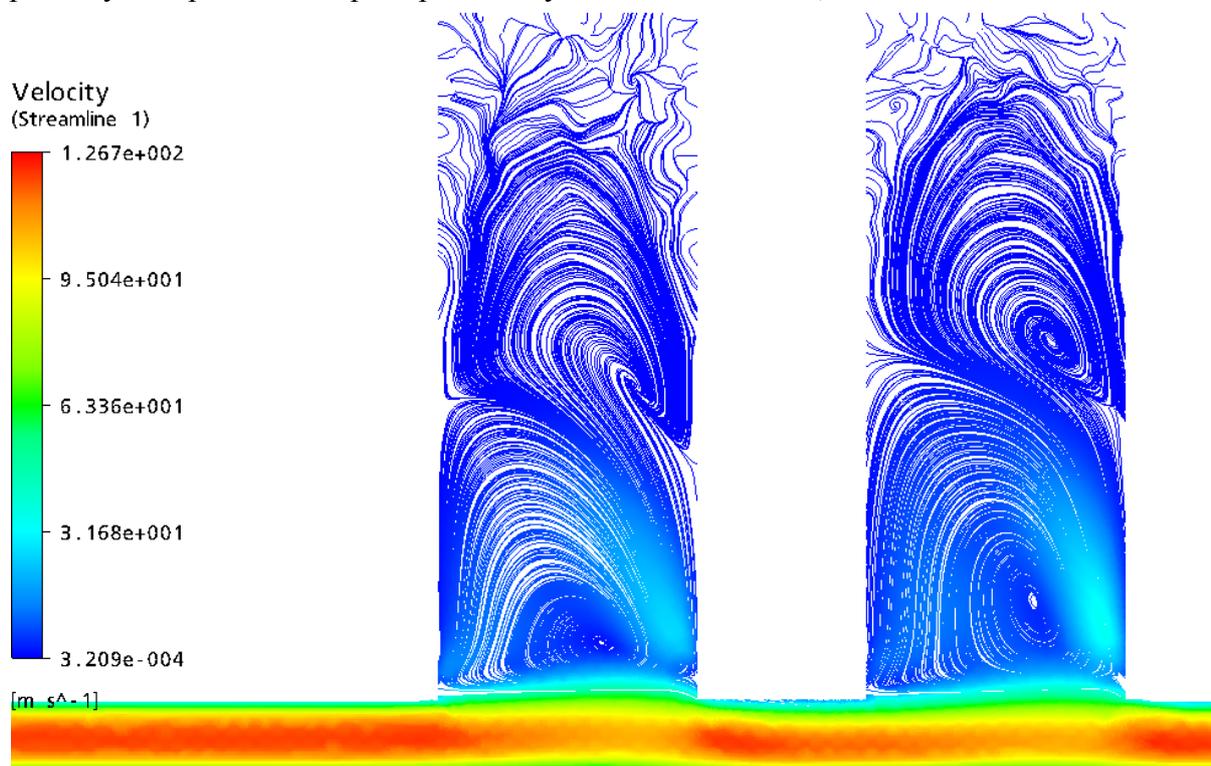


Рис. 5. Скорости и линии тока в сотовом концевом уплотнении.

Следовательно:

- при одинаковой ширине уплотнения и одинаковых зазорах расход пара через сотовое уплотнение на 22 % меньше расхода через лабиринтное уплотнение;
- при одинаковой ширине уплотнения расход пара при зазоре 0,5 мм через сотовое уплотнение на 46 % меньше расхода через лабиринтное уплотнение при зазоре 0,7 мм;
- учитывая, что в процессе эксплуатации между плановыми капитальными ремонтами расход пара через сотовое уплотнение возрастает в среднем на 4 %, а через лабиринтное – на 16 %, эффект от замены лабиринтных уплотнений на сотовые будет больше вышеприведенных значений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салихов, А.А., Юшка, М.П., Ушинин, С.В. Применение сотовых уплотнений на турбинах [Текст] / А.А. Салихов ; М.П. Юшка ; С.В. Ушинин // Электрические станции. – 2005. – № 6. – С. 22–26.
2. Буглаев, В.Т. Сотовые уплотнения в турбомашинах [Текст] / В.Т. Буглаев. – Брянск : БГТУ, 2006. – 192 с.
3. Буглаев, В.Т. Влияние конструктивных параметров сотового уплотнения на его аэродинамические характеристики [Текст] / В.Т. Буглаев ; В.Т. Перевезенцев ; Д.В. Даниленко // Энергомашиностроение. – 2003. – № 9. – С. 25–29.
4. Буглаев, В.Т. Сотовые уплотнения в турбомашинах [Текст] / В.Т. Буглаев. – Брянск : БГТУ, 2002. – 148 с.
5. Речкоблит, А.Я. Исследование влияния размеров сотовых ячеек на эффективность уплотнительных устройств с различными вращающимися элементами [Текст] / А.Я. Речкоблит. Тр. ЦИАМ. №1156. – 1985. – 11 с.
6. Чайлдз, Элрод, Хейл. Экспериментальные данные по утечке и динамическим коэффициентам кольцевых сотовых уплотнений. Сравнение с лабиринтными и гладкими уплотнениями [Текст] / Чайлдз, Элрод, Хейл // Современное машиностроение. – серия А. – 1989. – № 11. – С. 105–113.
7. Methodology ANSYS-CFX. Version 10.0. London, Computational Dynamics, 2005.

### **Modernization of end-compactings of turbine LPC (low pressure cylinder) K-1000-60/1500-2**

**V. P. Pasko, V. G. Bekhetov**

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

*e-mail: VGBeketov@mephi.ru*

**Abstract** – The experience of using the NPP turbine compactings is considered, the construction of honeycomb end-compactings of turbine LPC (low pressure cylinder) K-1000-60/1500-2 is proposed. Quantitative comparison of passing capacity of end-compactings for turbine LPC (low pressure cylinder) K-1000-60/1500-2 (labyrinth and honeycomb types) is done.

**Keywords:** labyrinth compactings, honeycombs compactings.

---

---

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АЭС

---

---

УДК 621.039:621.64:621.181

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗА ТЕПЛОВЫМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ТРУБОПРОВОДОВ

© 2012 г. И.Н. Веселова\*, В.Д. Козырев\*\*

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

\*\* Ростовский филиал ОАО «Атомтехэнерго», Волгодонск, Ростовская обл.

Поступила в редакцию 10.10.2012 г.

В статье рассмотрена разработанная и внедренная на АЭС система контроля за тепловыми перемещениями трубопроводов, предназначенная для бесконтактного дистанционного контроля за тепловыми перемещениями и вибросостоянием паропроводов и трубопроводов. Отличительной особенностью системы является наличие канала измерения температуры в зоне контроля перемещений и возможность регистрации и оценки не только абсолютных перемещений трубопроводов, но и низкочастотной вибрации.

*Ключевые слова:* перемещения, трубопроводы, контроль, система, безопасность, надежность.

Безопасность и надежность эксплуатации объектов энергетического комплекса непосредственно связана с надежностью работы технологического оборудования, в том числе трубопроводов.

Проектные основы безопасности эксплуатации оборудования энергоблоков обеспечиваются, согласно действующей нормативно-технической документации, постоянным или периодическим контролем:

1. абсолютных тепловых перемещений трубопроводов технологических систем групп В и С наружным диаметром более 300 мм, работающих при температурах среды более 250°C [1];

2. вибропрочности трубопроводов, подвергающихся вибрационному нагружению при установившейся и неустановившейся вибрации [2].

На основании требований НТД, разработана, изготовлена и внедрена система контроля за тепловыми перемещениями трубопроводов (СКТП), отличительной особенностью которой является:

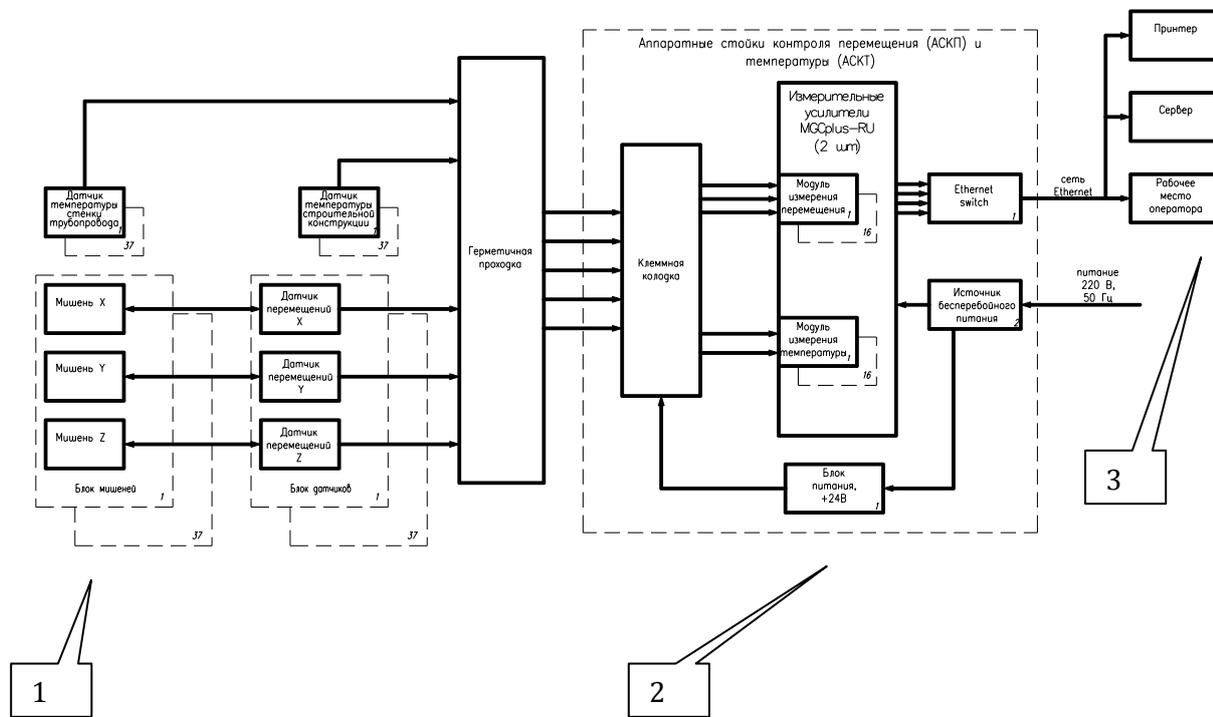
1) наличие канала измерения температуры в зоне контроля перемещений;  
2) возможность регистрации и оценки не только абсолютных перемещений трубопроводов, но и регистрации низкочастотной вибрации.

Разработанные программно-технические средства успешно прошли апробацию на энергоблоках № 5, 6 АЭС «Козлодуй» (Болгария), внедрены в опытно-промышленную эксплуатацию на энергоблоке № 4 Калининской АЭС. В настоящее время СКТП поставлена на энергоблок № 3 Ростовской АЭС.

СКТП предназначена для бесконтактного дистанционного контроля за тепловыми перемещениями и вибросостоянием паропроводов и трубопроводов. Применение СКТП позволяет предупреждать нештатные перемещения трубопроводов, устранять их причины и оценивать вибросостояние трубопроводов с момента начала использования системы. Структурная схема СКТП показана на рис. 1.

СКТП обеспечивает одновременное измерение текущих значений перемещений и температур; проводит пересчет измеренных значений в истинные физические

величины; проводит накопление и хранение значений измеренных величин для дальнейшего использования; позволяет проводить настройку и изменение конфигурации системы; проводит подготовку, обработку информации и представляет измеренную и расчетную информацию в виде таблиц и графиков оператору; обеспечивает проверку работоспособности технических средств системы.



1 – подсистема сбора данных; 2 – подсистема программно-технических средств экспорта-импорта информации из АСУТП и баз данных; 3 – средства передачи и хранения информации

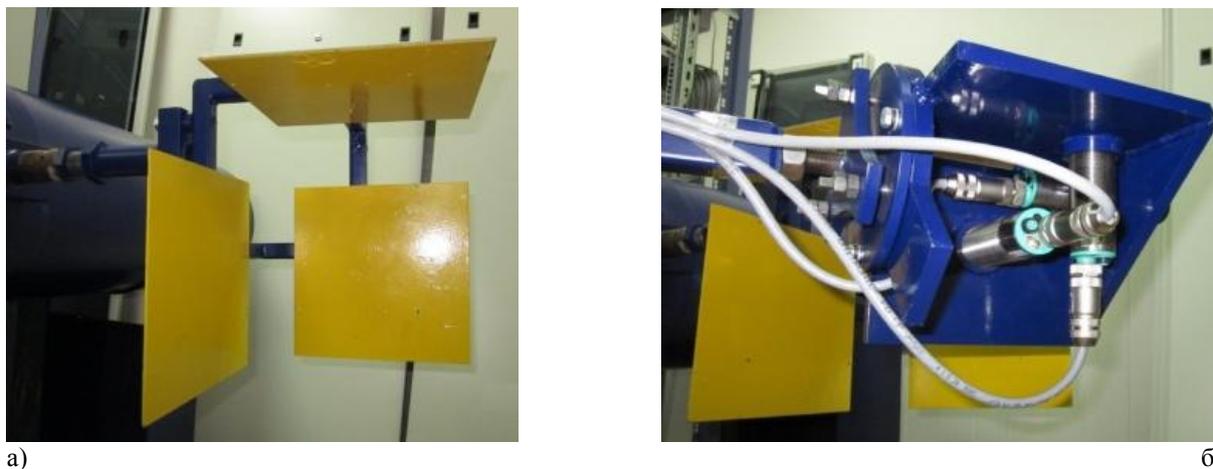
Рис. 1. Структурная схема СКТП.

Кроме того, в функции СКТП входит:

- Мониторинг низкочастотной вибрации трубопровода.
- Мониторинг фактических параметров нагружения трубопроводов – скорости изменения и абсолютного значения температуры металла в точке контроля перемещений.
- Сравнение значений перемещений, параметров среды с проектными, нормируемыми значениями, а также с ранее проведенными нагружениями.

Для измерения перемещений трубопроводов в пространстве применяются ультразвуковые датчики с диапазоном измерения от  $-135$  мм до  $+150$  мм, позволяющие проводить бесконтактный контроль перемещений трубопроводов. В каждой точке контроля устанавливают по три ультразвуковых датчика, ведущих измерения вдоль ортогональных осей пространства. Места установки датчиков и расчетные значения тепловых перемещений регламентируются проектирующей организацией. Как правило, блоки мишеней устанавливаются на прямолинейных участках паропроводов, предпочтительно вблизи гибов через 2-3 межопорных пролета в местах с ожидаемыми наибольшими напряжениями металла и наибольшими значениями тепловых перемещений, удобных для доступа и обслуживания и на расстоянии не менее 100 мм от гива, сварного соединения и не менее 200 мм от края опоры. Точки контроля выбираются по критерию наибольших величин перемещений и напряжений металла из

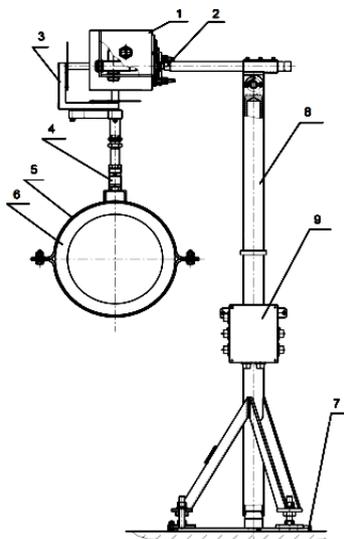
расчетов, полученных при различных режимах работы. Блок мишеней и блок ультразвуковых датчиков показан на рис. 2.



а – блок мишеней, б – блок ультразвуковых датчиков

**Рис. 2.** Блок ультразвуковых датчиков и блок мишеней СКТП.

Для контроля перемещений на трубопровод магнитным прижимом или на струбцину, крепящуюся к проушине подвески, устанавливается блок мишеней, расположенных в координатах X, Y, Z, а на неподвижную часть строительных или опорных металлоконструкций устанавливается устройство крепления датчиков, кинематически не связанных с блоком мишеней (рис. 3).



1 - блок датчиков; 2 - механизм поворотный; 3 - блок мишеней; 4 - стойка блока мишеней; 5 – хомут; 6 – трубопровод; 7 – опора; 8 - стойка блока датчиков; 9 - клеммная коробка.

**Рис. 3.** Вариант расположения блока ультразвуковых датчиков и блока мишеней СКТП.

Для измерения температур стенки трубопровода и строительных конструкций в месте установки блока датчиков применены термометры сопротивления.

СКТП имеет диагностическое программное обеспечение, базу данных, связанную с пакетом STATISTICA [3], графический пакет рисования мнемосхем и связи их с базой данных. База данных позволяет хранить все проектные технические характеристики

трубопроводов, а также результаты мониторинга перемещений трубопровода. На основании проекта привязки, разработанного проектирующей организацией, расчетные данные перемещений трубопроводов заносятся в программу. Программное обеспечение системы реализует автоматический сбор и обработку поступающей информации; настройку каналов измерения; измерение перемещений; измерение температур; регистрацию времени проведения измерений; подготовку файла с измеренными данными; расчет величины перемещений; визуализацию полученной информации; оценку величины перемещений (виброперемещений) в части соответствия критериям нормативной документации; хранение исходной и обработанной информации в базе данных; возможность контроля и анализа величин тепловых перемещений с удаленного рабочего места.

Программное обеспечение функционально реализовано в двух программных модулях – модуль «измерения» и модуль «анализ».

Первый модуль обеспечивает сбор и перевод измеренных электрических сигналов от датчиков в физические величины измеряемых параметров (перемещения и температура трубопроводов, температура строительных конструкций).

Второй модуль дает возможность визуально проконтролировать перемещения трубопровода на всём этапе измерений и выполнять расчет спектров перемещений и спектров огибающих перемещений для определения частот колебаний трубопровода, хранение полученных результатов и вывод их в виде графиков.

Интерфейс программы реализован через систему окон с расположенными на них объектами. Внешний вид диалогового окна показан на рис. 4.

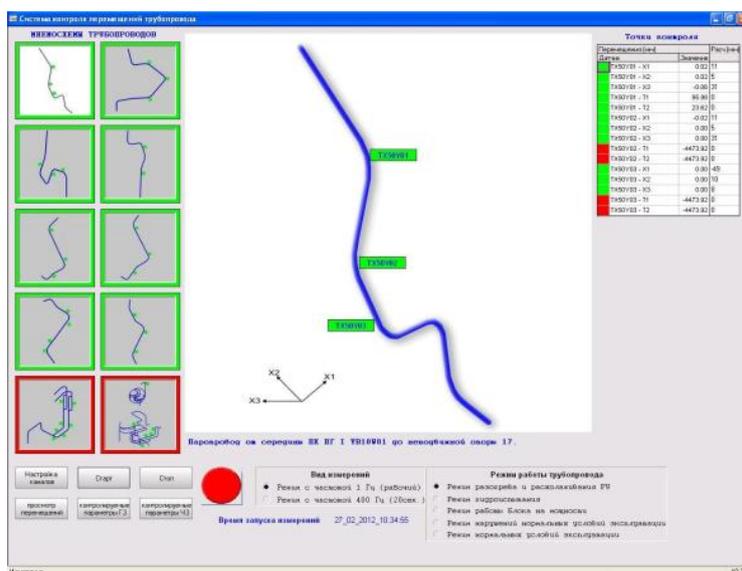


Рис. 4. Внешний вид диалогового окна.

При перемещениях трубопроводов на значение большее, чем расчетные перемещения в данной точке для данного режима в «Главном окне» отображаются следующие события:

- индикатор перемещений загорается красным цветом;
- рамка, в которой изображается схема установки датчиков и кнопки, расположенные на схеме окрашивается в красный цвет;
- обозначения датчиков на панели точек контроля, в которых перемещения превысили расчетные, окрашивается в красный цвет;
- акустическая система компьютера подает звуковой сигнал тревоги.

В центре окна расположена увеличенная мнемосхема трубопровода с расположенными на ней точками контроля, окрашенными в соответствующий значению цвет. Под схемой отображается наименование выбранного трубопровода. При нажатии точки контроля расположенной на схеме трубопровода, открываются графики перемещений и температуры (рис. 5). Перемещения трубопроводов, а также измеряемые температуры трубопровода и строительных конструкций на графиках показываются линиями разного цвета. Над обозначениями датчиков выводятся соответствующие числовые мгновенные значения перемещений и температуры. Под графиками обозначается выбранный режим измерений. Математическая обработка сигналов реализуется в программе STATISTICA.

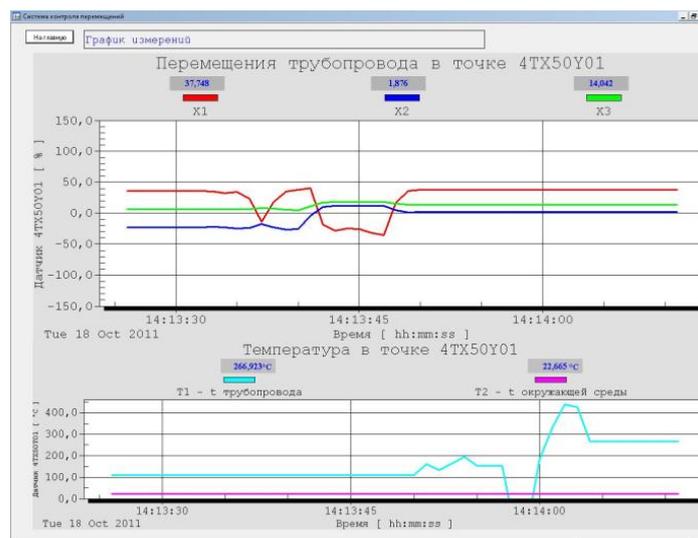


Рис. 5. Результаты текущих значений измерений.

В результате измерений и обработки сигналов СКТП выдает следующую информацию:

- текущее значение перемещения, регистрируемое каждым датчиком;
- временной момент регистрации перемещений каждым датчиком;
- температура металла трубопровода в контролируемой точке;
- номер ультразвукового датчика, зарегистрировавшего наибольшее перемещение по любой из осей X, Y, Z;
- звуковой (световой) сигнал о превышении контролируемых значений перемещений над расчетными значениями;
- отчет с цифровыми и графическими результатами контроля перемещений с вероятностными зависимостями величин перемещений от технологических режимов эксплуатации трубопроводов, контролируемых штатными средствами КИП и А;
- амплитудно-частотные характеристики колебаний трубопровода в диапазоне 0–20 Гц.

## ВЫВОД

Система контроля за тепловыми перемещениями трубопроводов (СКТП) является законченной полнофункциональной системой и дает возможность контролировать перемещения и вибропрочность трубопровода, что является, несомненно, важным аспектом безопасности и надежности работы оборудования в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПН АЭ Г-7-008-2001. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
2. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды.
3. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS [Текст]: Учеб. пособие / В.П. Боровиков ; Г.И. Ивченко / 2-е изд., переб. и доп. – М. : Финансы и статистика, 1999. – 199 с.

**Control system of piping thermal deformations****I. N. Veselova\*, V. D. Kozyrev\*\***

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

\*\* *Rostov subsidiary (branch) of Joint-Stock Company of open type “ATOMTECHENERGO”,  
Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388  
e-mail: K\_VD@ mail.ru*

**Abstract** – Control system of piping thermal deformations worked out by the authors of the article, implemented at the nuclear power plant and aimed at non-contact remote control under thermal deformations and vibrocondition of steam pipes and pipelines is presented in the article. The distinctive feature of this system is channel of temperature measurement in the area of deformation control and possibility of registration and evaluation not only the absolute piping deformations but also low-frequency vibration.

*Keywords:* deformations, pipelines, control, system, safety, reliability.

## СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС

УДК 316.7

### КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ В КОНТЕКСТЕ ОБЩЕЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

© 2012 г. В.А. Руденко, Ю.А. Евдошкина

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

Поступила в редакцию 30.11.2012 г.

В статье представлен социокультурный анализ культуры безопасности как гармоничного элемента в структуре общечеловеческой культуры.

*Ключевые слова:* культура, безопасность, культура безопасности, общечеловеческая культура, культурные компоненты.

В настоящее время все очевиднее становится тот факт, что для решения проблем снижения рисков различных аварийных ситуаций в атомной отрасли недостаточно только нормативно-правовых, организационно-технических и инженерных мероприятий. Опыт показывает, что на практике зачастую недостаточно стандартных мер по увеличению надежности технических объектов атомных станций, созданию алгоритмов безопасного управления ими, а разработка совершенных средств и способов защиты от чрезвычайных ситуаций недостаточно эффективны.

Управление безопасностью человека, общества, государства следует осуществлять через особую социальную сферу, в сочетании с четко регламентированными инструкциями и установленными нормами поведения. «Для этого нужно развивать новое мировоззрение, систему идеалов и ценностей, формировать качества личности безопасного типа, создавать общество и государство, и, в конечном итоге, мировое сообщество безопасного типа» [1]. Одним из наиболее эффективных путей достижения этого является формирование соответствующей культуры как основы существования и важнейшего идентификационного признака безопасности.

Понятие «культура» – это, вероятно, одно из самых неоднозначно трактуемых понятий. Первое значение этого термина – это возделывание, обработка, уход. Наиболее привычное значение слова «культура» – это воспитание и образование. Рубеж XIX и XX вв. дал разнообразные трактовки понятия «культура». В учениях Д. Белла и Р. Арона культура сводилась к достижениям науки и техники. А. Швейцер полагал, что культура призвана быть, прежде всего, «живой этикой». Классик социологии П.А. Сорокин под культурой понимал результат любого взаимодействия людей. Известный культуровед, профессор академик Ю.В. Рождественский приводит следующее определение: «Культура – деятельность, служащая устойчиво продуктивной жизни общества за счет отбора, систематизации, хранения, изучения и организации использования правил и прецедентов деятельности» [2].

Термин «безопасность» является одним из наиболее часто используемых в повседневной жизни. В научной литературе понятие «безопасность» раскрывают посредством противопоставления данной категории понятию «опасность», т.е.

безопасность как отсутствие опасности. Безопасность, по мнению П. Кукина, как мера защиты организмов от внутренних и внешних опасностей является одним из природных факторов существования живых систем [3].

Термин «культура безопасности» появился в словаре атомщиков после Чернобыльской аварии. Это направление отразилось в руководящих документах организации, координирующей и инспектирующей во всех странах безопасность атомных станций – Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). В них дано определение культуре безопасности как "набору характеристик и отношений в организациях и у отдельных лиц, который показывает, что проблемам безопасности атомной станции действительно уделяется внимание, достойное их первостепенной значимости" [4]. Культура безопасности является составной частью общечеловеческой культуры и тесно взаимодействует с другими типами культур, такими как национальная, организационная, профессиональная культуры и множествами различных субкультур (рисунок 1).



Рис. 1. Культура безопасности в структуре общечеловеческой культуры.

Интересно отметить, что понятие «культура» не случайно связали с безопасностью. Можно выделить ряд существенных особенностей, делающих эти, на первый взгляд, разные понятия схожими по своей природе. Культура безопасности – это элемент общечеловеческой культуры в целом. Наравне с общей культурой культура безопасности является продуктом длительного исторического развития. Вместе с общечеловеческой культурой, выражающей общественные потребности, интересы, менялись социальные представления о нормах безопасности, способах ее достижения, т.е. модернизировались элементы культуры безопасности. Человек, когда проходит этапы социализации, овладевает общечеловеческой культурой, одновременно усваивает элементы культуры безопасности. В содержание культуры традиционно входят знания, ценности, нормы, обычаи, традиции т.д. Культура безопасности имеет своим основанием, прежде всего элементы духовной жизни общества.

Культура безопасности представляет собой элемент личностной культуры. Она может проявляться в повседневном поведении или в поступках в экстремальной ситуации конкретного человека. Иногда, уровень культуры безопасности выступает как один из индикаторов личностного развития индивида. Культура безопасности ориентирует человека на совершенствование собственных ресурсов, на адекватную

самооценку, на осознание личностью приоритетов и пределов своей безопасности, рамок, за которыми лежит нарушение безопасности. Ядро культуры безопасности как компонента культуры в ее личностном воплощении составляют общечеловеческие цели и ценности: жизнь, здоровье, спасение, личная независимость, свобода, законность и т.д.

Таким образом, культура безопасности гармонично сочетает в себе основные компоненты культуральных образований:

1. Культура – это объективная данность, способ жизни людей, реализующих себя в многообразных культурных формах бытия, которые фиксируются наукой. Под культурой безопасности можно понимать образ поведения человека, ставший его внутренней потребностью, строго регламентированный определенными нормами и правилами.

2. Сущностной характеристикой культуры является деятельность по созданию нового, что не имелось в природе и не могло возникнуть по ее собственным законам. Есть все основания толковать культуру безопасности как сложный социокультурный механизм переработки и создания новых смыслов.

3. В содержании культуры важное место занимают ценности, регулятивы и нормы, традиции и т.д. В основу культуры безопасности должны быть положены: мировоззренческие установки, ценности и идеологии, устойчивые правила поведения человека, интеллектуальные и материальные результаты деятельности в сфере безопасности, критерии, образы, понятия основной функцией которых является обеспечение безопасности человека и общества.

4. Все социокультурные институты представляют собой особые формы культуры, выступающие как инструмент связи между культурой и социумом. Культура безопасности аналогично выделяет социальные институты, основная задача которых состоит в обеспечении безопасности человека и общества.

5. Культура участвует в формировании различных типов личности, но и личность оказывает мощное влияние, как на развитие культуры, так и на само существование различных культур. Личностное воплощение культуры безопасности находит в компетентностной модели профессионального специалиста (приверженца культуры безопасности).

Подводя итог можно отметить, что новые принципы отношения к работе действительно обретают черты настоящей культуры. Именно комплексное и системное развитие культуры безопасности будет являться одним из основных факторов обеспечения стабильного социально-экономического развития и процветания атомной отрасли в России. Кроме этого, эффект от развития культуры безопасности будет связан с развитием науки, передовых наукоемких информационных и коммуникационных технологий, промышленности, системы образования и т.д., а следовательно, общечеловеческой культуры в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев, Ю.Л. Основы формирования и реализации государственной политики в области снижения рисков чрезвычайных ситуаций [Текст] / Ю.Л. Воробьев. – М. : Деловой экспресс, 2000. – 248 с.
2. Рождественский, Ю.В. Словарь терминов. Общество. Семиотика. Экономика. Культура. Образование [Текст] : общеобразовательный тезаурус / Ю.В. Рождественский. – М. : Флинта, Наука, 2003. – 87 с.
3. Кукин, П. Безопасность человека и его деятельность [Текст] / П. Кукин // Основы безопасности жизни. – 1997. – №1. – С. 41.
4. IAEA. Safety Culture. Safety series No. 75-INSAG-4. IAEA. Vienna, 1991.

## **Safety culture in the context of human culture**

**V. A. Roudenko\*, J. A. Evdoshkina\*\***

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

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

**Abstract** – The article presents a socio-cultural analysis of safety culture as the harmonious element in the structure of human culture.

*Keywords:* culture, security, safety culture, human cultures, cultural components.

## СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС

УДК 316:37:621.311.25

### СОЦИАЛЬНОЕ САМОЧУВСТВИЕ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ» ВИТИ НИЯУ МИФИ

© 2012 г. Н.И. Лобковская

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

Поступила в редакцию 20.11.2012 г.

В статье рассмотрены результаты изучения социального самочувствия студентов специальности «Атомные электрические станции» с целью реализации стратегии эффективной адаптации внутривузовской среды к социокультурным и образовательным потребностям будущих специалистов атомной отрасли.

*Ключевые слова:* социальное самочувствие, удовлетворенность, социально-психологическое состояние, учебный процесс.

В современном обществе одним из наиболее важных маркеров социального благополучия является самочувствие молодежи. Особенно значим этот показатель в период студенчества, который условно можно назвать буфером между юношеством и взрослой жизнью.

Понимая под социальным самочувствием уровень психологической комфортности, который определяется степенью удовлетворенности человека собственным существованием в социуме, можно эмпирически исследовать и интерпретировать процесс восприятия студенческой молодежью окружающей действительности. Самоощущение окрашивает обыденную и академическую мотивацию молодежи, определяя ее социальную активность и перспективы успешного профессионального становления.

Современные студенты, с одной стороны, инициативны, индивидуалистичны и самоуверенны, с другой – демонстрируют пониженную социально-психологическую устойчивость, размытые жизненные ориентиры и слабое чувство защищенности, отстраняются от участия в социальном процессе. Динамика самочувствия студента требует повышенного внимания, так как характеризует его активность, закрепляет жизненные установки и векторы развития, обуславливает как личностное, так и профессиональное становление молодого специалиста.

Всероссийский центр изучения общественного мнения ежегодно проводит исследования, направленные на изучение социального самочувствия населения страны. Однако студенчество, как особая социальная группа, входит в общий массив и не рассматривается отдельно. В связи с этим, особенно важно отметить фундаментальные исследования групп авторов, раскрывающих проблемы социального самочувствия молодежи. Например, работы ставропольских социологов под руководством профессора В.А. Авксентьева «Социальное самочувствие молодежи северного Кавказа» и волгодонских специалистов под руководством доктора социологических наук, профессора В.А. Руденко «Социальное самочувствие студентов: социологический анализ». В последней работе рассматриваются такие параметры социального

самочувствия студентов как статус, удовлетворенность условиями обучения, оценка качества досуговых мероприятий, внутригрупповые отношения и др. [1–3]. Именно такие параметры были взяты за основу представляемого исследования.

Социальное самочувствие студенческой молодежи в высших учебных заведениях из года в год меняется. Эти изменения детерминируются происходящими в обществе культурными, социально-экономическими, политическими процессами. Все показатели удовлетворенности находятся в тесной взаимосвязи с условиями обучающей среды и социальной практики, в которых формируются установки, реализуются цели и интересы студенчества. Периодическое исследование социального самочувствия студенчества дает возможность своевременно выявлять возникающие трудности, позволяет образовательным учреждениям отслеживать и предупреждать негативные ситуации, а также более эффективно контролировать процесс обучения.

Изучение социального самочувствия является особенно значимым в период становления или трансформации вуза, когда потребности и интересы студентов маркируются ярче обычного, следовательно, легче учитывать социальный и психологический компоненты удовлетворенности студентов своим положением. Важно регулярно исследовать социально-психологическое состояние студентов, так как границы их социального самочувствия меняются в зависимости от предлагаемых вузом условий. Социальное самочувствие студенческой молодежи в вузе в первую очередь необходимо рассматривать по параметрам удовлетворенности учебным процессом, отношениями в коллективе, статусом в студенческой группе, материальным состоянием, уверенности в завтрашнем дне.

Для выяснения этих позиций в мае 2012 года в ВИТИ НИЯУ МИФИ было проведено исследование социального самочувствия студентов специальности «Атомные электрические станции», так как именно они составляют кадровый потенциал атомной отрасли. Опрашивались студенты второго и третьего (старшего) курсов очной формы обучения. Первокурсники обследовались отдельно – как находящиеся в начале адаптационного процесса – и не включены в данное исследование.

Полученные результаты могут быть интересны профессорско-преподавательскому составу кафедры «Атомные электрические станции», специалистам по воспитательной работе и центра менеджмента качества. Их можно использовать для создания электронной базы данных социального самочувствия студентов в целях реализации стратегии эффективной адаптации внутривузовской среды к социокультурным и образовательным потребностям молодых людей, обучающихся по ведущей специальности в ВИТИ НИЯУ МИФИ.

Объектом исследования стали студенты второго и третьего курсов специальности «Атомные электрические станции» очной формы обучения. Опрошено было 44 студента, которым предлагалась анкета из 19 вопросов, направленных на выяснение причин выбора вуза, уровня удовлетворенности процессом обучения, организацией досуговых мероприятий, а также положением, занимаемым в коллективе.

В таблице 1 приведены данные о мотивах выбора высшего образования, по которым можно судить об ожиданиях студентов, являющихся важными показателями социального самочувствия. Как видно, почти 40% студентов уже на этапе планирования следующей ступени своего образования были практически настроены и руководствовались желанием в будущем устроиться на высокооплачиваемую работу.

Чуть больше 30% респондентов заявили намерение получить диплом и отметили престижность высшего образования, что может свидетельствовать о некоторой неуверенности в завтрашнем дне и слабой профессиональной ориентированности, хотя, возможно, они и не против трудоустроиться по специальности. Интересом к будущей

профессии было мотивировано 17% отвечающих на вопросы, а потребностью в интеллектуальном развитии чуть больше 10%. Следовательно, на специальности «Атомные электрические станции» в своем большинстве учатся любознательные, целеустремленные студенты.

Если обратить внимание на то, что на вопросы анкеты ответило 42 студента-юноши, то показатель «отсрочка от армии» в 0% является свидетельством ответственной гражданской позиции молодых людей.

Факторы, существенным образом повлиявшие на выбор студентами вуза, приведены в таблице 2. Престижность вуза в целом, уровень и качество преподавания в ВИТИ НИЯУ МИФИ привлекли почти 40% студентов, что свидетельствует о высокой оценке общественным мнением статуса филиала и признание его академической эффективности. Кроме того, можно уверенно говорить о росте образовательного авторитета молодого технического института в рамках города и близлежащих районов.

**Таблица 1.** Мотивы ориентации на высшее образование

№ п/п	Варианты ответа	Проценты
1	Интерес к будущей профессии	17%
2	Потребности в интеллектуальном развитии	11%
3	Совет родителей, знакомых	3%
4	Престижность высшего образования самого по себе	10%
5	Желание получить диплом о высшем образовании	21%
6	Желание получить высокооплачиваемую работу	38%
7	Отсрочка от армии	0%

Значимым критерием выбор для абитуриентов является близость вуза к дому. Это может указывать как на финансовое состояние студента (чаще всего имеется в виду материальное положение родительской семьи), так и на выгодное территориальное размещение института в сочетании с осуществлением в нем обучения по престижной специальности.

Часть ребят при выборе специальности учитывали совет знакомых и родителей, так как, скорее всего, не имели собственного четкого представления или ориентировались на возможности семьи.

Интересно, что случайный выбор вуза у 8% студентов практически не сказался на показателях посещаемости и успеваемости (в этих группах он довольно высокий – около 90%). Значит, сделав случайный выбор, студенты успешно адаптировались, приняли установленные в институте правила и сформировали необходимую академическую мотивацию.

**Таблица 2.** Мотивы выбора вуза

№ п/п	Варианты ответа	Количество
1	Небольшой конкурс	7%
2	Совет родителей, знакомых	12%
3	Близость к дому	36%
4	Уровень и качество преподавания	20%
5	Престижность Вуза	17%
6	Выбор был случайным	8%

В таблице 3 отражены результаты на вопрос «нравится ли Вам учиться в этом вузе?». Подавляющее большинство студентов – почти 90% – отмечают, что им нравится учиться, из них только 6% не акцентируют внимание на этом моменте, так как им важно просто получать образование. Можно сделать вывод, что основная масса студентов удовлетворена как условиями обучения, так и самим академическим процессом, согласна с правилами и распорядком в вузе и готова к большей активности.

Из общего числа опрошенных 9% не очень нравится учиться, но даже они отмечают наличие положительных моментов. И лишь 3% студентов не нравится учиться – чаще всего это единицы ребят, которые имеют долги, часто пропускают занятия и не могут справиться с академической самомотивацией.

**Таблица 3.** Нравится ли Вам учиться в выбранном вузе?

№ п/п	Варианты ответа	Количество
1	Очень нравится	43%
2	В целом нравится, но хочется большего	39%
3	Мне все равно где учиться, лишь бы получать образование	6%
4	В целом не нравится, но есть и положительные моменты	9%
5	Не нравится	3%

Образование как социальный институт претерпевает существенные изменения в условиях укрепления в общественном сознании представления о том, что уровень образования становится важной составляющей обеспечения достойной жизни. В этом контексте необходимо уточнить, насколько процесс получения профессии в вузе связывается с ожиданиями профессионально-трудовой реализации. В Таблице 4 приведены ответы на вопрос о намерении в будущем работать по специальности. Следует отметить, что подавляющее большинство студентов – более 90% – намерены работать по специальности и в ее рамках строить карьеру.

Если сравнивать суммарный показатель интереса к будущей профессии и желания получить высокооплачиваемую работу в 55% на этапе выбора высшего образования с результатами намерения работать по специальности в 91% к третьему-четвертому курсам, четко видна тенденция качественного роста профессиональной мотивации и заинтересованности студентов. Высокий процент желающих реализоваться по своей специальности после завершения обучения можно прокомментировать закреплением понимания ее сущности и актуальности, а также приростом уверенности в правильности профессиональной ориентации. Такие результаты являются частью общих показателей достижений ВИТИ НИЯУ МИФИ, позволяющих уже сегодня органично встраиваться в процесс кадрового обеспечения предприятий атомной отрасли.

**Таблица 4.** Намерения работать по специальности

№ п/п	Варианты ответа	Количество
1	Безусловно да	70%
2	Рассчитываю совмещать карьеру и работу по специальности	21%
3	Буду работать по специальности в случае необходимости	3%
4	Затрудняюсь ответить	6%

Самочувствие студентов является также результатом их удовлетворенности основными составляющими учебной деятельности. Данные по оценке обеспеченности и организации учебного процесса приведены в таблице 5. Можно отметить, что библиотечными фондами и компьютерной техникой в среднем 80% студентов довольны. Это означает, что они активно пользуются предложенными возможностями и, со своей стороны, формируют позитивную развивающую среду. Однако, лишь половина опрошенных студентов высказали удовлетворенность расписанием, тогда как 52% считают его неудобным и оценивают как неудовлетворительное. Между тем, данный показатель является ключевым в оценке собственного самочувствия студента.

**Таблица 5.** Оценка обеспеченности и организации учебного процесса

Библиотечные фонды		Компьютерная техника		Расписание	
Оценка	%	Оценка	%	Оценка	%
«5»	49	«5»	30	«5»	24
«4»	33	«4»	49	«4»	24
«3»	15	«3»	18	«3»	37
«2»	3	«2»	3	«2»	15

Почти 80% студентов довольны общими условиями обучения, а чуть более 20% оценили их удовлетворительно, что отражено в Таблице 6. То есть, 100% ребят считают, что базовые условия для качественного обучения созданы, а значит, двухгодичный старт ВИТИ НИЯУ МИФИ можно признать успешным.

**Таблица 6.** Оценка общих условий обучения

№ п/п	Варианты ответа	Количество
1	Хорошие	79%
2	Удовлетворительные	21%
3	Неудовлетворительные	0%
4	Затрудняюсь ответить	0%

Результаты по предыдущим вопросам позволяют предположить, что в учебном процессе у студентов нет серьезных проблем, поэтому следующий блок анкеты касался досуга. На вопрос о том, как студенты предпочитают проводить свободное время, почти 40% указали на общение с друзьями, а чуть более 30% выбирают занятия спортом. Пятая часть опрошенных настроена на посещение развлекательных мероприятий, а 10% называет себя увлеченными творческим трудом (моделирование, практические исследования и другое).

В таблице 7 приведены результаты по вопросу об организации свободного времени. Проведение досуговых мероприятий в вузе больше половины студентов оценивают очень высоко. Это соотносится с совокупным показателем выбора общения с друзьями и посещения развлекательных мероприятий и дает возможность предположить, что студенты удовлетворяют свои потребности в организации досуга именно в стенах института. Остальные ребята находят удовлетворение своих потребностей в досуге в других формах или сосредоточены на учебном процессе.

**Таблица 7.** Оценка организации досуговых мероприятий в вузе

№ п/п	Варианты ответа	Количество
1	Отлично	12%
2	Хорошо	40%
3	Удовлетворительные	12%
4	Неудовлетворительные	12%
5	Затрудняюсь ответить	24%

Следующий блок вопросов был направлен на оценку внутригрупповых отношений, что можно увидеть в Таблице 8. Больше 80% студентов никогда не конфликтовали со своими одногруппниками, а еще 12% ответили, что если такое и случается, то крайне редко. У 6% опрошенных конфликты происходят довольно часто, что влияет на их общее самочувствие и снижает работоспособность.

В целом ситуация в группах благоприятная и подтверждается показателями оценки сплоченности. Так, более 90% респондентов утверждают, что степень сплоченности их коллектива довольно высокая, что обусловлено хорошим уровнем самоконтроля и лояльности ребят по отношению друг к другу, а также пониманием

необходимости поддержания позитивной эмоциональной атмосферы для эффективного обучения. И лишь 3% студентов утверждают, что им трудно находить общий язык со своими одноклассниками. Они не могут обратиться к ребятам в сложной жизненной ситуации или же при возникновении проблем с учебой.

Если же говорить о положении в группе, то лишь 3% студентов не вполне довольны им. Данный показатель совпадает с процентом ребят, которым трудно находить общий язык со своими одноклассниками. Подавляющее большинство опрошенных – 97% – полностью удовлетворены своим статусом в группе, что позволяет констатировать высокий уровень социального самочувствия каждого студента.

**Таблица 8.** Оценка внутригрупповых отношений

Конфликты с одноклассниками		Сплоченность группы		Удовлетворенность положением в группе	
Оценка	%	Оценка	%	Оценка	%
никогда	82	высокая	27	удовлетворен	79
редко	12	скорее высокая	64	скорее удовлетворен	18
часто	6	скорее низкая	6	скорее не удовлетворен	3
-	-	низкая	3	Не удовлетворен	0

Таким образом, оценивая социальное самочувствие студентов 3-4 курсов специальности «Атомные электрические станции», можно с уверенностью говорить об удовлетворенности студентов по основным показателям в учебном процесс и групповом взаимодействии. В чем большая заслуга как самих студентов, так и руководства ВИТИ НИЯУ МИФИ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрова, Л.Е. Социальное самочувствие молодежи [Электронный ресурс] / Л.Е. Петрова – Режим доступа: URL: <http://www.ecsocman.edu.ru/images/pubs/2005/02/05/0000203783/006.PETROVA.pdf> – 04.04.2012.
2. Авксентьев, В.А., Гриценко, Г.Д., Маслова, Т.Ф. Социальное самочувствие молодежи Северного Кавказа [Текст] / В.А. Авксентьев, Г.Д. Гриценко, Т.Ф. Маслова // Социологические исследования. – 2008. – №2. – С. 91–96.
3. Щербакова, Л.И., Руденко, В.А., Ульченко, Н.А. Социальное самочувствие студентов: социологический анализ [Текст] / Л. И. Щербакова, В. А. Руденко, Н. А. Ульченко ; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск : УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2004.

### **Social health of students of “Nuclear power plants” specialty VETI NRNU “MEPhI”**

**N. I. Lobkovskaya**

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

*e-mail: VITkafESGD@mephi.ru*

**Abstract** – The article presents the results of studying the social health of students acquiring a profession in «Nuclear power plants» specialty, for the purpose of strategy realization the effective adaptation of internal educational conditions to the sociocultural and educational needs of future specialists in atomic industry.

**Keywords:** social health, satisfaction, socio-psychological condition, educational process.

## СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС

УДК 004.358:004.9

### ПСИХОПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ОПЕРАТОРОВ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

© 2012 г. Б.П. Грузинцев\*, А.В. Сас\*\*

\* *Исследовательский центр подготовки и аттестации рабочих кадров «Профессионал», Москва.*

\*\* *Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва;  
Исследовательский центр подготовки и аттестации рабочих кадров «Профессионал», Москва.*

Поступила в редакцию 29.10.2012 г.

Статья посвящена вопросам психопедагогики при подготовке высококвалифицированных операторов ручной дуговой сварки. Показано, что применение тренажеров позволяет существенно сократить затраты и сроки подготовки операторов при их использовании с учетом элементов прикладной психопедагогики. В противном случае эффект от применения тренажеров может быть отрицательным.

*Ключевые слова:* психопедагогика, профессиональный отбор, элементы мастерства, технические средства обучения, информационная модель, основы самообучения.

Основой современных методов подготовки операторов высокой квалификации [1, 2] является психология и педагогика (психопедагогика). В авиации активное использование психопедагогики при подготовке операторов началось с появлением сверхзвуковых самолетов, для управления которыми потребовалось умение быстро принимать решения при большом объеме зрительной и слуховой информации, то есть потребовалось умение оперативно выделять и использовать необходимую для управления информацию [3].

Опыт подготовки летчиков [3, 4] показал, что наиболее эффективны при обучении психопедагогические приемы с использованием тренажеров. При этом на начальной стадии обучения применяются простые модели тренажеров, в которых ограничен объем зрительной и слуховой информации. После каждой стадии обучения проводится профессиональный отбор, а психопедагогические приемы на каждой стадии обновляются.

Оператором, при управлении самолетом, используется информационная модель, которая отражает скорость самолета, его наклон, курс и высоту полета, состояние двигателя и т.д. В других областях техники [5,6] применяются иные информационные модели, и соответственно другие психопедагогические приемы.

В программах подготовки сварщиков вопросы психопедагогики не учитываются [7]. Так, например, в программе начального профессионального образования определено только то, что должен знать и уметь сварщик [8]. Однако не указано, из каких элементов складывается необходимое умение и как эти элементы формировать. В тоже время каждый учебный мастер, исходя из собственного практического опыта, интуитивно использует некоторые элементы психопедагогики. Поэтому сварщики, даже научившись выполнять ряд технологических сварочных операций и получив начальную квалификацию, в большинстве своем не могут объяснить, как и с помощью каких действий им удается выполнять эти операции. Некоторые высококвалифицированные сварщики (согласно анкетных данных) утверждают, что

корректировку своих действий производят интуитивно.

Таким образом, при существующей системе начального обучения предпосылки дальнейшего повышения мастерства не формируются. Рост квалификации происходит случайным образом методом проб и ошибок при накоплении опыта практической работы только у наиболее способных к данному виду деятельности. Именно этим обстоятельством можно объяснить тот факт, что высшей квалификации достигают через 6-9 и более лет [7] только немногие из получивших начальное профессиональное образование в ПТУ и в учебных центрах на предприятиях сварщики.

Для разработки психопедагогических приемов практической подготовки операторов ручной дуговой сварки (РДС) нами было проведено исследование условий формирования информационной модели у сварщиков при начальном обучении. Сварщики высокой квалификации ведут управление процессом по натуральной информационной модели. Опрос [9] показал, что они используют зрительную информацию о длине дуги, траектории шва, наличие шлака в сварочной ванне и др. (всего шесть параметров в различных сочетаниях), звуковую информацию, а также проприорецептивную информацию (мышечные ощущения). Исследование синтезированной модели взаимодействия оператора с технологическим процессом показало, что длительная качественная работа оператора на уровне высокой квалификации возможна только при наличии у оператора устойчивых моторных навыков скорости перемещения электрода вдоль стыка и скорости его подачи. Эти навыки также являются основой формирования в памяти операторов эталонов по зрительной и слуховой информации состояния технологического процесса. Кроме этого, указанные навыки позволяют высококвалифицированным сварщикам вести управление технологическим процессом по натуральной информационной модели. Таким образом, при подготовке сварщиков необходимо сформировать вышеуказанные профессиональные навыки управления процессом при сварке различных технологических конструкций в различных пространственных положениях.

В силу специфики реальной технологии РДС сформировать у новичков устойчивые навыки управления по натуральной модели представляет большие трудности из за следующих причин: высокой температуры дуги; разбрызгивания расплавленного металла; ограниченности операционного поля; утяжеленной спецодежды; наличия защитной маски или щитка и многих других факторов. Кроме того, в реальном процессе профессиональные навыки могут выполняться различными группами мышц с разной скоростью и в различных сочетаниях. Поэтому при обучении на реальном процессе сварки освоить сложные профессиональные навыки для большинства начинающих, учитывая вышеуказанные факторы, является проблемой. Опыт подготовки операторов [10, 11] показывает, что снизить влияние сбивающих (отвлекающих) факторов и успешно использовать психопедагогические приемы обучения удается с использованием технических средств обучения (тренажеров).

При подготовке операторов РДС важное значение имеет формирование у них умения правильно использовать поступающую от процесса информацию. Тренажер обеспечивает возможность дозировать зрительную и слуховую информацию необходимую для формирования автоматических профессиональных навыков. Основную роль в успехе обучаемого играет умение мастера довести до понимания занимающегося предельные возможности зрительного и слухового анализаторов, значение профессиональных моторных навыков. Поэтому учебный мастер должен уметь определять дозировку упражнений для каждого занимающегося, очередность выполняемых упражнений по сложности, а также моменты перехода к проверке усвоения этих упражнений на реальном процессе.

Известно, что двигательные навыки у каждого занимающегося формируются

индивидуально в зависимости от характеристик оперативной и долговременной памяти [1]. Передача информации из оперативной памяти в долговременную у каждого происходит с разной скоростью, что и определяет временной прогресс квалификации. Это обязательно должен знать учебный мастер для того, чтобы правильно подбирать количество необходимых упражнений.

Опыт показал, что начинать формирование двигательного навыка целесообразно при использовании простого тренажера, в котором условный стык [12, 13] представляет световую линию шириной от 3 до 5мм, а ошибка положения электрода относительно условного стыка фиксируется слуховым анализатором по звуковому сигналу. Это позволило большинству занимающихся осмысленно (творчески) подходить к освоению двигательных навыков уже на первой стадии обучения. Следует отметить, что выполнение упражнений на тренажерах сочеталось выполнением подобных упражнений на реальном процессе (РДС). Затем, в зависимости от успехов в освоении конкретного упражнения на реальном процессе, осуществлялся переход к выполнению более сложного упражнения на тренажере. В дальнейшем цикл тренажер – реальный процесс повторялся.

Такой подход позволил ориентировочно определять потенциальные способности каждого занимающегося к дальнейшему росту квалификации. Было установлено [7], что из прошедших первую стадию обучения только 30-35% оказались способны выполнять практические работы на уровне 3-4-го разрядов. При обучении и профессиональном отборе на следующих стадиях целесообразно по выше описанной схеме использовать более сложные тренажеры [14].

Наша практика использования тренажеров показывает, что даже незначительная передозировка количества однотипных упражнений отрицательно влияет на формирование навыка в реальном процессе. Соблюдение дозировки упражнений для каждого обучающегося (в зависимости от его способностей) полностью зависит от квалификации учебного мастера. Поэтому для подготовки электросварщиков с использованием технических средств обучения необходима подготовка учебных мастеров по новой программе. По этой программе учебный мастер должен, кроме знания вышеуказанных психических свойств операторов (оперативная и долговременная, зрительная и слуховая память и т.д. [1]), должен уметь: располагать обучающихся к творческому труду, в том числе формировать у них мотивацию к занятиям; определять текущую индивидуальную работоспособность (как на реальном процессе, так и на тренажерах); определять устойчивость внимания и причины нервно-психических напряжений каждого занимающегося. Также учебный мастер в обязательном порядке должен уметь контролировать свое эмоциональное состояние, а для усиления мотивации к занятиям, желательно, чтобы у мастера имелись образцы изделий, сваренные высококвалифицированными операторами.

Резюме: Использование тренажеров при подготовке операторов РДС позволяет существенно повысить эффективность подготовки высококвалифицированных электросварщиков, однако, для этого необходимо, чтобы процесс обучения базировался на элементах прикладной психопедагогики. В противном случае эффект от использования тренажеров может быть отрицательным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решетова, З.А. Психологические основы профессионального обучения [Текст] / З.А. Решетова. – М. : Издательство МГУ, 1985. – 208 с.
2. Стоунс, Э. Психопедагогика (психологическая теория и практика обучения) [Текст] / Э. Стоунс. – М. : Педагогика, 1984. – 472 с.

3. *Меньшов, А.И.* Человек в системе управления летательными аппаратами [Текст] / А.И. Меньшов. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.
4. Ошибки пилота: человеческий фактор [Текст] / пер. с англ. А.С. Щеброва. – М. : Транспорт, 1986. – 262 с.
5. *Малашигин, И.И.* Тренажеры для операторов АЭС [Текст] / И.И. Малышкин ; И.И. Сидорова. – М. : Атомиздат, 1979. – 143 с.
6. *Береговой, Г.Т.* Деятельность космонавтов в полете и повышение ее эффективности [Текст] / Г.Т. Береговой ; Л.С. Хачатурьянц. – М. : Машиностроение, 1981. – 264 с.
7. *Сас, А.В.* Модельное представление деятельности оператора при ручной дуговой сварке [Текст] / А.В. Сас ; Б.П. Грузинцев ; В.А. Парахин // Труды МВТУ. – 1985. – №234. – С. 41–51.
8. *Симоненков, В.В.* Сварочные работы при изготовлении строительных конструкций [Текст] / В.В. Симоненков. – М. : Стройиздат, 1990. – 239 с.
9. *Стеклов, О.И.* Оценка качества регулирования дуговой сварки по модели контура «зрительный анализатор – моторный выход» [Текст] / О.И. Стеклов ; А.В. Сас ; Б.П. Грузинцев. – М. : МИНГ им. И.М. Губкина, 1989. – С. 14–20.
10. *Шукшунов, В.Е.* Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов [Текст] / В.Е. Шукшунов. – М. : Машиностроение, 1986. – 240 с.
11. *Боднер, В.А.* Авиационные тренажеры [Текст] / В.А. Боднер ; Р.А. Закиров ; И.И. Смирнова. – М. : Машиностроение, 1978. – 192 с.
12. *Сас, А.В.* Повышение эффективности управления при механической и ручной сварке [Текст] / А.В. Сас // Сварочное производство. – 1996. – №9. – С. 27–29.
13. *Сас, А.В.* Информационно-измерительные системы в управлении сварочным производством [Текст] / А.В. Сас ; А.В. Чернов. – Новочеркасск: Известия ВУЗов. – Машиностроение, 2008. – 147 с.
14. *Сас, А.В.* Мультимедийный тренажер для ручной дуговой сварки [Текст] / А.В. Сас ; В.В. Кривин ; И.О. Ишигов ; В.А. Толстов // Сварочное производство. – 2010. – №5. – С. 57–59.

## Psycho-pedagogical principles training highly skilled operators of manual arc welding

**B. P. Gruzintsev\*, A. V. Sas\*\***

\* *Research center of training and personnel attestation «Professional», Partijny bystr., Moscow, Russia 113093, e-mail: kog-as@bk.ru*

\*\* *Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 65/1 Leninsky avenue, Moscow, Russia 119991; Research center of training and personnel attestation «Professional», Partijny bystr., Moscow, Russia 113093. e-mail: anatolii\_sas@mail.ru*

**Abstract** – This article says about application of psycho-pedagogy in the process of training highly skilled operators of manual arc welding. It is shown that the use of simulators permit to reduce significantly the cost and timing of operators training if their using includes the elements of applied psycho-pedagogy. Otherwise, the effect of simulators usage can be negative.

**Keywords:** psycho-pedagogy, professional selection, skill elements, technical means of training, information model, basics of self-learning.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Бакаева Е. Н.	14	Литвинова Т. А.	49
Баклыкова М. Г.	20	Лобковская Н. И.	92
Бекетов В. Г.	74		
Бубликова И. А.	20	Малаева Т. Ю.	7
		Медведев В. Н.	66
Веселова И. Н.	82	Медведева М. Н.	20
Грузинцев Б. П.	96	Пасько В. П.	74
		Пирожков Р. В.	49
Донцова А. С.	25		
		Руденко В. А.	88
Евдошкина Ю. А.	88		
		Савельев В. Ф.	25
Жилина М. В.	37	Сас А. В.	96
		Стрижов В. Ф.	66
Игнатова Н. А.	14		
Ишигова Л. О.	54	Толстов В. А.	54
		Томилин С. А.	49
Киселев Александр С.	66		
Киселев Алексей С.	66	Ульянов А. Н.	66
Козырев В. Д.	82		
Колоколов Е. И.	29	Цуверкалов В. Г.	54
Корнетова Н. В.	25		
Кравченко П. Д.	60	Черкалина А. В.	54

## AUTHOR INDEX OF VOL. 4, 2012

Bakaeva E.N.	14	Malaeva T.Yu.	7
Baklykova M.G.	20	Medvedev V.N.	66
Bekhetov V.G.	74	Medvedeva M.N.	20
Bublikova I.A.	20		
		Pasko V.P.	74
Cherkalina A.V.	54	Pirozhkov R.V.	49
Dontsova A.S.	25	Roudenko V. A.	88
Evdoshkina J.A.	88	Sas A.V.	96
		Savelyev V.F.	25
Gruzintsev B.P.	96	Strizhov V.F.	66
Ignatova N.A.	14	Tolstov V.A.	54
Ishigova L.O.	54	Tomilin S.A.	49
		Tsverkalov V.G.	54
Kiselev Alexander S.	66		
Kiselev Alexey S.	66	Ulyanov A.N.	66
Kolokolov E.I.	29		
Kornetova N.V.	25	Veselova I.N.	82
Kozyrev V.D.	82		
Kravchenko P.D.	60	Zhilina M.V.	37
Litvinova T.A.	49		
Lobkovskaya N.I.	92		

## 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 8 страниц машинописного текста, включая таблицы, список литературы (не больше 15 источников) и рисунки (не более 5).

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 и представлены в формате \*.рех, размером 800x600, с подписями. Графики должны быть оформлены в формате Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 и только отдельным файлом (каждый график на новом листе, либо в новом файле).

Единицы измерения следует давать в соответствии с Международной системой (СИ).

б) Литература приводится в порядке упоминания в конце статьи. В тексте должны быть ссылки в квадратных скобках только на опубликованные материалы. Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, с указанием на перевод.

Рекомендуется проверка статей через программу Антиплагиат на сайте <http://www.antiplagiat.ru>

Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТу 7.1-2003 «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

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

### ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ:

*Для книг:* Энджел, Д. Поведение потребителей [Текст] / Д. Энджел. – М. : Физматлит, 1972. – 272 с.

*Для журналов:* Петров, Н.Н. Принципы построения образовательных программ и личностное развитие учащихся [Текст] / Н.Н. Петров // Вопросы психологии. – 1999. – №3. – С. 39.

*Для диссертаций:* Дзякович, Е.В. Стилистический аспект современной пунктуации : автореф. дис. канд. филол. наук [Текст] / Е.В. Дзякович – М., 1984. – 30 с.

*Для депонированных работ:* Кондраш, А.Н. Пропаганда книг [Текст] / А.Н. Кондраш. – М., 1984. – 21 с. – Деп. в НИЦ «Информпечать» 25.07.84. ФН 176.

*Описание архивных материалов:* Гуцин, Б.П. Журнальный ключ [Текст] // НРЛИ. Ф. 209. Оп. 1. Д. 460. Л. 9.

*Материалы конференций:* Шишков, Ю. Россия и мировой рынок: структурный аспект [Текст] / Ю. Шишков // Социальные приоритеты и механизмы преобразований в России : материалы междунар. конф. Москва, 12-13 мая 1998 г. – М. : Магма, 1993. – С. 19-25.

*Для патентов:* Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство [Текст] / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с. : ил.

*Для авторских свидетельств:* А. с. 1007970 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин (СССР). – № 3360585/25–08; заявл. 23.11.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. – 2 с.

*Для электронных ресурсов:* Дирина, А.И. Право военнослужащих РФ на свободу ассоциаций [Электронный ресурс] / А.И. Дирина // Военное право: сетевой журн. – 2010. – Режим доступа: URL: <http://voennoopravo.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.