

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2018, 3(28)

Founded in November, 2011

The subscription index is 10647 in the catalogue «Press of Russia»

Quarterly

ISSN 2305-414X, reg. № FS77-47155, November, 3 2011

Web-site: <http://gns.mephi.ru>

Editor-in-Chief:

M.N. Strikhanov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

Editorial Staff:

M.N. Strikhanov, Editor-in-Chief, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

V.A. Rudenko, Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Sociology, Professor (*Russia*)

Denis Flory, Deputy CEO of IAEA (*Austria*)

Liu Daming, Professor of the Chinese Nuclear Power Institute, CIAE (*China*)

Nancy Fragoyannis, Senior Counsellor of the USA Nuclear Regulation Commission (*USA*)

Buhach Andrzej, Doctor of Technical sciences, Professor (*Poland*)

M.K. Skakov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Kazakhstan*)

A.D. Malyarenko, Doctor of Technical sciences, Professor (*Belarus*)

S.E. Gook, PhD Technical Science (*Germany*)

P.D. Kravchenko, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

A.P. Elokhin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

A.V. Chernov, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

Y.I. Pimshin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

Y.P. Mukha, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

V.V. Krivin, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

V.I. Ratushny, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (*Russia*)

Y.S. Sysoev, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

A.V. Palamarchuk, PhD Technical sciences (*Russia*)

V.E. Shukshunov, Doctor of Technical sciences, Professor (*Russia*)

V.P. Povarov, PhD Physics and Mathematics (*Russia*)

S.M. Burdakov, PhD (Technical sciences), associate professor (*Russia*)

I.A. Bublikova, PhD (Technical sciences), associate professor (*Russia*)

Founder:

National Research Nuclear University MEPhI

Editorial address: Kashirskoe shosse 31, Moscow, 115409, Russia
Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia
telephone: (8639)222717, e-mail: oni-viti@mephi.ru
Press address: Lenin Street, 73/94, Rostov region, Volgodonsk, 347360, Russia.

Moscow

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2018, 3(28)

Журнал основан в ноябре 2011 г.
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 10647
Выходит 4 раза в год, ISSN 2305-414X
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47155 от 3.11.2011 г.
Журнал включен в перечень ВАК РФ (№504)
Группы научных специальностей:
05.14.00 – Энергетика;
05.26.00 – Безопасность деятельности человека;
05.04.00 – Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение;
05.13.00 – Информатика, вычислительная техника и управление.

Web-site: <http://gns.mephi.ru>

Главный редактор:

М.Н. Стриханов, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Редакционная коллегия:

М.Н. Стриханов, главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
В.А. Руденко, заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф. (Россия)
Денис Флори, заместитель генерального директора МАГАТЭ (Австрия)
Лю Дамин, проф. Китайского института ядерной энергетики (Китай)
Нэнси Фрагояннис, старший советник Комиссии по ядерному регулированию США (США)
Бухач Андржей, д-р техн. наук, проф. (Польша)
М.К. Скаков, д-р физ.-мат. наук, проф. (Казахстан)
А.Д. Маляренко, д-р техн. наук, проф. (Беларусь)
С.Э. Гок, к-т техн. наук (Германия)
П.Д. Кравченко, д-р техн. наук, проф. (Россия)
А.П. Елохин, д-р техн. наук, проф. (Россия)
А.В. Чернов, д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ю.И. Пимишин, д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ю.П. Муха, д-р техн. наук, проф. (Россия)
В.В. Кривин, д-р техн. наук, проф. (Россия)
В.И. Ратушный, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
Ю.С. Сысоев, д-р техн. наук, проф. (Россия)
А.В. Паламарчук, к-т техн. наук (Россия)
В.Е. Шукинунов, д-р техн. наук, проф. (Россия)
В.П. Поваров, к-т физ.-мат. наук (Россия)
С.М. Бурдаков, к-т техн. наук, доц. (Россия)
И.А. Бубликова, к-т техн. наук, доц. (Россия)

Учредитель:

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

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

Москва

CONTENTS

2018, 3(28)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Applications of Monte Carlo Simulation for Analyzing γ -Radiation Characteristics of Radioactive Cloud Radiation in NPP Emissions <i>A.I. Ksenofontov, A.P. Elokhin, E.A. Alalem</i>	7
Application of Modern Digital Technologies for Atomic Energy Safety Strengthening from the Angle of Nuclear Non-Proliferation Regime <i>A.V. Goncharuk</i>	17
Directions of Access Control Systems Improving for Radiation Hazardous Facilities <i>K.G. Terehov</i>	23

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

Investigation of Four-pole Magnetic Field Deformation during Magnetic Metal Arc Welding <i>Jieren Gu, A.M. Rybachuk, M.E. Kozyrev</i>	30
Possible Approach to Technical Condition Assessment of Two-Layer Reinforced Concrete Covers of NPP Unit Reactor Compartments <i>Y. I. Pimshin, Y.V. Zayrov, Y. S. Zabaznov</i>	37
The Estimation of Randomization Parameters in the Analysis of Multivariate Random Processes <i>V.V. Krivin, V.A. Tolstov, I.O. Ishigov</i>	43

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Optimization of Control Algorithms of NPP with WWER-1200 to Minimize First Circuit Water Exchange in the Implementation of Daily Maneuvering (Load Following) Modes <i>S.B. Vygovskiy, R.T. Al Malkawi, A.G. Khachatryan, Sh.H. Abrahamyan</i>	49
Estimation of the Accuracy of the Method of Reactivity Coefficient Identification and Solid Absorbers Efficiency Based on Reverse Problem Solution of Point Reactor Dynamics <i>V.K. Semenov, M.A. Volman</i>	64

Calculation of Seismic Resistance of Group «B» Cranes Operating at Nuclear Power Plants (NPP) <i>Y.I. Pimshin, V.A. Naugolnov, G.A. Naumenko, I.U. Pimshin</i>	73
---	----

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

Instrumental Software Tools for Measuring the Reaction Time of a Person <i>V.M. Alyushin</i>	81
---	----

Situative and Personal Factors of Organizational and Professional Commitment to Safety Culture of VETI NRNU "MEPhI" Nuclear Energy Department Students <i>V.A. Rudenko, N.I. Lobkovskaya, Y.A. Evdoshkina</i>	87
--	----

Illegal Business in the Field of Nuclear Energy as a Threat to the Safety of Nuclear Power Plant Operation <i>M.V. Galda, I.V. Bushuyev, M.V. Petrov</i>	98
---	----

Author Index of vol. 3, 2018.....	105
-----------------------------------	-----

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2018

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Применение расчетных методов для анализа характеристик γ -излучения радиоактивного облака при выбросах АЭС <i>А.И. Ксенофонов, А.П. Елохин, Е.А. Алалем</i>	7
Использование современных цифровых технологий для повышения безопасности и надежности атомной энергетики с точки зрения ядерного нераспространения <i>А.В. Гончарук</i>	17
Направления совершенствования систем контроля и управления доступом для радиационно-опасных объектов <i>К.Г. Терехов</i>	23

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

Исследование деформации четырёхполюсного магнитного поля при дуговой сварке магнитного металла <i>Гу Ц., Рыбачук А.М., Козырев М.Е.</i>	30
О возможном подходе к оценке технического состояния двухслойных железобетонных оболочек блоков реакторных отделений АЭС <i>Ю.И. Пимишин, Ю.В. Заяров, Ю.С. Забазнов</i>	37
Определение параметров рандомизации при анализе многовариантных случайных процессов <i>В.В. Кривин, В.А. Толстов, И.О. Ишигов</i>	43

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Оптимизация алгоритмов управления ЯЭУ с ВВЭР-1200 для минимизации водообмена в 1-ом контуре при реализации суточных маневренных режимов <i>С.Б. Выговский, Р.Т. Аль Малкави, А.Г. Хачатрян, Ш.А. Абраамян</i>	49
Оценка точности метода определения коэффициентов реактивности и эффективности твердых поглотителей на основе решения обратной задачи динамики точечного реактора <i>В.К. Семенов, М.А. Вольман</i>	64
Расчет сейсмостойкости кранов группы «Б», действующих на атомных электрических станциях (АЭС) <i>Ю.И. Пимишин, В.А. Наугольнов, Г.А. Науменко, И.Ю. Пимишин</i>	73

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

Инструментальные программные средства для измерения времени реакции человека

В.М. Алюшин.....81

Ситуативно-личностные факторы организационной и профессиональной приверженности культуре безопасности студентов-атомщиков ВИТИ НИЯУ МИФИ

В.А. Руденко, Н.И. Лобковская, Ю.А. Евдошкина.....87

Незаконное предпринимательство в области ядерной энергетики как угроза безопасности эксплуатации атомных электростанций

М.В. Галда, И.В. Бушуев, М.В. Петров.....98

Авторский указатель номера 3, 2018.....105

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК: [504.5:628.4.047]:519.245

ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК γ -ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛАКА ПРИ ВЫБРОСАХ АЭС

© 2018 А.И. Ксенофонтов, А.П. Елохин, Е.А. Алалем

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Рассматривается применение интегрального и метода Монте-Карло в задачах радиационного мониторинга окружающей среды. В качестве таковых рассматриваются задачи оценки мощности дозы внешнего облучения, создаваемой инертными радиоактивными газами при их выбросе через венттрубу АЭС в условиях планового профилактического ремонта и радиационной аварии; оценка полной объёмной активности ИРГ в выбросе и другие характеристики, связанные с использованием γ -детекторов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки окружающей среды и беспилотных дозиметрических комплексов, используемых в рамках этой системы. С целью оценки корректности расчётов методом Монте-Карло проводится сравнение результатов расчётов указанным методом с аналогичными характеристиками, полученными интегральным методом, которые показали удовлетворительное согласие.

Ключевые слова: радиационный выброс на АЭС, мощность дозы внешнего облучения, ионизирующее излучение, радиоактивное загрязнение окружающей среды, метод Монте-Карло, интегральный метод, радиационный мониторинг, АЭС в Иордании.

Поступила в редакцию: 24.05.2018

Расчётные оценки радиационных характеристик радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере в результате радиационных аварий, на АЭС или других объектах использования атомной энергии (ОИАЭ) требуют знания как метеопараметров атмосферы, характеризующих её состояние устойчивости, функциональную зависимость объёмной активности от величины последних, так и непосредственно радиационных характеристик самой примеси, определяемых радионуклидным составом, величиной полной активности и энергией γ -излучения.

Таблица 1 – Усреднённые характеристики метеопараметров [1] [Averaged characteristics of meteorological parameters]

Сезон времени года	$\bar{u}$, м/с	$\bar{k}$, м ² /с	$\bar{b}$, м ² /с ²	L , м	v_*
Зима, 20:00	3,057	0,684	0,041	17	0,139
Весна, 20:00	3,836	11,743	1,129	-5	0,232

В работе [1] для определения функциональной зависимости объёмной активности радиоактивной примеси от координат $q(x, y, z)$ и метеопараметров атмосферы в рамках модели её приземного слоя [2, 3] проводился расчет метеорологических характеристик указанного слоя атмосферы (скорости приземного ветра $u(z)$, коэффициента турбулентной диффузии $k(z)$ и энергии турбулентных пульсаций $b(z)$ как функций высоты z), основанных на показаниях метеодатчиков, измеряющих температуру и

скорость приземного ветра на нескольких уровнях (высотах), включая температуру уровня земли, при использовании методики градиентных наблюдений. С целью получения наиболее простого решения уравнения турбулентной диффузии, описывающего перенос примеси в атмосфере в рамках её приземного слоя, функциональные зависимости указанных метеорологических параметров усреднялись по высоте и в уравнении использовались их средние величины $\bar{b}$, $\bar{k}$, $\bar{u}$ как постоянные коэффициенты [4, 5], представленные в таблице 1, в которой L , v_* – масштаб приземного слоя атмосферы (масштаб Монина-Обухова) и динамическая скорость соответственно. Окончательно, ограничиваясь долгоживущими радионуклидами, объемную активность газоаэрозольной радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере, вычисляли по формуле (1), в которой выражение $\exp(-y^2/2\sigma_y^2(x))/\sqrt{2\pi\sigma_y(x)}$, описывает гауссово (поперечное) уширение струи, определяемое выражением (2), в котором $\sigma_y(x)$ – её дисперсия; $S(x, z)$ – двумерная функция распределения примеси [2], определяемая выражением (3) [4, 5]:

$$q(x, y, z) = \frac{S(x, z)}{\sqrt{2\pi\sigma_y(x)}} \exp(-y^2/2\sigma_y^2(x)) \quad (1)$$

$$\sigma_y^2(x) = \bar{b}x^2/\bar{u}^2(1 + a\bar{b}\bar{k}\bar{u}) \quad (2)$$

где $a = 0,015$;

$$S(x, z) = \frac{M}{2} \exp\left(-\left[\frac{\sigma_0 x}{\bar{u}} + \frac{w^2 x}{4\bar{k}\bar{u}} + \frac{w(z - h_{\text{эф}})}{2\bar{k}}\right]\right) \left\{ \frac{\exp(-[z + h_{\text{эф}}]^2 \bar{u}/4\bar{k}x) + \exp(-[z - h_{\text{эф}}]^2 \bar{u}/4\bar{k}x)}{\sqrt{\pi\bar{k}\bar{u}x}} - \frac{(2\beta - w)}{\bar{k}\bar{u}} \exp\left[-\frac{(2\beta - w)(z + h_{\text{эф}})}{2\bar{k}} + \left(\frac{2\beta - w}{2\bar{k}}\right)^2 \frac{\bar{k}x}{\bar{u}}\right] \times \right. \quad (3)$$

$$\left. \times \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{2\beta - w}{2\bar{k}}\right)\sqrt{\bar{k}x/\bar{u}} + \frac{(z + h_{\text{эф}})}{2\sqrt{\bar{k}x/\bar{u}}}\right] \right\},$$

где M – величина мощности выброса (Бк/с);

w – гравитационная скорость осаждения радиоактивной примеси (м/с);

σ_0 – постоянная вымывания примеси из атмосферы (1/с);

β – скорость сухого осаждения примеси (м/с);

$h_{\text{эф}}$ – эффективная высота выброса (м) (рис. 1).

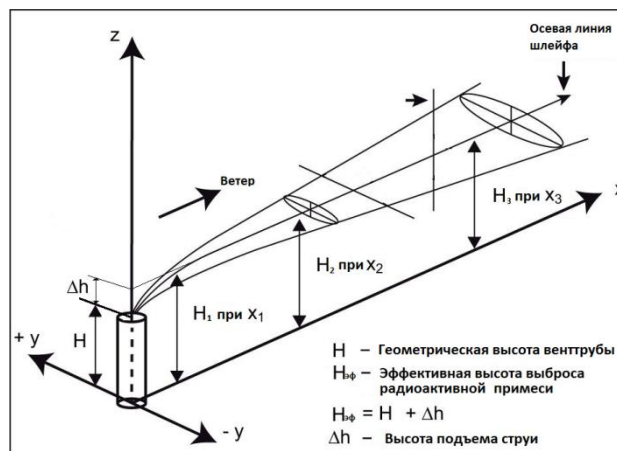


Рисунок 1 – Геометрия расчёта объемной активности радиоактивной примеси при формировании факела выбросов из вентиляционной трубы АЭС [Geometry of calculation of radioactive admixture volumetric activity at formation of emission plume out of NPP ventilation pipe]

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ МЕТОД

Расчёт указанных характеристик интегральным методом [6], при котором область распределения радиоактивной примеси (область определения функции), распространяющейся в атмосфере, представляют в виде совокупности элементарных источников с соответствующими текущими координатами, в каждом из которых распределение примеси предполагают равномерным, задают расстояние r , определяемое формулой (4) между точкой детектирования и соответствующим элементарным источником, и находят величину мощности дозы как интеграл от совокупности точечных источников по формуле (5).

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}, \quad (4)$$

где x, y, z – текущие координаты;

x_0, y_0, z_0 – координаты точки детектирования.

$$D'(x_0, y_0, z_0) = \frac{E \cdot \eta \cdot \mu_a}{4\pi} \cdot \int_V B(E, r) \cdot q(x, y, z) \cdot \frac{e^{-\mu \cdot r}}{r^2} dV, \quad (5)$$

где E – энергия фотонов;

η – квантовый выход;

$B(E, r)$ – фактор накопления для бесконечной или полубесконечной сред [7];

μ_a, μ – линейные коэффициенты поглощенной энергии и ослабления γ -излучения соответственно;

V – область определения подынтегральной функции.

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО

В настоящее время основные методы расчета мощностей доз от радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, а также воздушного бассейна, служащие для оценки мощностей доз внешнего облучения, основаны либо на концепции лучевого равновесия [8], либо, в лучшем случае, на интегральных методах с учётом фактора накопления [6]. Оценку мощности дозы при радиоактивном загрязнении воздушного бассейна в рамках концепции лучевого равновесия целесообразно проводить на расстояниях от источника выбросов свыше 700 м, а на меньших расстояниях – интегральным методом [4]. При этом основная погрешность расчётной оценки будет определяться, как корректностью расчётной функции распределения радиоактивной примеси, определяемой формулами (1)-(3), поскольку она содержит ряд метеопараметров, измеряемых с определённой погрешностью, так и погрешностью расчёта фактора накопления в случае применения его в виде табличных данных или аппроксимации в виде аналитического выражения, о чём говорилось выше.

Одним из перспективных методов решения поставленной задачи является метод Монте-Карло (ММК), представляющий собой численное моделирование физического процесса распространения фотонного излучения в среде, в основе которого лежит случайность события рассеяния фотона, независимая от его предыстории [9-12]. ММК свободен от недостатков, характерных для интегрального метода, но, к сожалению, требует значительно большего расчётного времени, поскольку для уменьшения погрешности расчёта ему необходима большая статистика, которая обеспечивается

большим количеством историй, в качестве которых рассматривается случайный выбор элементарных источников, формирующих пространство радиоактивного загрязнения окружающей среды при выбросе радиоактивной примеси. Однако технические возможности существующей ныне вычислительной техники позволяют использовать этот метод без каких-либо ограничений. Непосредственное применение ММК для задач радиационного контроля окружающей среды проводилось в работах [13-15].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

При расчете мощности дозы внешнего облучения от объемного источника – облака радиоактивной примеси – следует уделять серьезное внимание уточнению распределений указанного функционала в области малых (промплощадка АЭС) расстояний от источника. Интерес к этой области расстояний обусловлен тем, что в ней наблюдается высокий градиент в распределении приземной концентрации радиоактивной примеси, в связи с чем нарушаются условия лучевого равновесия [4] (см. рис.2), что, в свою очередь, может привести к значительной погрешности при оценке величины мощности дозы. Наибольшее согласие расчетов наблюдается на расстояниях от 0,7 до ~ 10 км от источника, т.е. за зоной максимума приземной концентрации радиоактивной примеси. При расстояниях, меньших 0,7 км, не выполняется условие лучевого равновесия, а потому предпочтение следует отдать расчетам по методу Монте-Карло и интегральному методу.

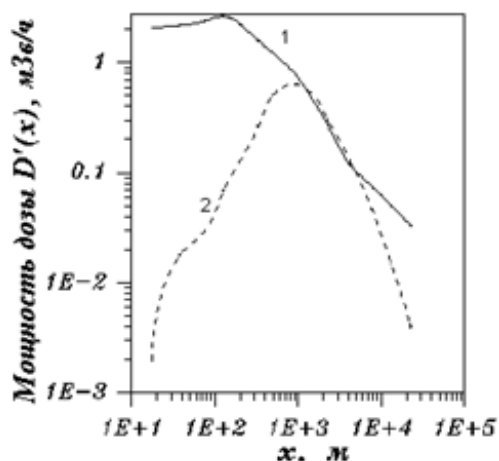


Рисунок 2 – Распределение мощности дозы как функции расстояния от источника (факела выбросов) при гипотетической аварии на оси следа [4]: 1 – расчёт интегральным методом; 2 – расчёт в рамках концепции лучевого равновесия [The distribution of dose rate as a function of the distance from the source (emission plume) at a hypothetical accident on the track axis: 1 – calculation by an integral method; 2 – calculation within the beam equilibrium concept]

На рисунке 3 приведены распределения мощности дозы от объемного источника (факела выбросов) на его оси в условиях выброса ^{85}Kr для устойчивого состояния атмосферы (зима), (кривая 1) и неустойчивого (весна), (кривая 2). Расчеты проводились с использованием интегрального метода. Область максимума на кривых соответствует высокой плотности радиоактивной примеси, возникающей в атмосфере на небольших расстояниях от источника. По мере рассеяния примеси мощность дозы падает, что и демонстрируют кривые 1 и 2. Что же касается ярко выраженного характера распределения мощности дозы при различных состояниях устойчивости атмосферы, то этот факт объясняется существенно различным распределением радиоактивной примеси в атмосфере, т.е. характером распределения функции $q(x,y,z)$, определяемой выражением (1), при различных состояниях устойчивости атмосферы.

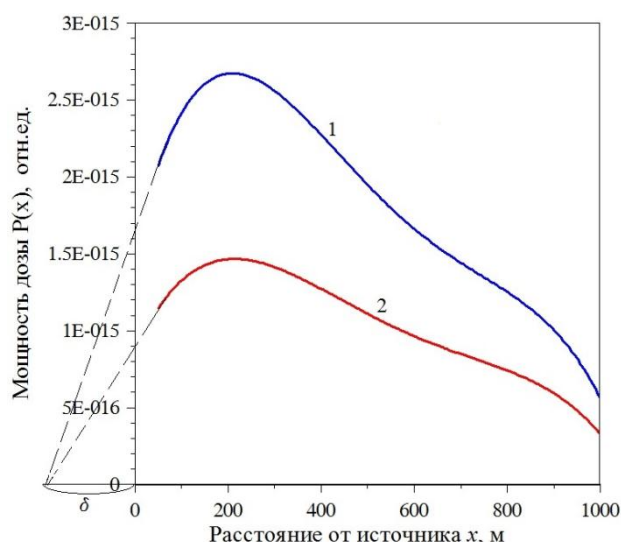


Рисунок 3 – Распределение мощности дозы $P(x)$ как функции расстояния x от источника (факела выброса при гипотетической аварии) на оси следа при использовании интегрального метода для устойчивого (зима), кривая (1) и не-устойчивого (весна), кривая (2) состояний атмосферы. δ – область, в которой мощность дозы внешнего облучения определена рассеянной и нерассеянной компонентами γ -излучения при отсутствии в ней объёмной активности [The distribution of the dose rate $P(x)$ as a function of the distance x from the source (emission plume at a hypothetical accident) on the track axis using the integral method for stable (winter), curve (1) and non-stable (spring), curve (2) atmosphere. δ is the area where the dose rate of external irradiation is determined by the scattered and unscattered components of the γ -radiation in the absence of volume activity in it]

На рисунках 4, 5 приведены результаты расчётов мощности дозы для устойчивого (рис. 4) и неустойчивого (рис. 5) состояний атмосферы интегральным методом (кривая 1) и ММК (кривая 2) на указанных рисунках.

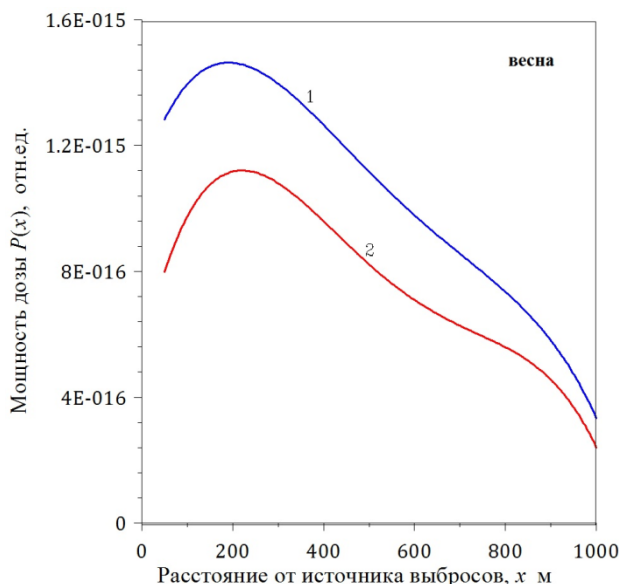


Рисунок 4 – Распределение мощности дозы $P(x)$ как функции расстояния x от источника (факела выбросов при гипотетической аварии) на оси следа для устойчивого состояния атмосферы (зима) при использовании интегрального метода, кривая (1) и метода Монте-Карло, кривая (2) [The distribution of the dose rate $P(x)$ as a function of the distance x from the source (emission plume at a hypothetical accident) on the track axis for the atmosphere steady state (winter) using the integral method, the curve (1) and the Monte Carlo method, curve (2)]

При формировании кривых имеет место два взаимоисключающих эффекта – это накопление объёмной активности в атмосфере и её рассеивание как за счёт сноса воздушным потоком, так и за счёт поперечного гауссова уширения факела выбросов, что отмечалось выше.

В целом результаты расчётов, проведённые тем и другим методом, удовлетворительно согласуются, но значительно лучше с ростом расстояний ~ 700 м. Спад мощности дозы с ростом расстояний обусловлен, уменьшением объёмной активности радиоактивной примеси, возникающей за счёт её гауссового уширения, которое увеличивается с ростом расстояния x , а также за счёт её уменьшения в результате ветрового переноса. Рассеяние радиоактивной примеси с ростом расстояния приводит к её более равномерному распределению в атмосфере, а при расчёте методом Монте-Карло в этом случае не требуется большого числа историй. На таких расстояниях оценку мощности дозы уже можно получить в рамках концепции лучевого равновесия, что и демонстрируют результаты рисунка 2. Напротив, на малых расстояниях от источника выбросов плотность распределения объёмной активности значительно выше, чем на больших, а объём, занимаемой ею, значительно меньше. В результате в этой области для оценки мощности дозы требуется значительно больше историй, чем на больших расстояниях от источника. На это указывает тот факт, что как при устойчивом, так и при неустойчивом состояниях атмосферы в области небольших x , например, в области максимума кривых отличие результатов расчётов составляет от 30 до 40%, а на больших расстояниях расхождение незначительно.

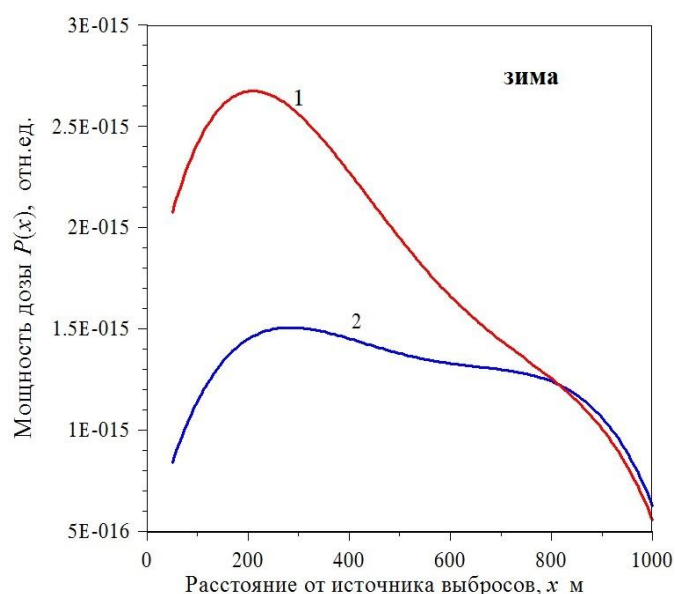


Рисунок 5 – Распределение мощности дозы $P(x)$ как функции расстояния x от источника (факела выбросов при гипотетической аварии) на оси следа для неустойчивого состояния атмосферы весна при использовании интегрального метода, кривая (1) и метода Монте-Карло, кривая (2) [The distribution of the dose rate $P(x)$ as a function of the distance x from the source (the emission plume during a hypothetical accident) on the track axis for the unstable atmosphere state (spring) using the integral method, the curve (1) and the Monte Carlo method, curve (2)]

Таким образом, несмотря на то, что величина приземной концентрации радиоактивной примеси вблизи высотного источника незначительна, что обеспечивает лишь небольшое значение ингаляционной дозы для персонала, мощность дозы внешнего облучения может быть большей за счет прямого воздействия (нерассеянного) фотонного излучения самого источника, что необходимо учитывать при проведении

работ на промплощадке при ликвидации аварии на АЭС. Кроме того, сравнивая результаты расчётов вблизи источника, следует констатировать, что расчёты мощности дозы в этой области действительно не следует проводить, основываясь на концепции лучевого равновесия.

Следует также обратить внимание на значение мощности дозы в области отрицательных значений x на рисунках 3-5, т.е. в области δ за венттрубой. Отсутствие радиоактивной примеси в этой области, поскольку её сдувает ветром в область больших x , говорит лишь о том, что ингаляционная доза в указанной области равна нулю, но мощность дозы внешнего облучения, строго говоря, в ней будет отлична от нуля за счет рассеянного и нерассеянного γ -излучения радиоактивной примеси, поскольку оно изотропно. Оценку величины области δ , в которой мощность дозы внешнего облучения может быть отлична от нуля нетрудно получить путем линейной экстраполяции значений мощности дозы, приведенных на рисунке 3 при соответствующем состоянии устойчивости атмосферы.

Одной из основных характеристик радиоактивных выбросов является величина мощности выброса M (Ки/с), входящая в решение уравнения турбулентной диффузии (3). Действительно, будучи константой, эта величина играет роль нормировочного множителя, поскольку во всех функционалах вида (5) она будет представлять собой просто постоянную, которая выносится из-под знака интеграла. Чтобы убедиться в этом, достаточно объёмную активность $q(x, y, z)$ в (3) представить в виде выражения (1), в котором функция $S(x, z)$ будет представлена формулой (3). Значение этого параметра трудно переоценить, учитывая, что все характеристики радиоактивного загрязнения окружающей среды в виде воздушного бассейна и подстилающей поверхности или дозовых нагрузок на персонал и население будут зависеть от величины объёмной активности $q(x, y, z)$, т.е. от указанного параметра.

Учитывая указанные особенности, оценку этой величины можно получить путём сравнения измеряемой величины мощности дозы и её расчётного значения, определяемого формулой (5). Наиболее просто это можно осуществить, если детектор будет расположен в области, в которой распределение объёмной активности можно считать равномерным. Действительно, измеряя значение мощности дозы, в этом случае, одним из γ -детекторов системы АСКРО с координатами (x_0, y_0, z_0) , число которых подчиняется правилу необходимого и достаточного их количества, а размещение на территории промплощадки и СЗЗ – правилу их разновеликого расстояния от центра и равномерного распределения по азимуту, например по спирали Архимеда [1], искомый параметр M можно найти в виде отношения:

$$M = \frac{4\pi D'(x_0, y_0, z_0)}{E \cdot \eta(E) \cdot \mu_a(E) \cdot q_0 \cdot \int_V B(E, r) [\exp(-\mu(E)r)/r^2] dV}, \quad (6)$$

где распределение $q(x, y, z)$ можно считать равномерно распределённым и равным q_0 .

Измеряемыми параметрами в этой формуле кроме $D'(x_0, y_0, z_0)$ являются – энергия γ -излучения E и объёмная активность q_0 , которая может быть определена аспирационным детектором. При определении параметра M все остальные характеристики радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на население могут проводиться при единичной мощности выброса, а при получении их абсолютного значения умножаться на полученный параметр. Таким образом, мы можем избавиться от значительной погрешности или неопределённости, которая характерна для большинства метеорологических моделей, и констатировать, что наши оценки осуществляются не хуже, чем погрешность дозиметрии, что и определяет

преимущество гибридного мониторинга окружающей среды.

Другая возможность оценки объёмной активности q_0 (Ки/м³) при известном её радионуклидном составе состоит в непосредственном использовании венттрубы, из которой осуществляется выброс ИРГ известного радионуклидного состава в период ППР. В этом случае, оценивая величину мощности дозы D' от цилиндрического газообразного равномерно распределённого источника, который представляет собой внутренняя область венттрубы, и, сравнивая её с аналогичной расчётной, вычисляемой, например, в центре последней, искомый параметр q_0 найдём как отношение:

$$q_0 = \frac{4\pi D'(x_0, y_0, z_0)}{E \cdot \eta(E) \cdot \mu_a(E) \int_{V_C} [\exp(-\mu(E)R)/R^2] dV}, \quad (7)$$

где $R = \sqrt{(h_{\text{эф}} - h)^2 + r^2}$,

$$dV = 2\pi r dr dh,$$

область V_C характеризуется областью определения:

$$0 \leq h \leq h_{\text{эф}}; 0 \leq r \leq r_0, \quad r_0 - \text{внутренний радиус венттрубы.}$$

В этом случае фактор накопления, согласно [4], можно принять равным 1. Если секундный расход G (м³/с) выброса радиоактивной примеси через устье венттрубы известен, (например, он может быть измерен с помощью проточной и непроточной ионизационных камер, размещаемых в устье венттрубы [16]), то мощность выброса M может быть найдена как произведение $G \times q_0$ (Ки/с), а умножая произведение на продолжительность выброса τ_v , найдём величину полной активности радионуклидов, выброшенных в атмосферу.

$$Q_0 = G \times q_0 \times \tau_v \text{ (Ки)} \quad (8)$$

Преимущество приведенных методов оценки рассмотренных выше радиационных характеристик состоит в том, что они позволяют определить эти параметры в режиме реального времени (on-line).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аалем, Е.А. Метеорологические характеристики района АЭС в Иордании [Текст] / Е.А. Аалем, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонов, П.И. Федоров // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 3 (24) – С. 19-34.
2. Лайхтман, Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы [Текст] / Д.Л. Лайхтман. – Ленинград: Гидромет. изд-во, 1970. – 340 с.
3. Бобылева, М.М. Расчет характеристик турбулентности в планетарном пограничном слое атмосферы [Текст] / М.М. Бобылева // Труды Ленинградского Гидрометеорологического института. Вып. 40 (Некоторые вопросы физики пограничного слоя в атмосфере и море). – Ленинград, 1970 – С. 64-73.
4. Елохин, А.П. Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды: монография [Текст] / А.П. Елохин. – М-во образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 520 с.
5. By Alexander P. Elokhin and Ilia A. Starodubtcev. On the Ecological Situation at the Territories Adjacent to Chemical and Metallurgical Facilities. (Subtitle: Using Sensors and an Automated Control System to Monitor Environmental Conditions). Environmental Quality Management (USA) 2017. Вып. 26, № 2. С. 23-43.
6. Метеорология и атомная энергия [Текст] / пер. с англ. ; под ред. Н.Л. Бызовой и К.П. Махонько. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1971. – 618 с.

7. *Машкович, В.П.* Защита от ионизирующих излучений. Справочник [Текст] / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
8. *Гусев, Н.Г.* Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник [Текст] / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.
9. Метод Монте-Карло в проблеме переноса излучений [Текст] / под ред. чл.-кор. АН СССР Г.И. Марчука. – Москва : Атомиздат, 1967. – 256 с.
10. Leimdorfer M. On the Use of Monte-Carlo Methods for Solving Gamma Radiation Transport Problems // *Nukleonik*, 1964. V. 6. P. 14.
11. *Золотухин, В.Г.* Поле излучения точечного мононаправленного источника гамма-квантов [Текст] / В.Г. Золотухин [и др.]. – Москва: Атомиздат, 1974. – 160 с.
12. *Соболев, И.М.* Численные методы Монте-Карло [Текст] / И.М. Соболев. – Москва : Наука, 1973. – 311 с.
13. *Елохин, А.П.* 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 // *Атомная энергия*. – 2007. – т. 102, вып. 4. – С. 254-262.
14. *Жилина, М.В.* Применение метода Монте-Карло в задачах радиационного мониторинга окружающей среды [Текст] / М.В. Жилина // *Экологические системы, приборы*. – 2010. – № 10. – С. 3-12.
15. *Елохин, А.П.* 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.
16. *Елохин, А.П.* Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды: учеб. пособие [Текст] / А.П. Елохин. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2012. – 316 с.

REFERENCES

- [1] Alalem E.A., Elokhin A.P., Ksenofontov A.I., Fedorov P.I. Meteorologicheskie harakteristiki rayona AES v Iordanii [Meteorological Characteristics of Planed Nuclear Power Plant in Jordan]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost*. [Global Nuclear Safety]. No. 3 (24). 2017. P. 19-34 (in Russian).
- [2] Laihtman D.L. Fizika pogranchnogo sloya atmosfery [Physics of Atmosphere Boundary Layer]. Leningrad: Gidromet. Izdatelstvo [Hydromet Publish House]. 1970. 340 p. (in Russian).
- [3] Bobyleva M.M. Raschet harakteristik turbulentnosti v planetarnom pogranchnom sloye atmosfery [Calculation of Turbulence Characteristics in Atmosphere Planetary Boundary Layer]. // Leningrad Hydrometeorological Institute. vipusk 40 (Nekotore voprosi fiziki pogranchnogo sloya v atmosfere i more) [Issue 40 (Some questions of the Physics of Boundary Layer in the Atmosphere and Sea)]. Leningrad. 1970. P. 64-73 (in Russian).
- [4] Elokhin A.P. Metodi i sredstva system radiacionnogo kontrolya okrujayushey sredi. Monografiya [Methods and Instrumentations of Radiation Monitoring Systems of the Environment: Monograph] / ministry of education and Science of the Russian Federation, National Research Nuclear University «MEPhI». Moscow: NRNU MEPhI. 2014. 520 p. (in Russian).
- [5] Alexander P. Elokhin and Ilia A. Starodubtcev. On the Ecological Situation at the Territories Adjacent to Chemical and Metallurgical Facilities. (Subtitle: Using Sensors and an Automated Control System to Monitor Environmental Conditions). *Environmental Quality Management (USA)*. 2017. Vol. 26. № 2. P. 23-43.
- [6] Meteorologiya i atomnaya energiya [Meteorology and Atomic Energy]. Perevod s anglijskogo; pod redakciej N.L. By`zovoj i K.P. Maxon`ko [Translated from English; edited by N. L. Buzova and K.P. Makhonko]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1971. 618 p. (in Russian).
- [7] Mashkovich V.P., Kudryavtseva A.V. Zashita ot ioniziruyushih izlucheny [Shielding from Ionizing Radiation]. Manual. Moscow: Energoatomizdat. 1995. 496 p. (in Russian).
- [8] Gusev N.G., Belyaev V.A. Radioaktivniye vibrosi v biosfere [Radioactive Dispersion in the Biosphere]. Reference. Moscow: Energoatomizdat. 1986. 224 p. (in Russian).
- [9] Metod Monte-Carlo v probleme perenosa izlucheny [Monte Carlo Method in the Problem of Radiation Transfer]. Ed. member-cor. Academy of Sciences of the USSR Marchuk. Moscow: Atomizdat. 1967. 256 p. (in Russian).
- [10] Leimdorfer M. On the Use of Monte-Carlo Methods for Solving Gamma Radiation Transport Problems. *Nukleonik*. 1964. V. 6. P. 14.
- [11] Zolotukhin V.G., Kimel L.R., Ksenofontov A.I. Pole izlucheniya tochechnogo mononapravlenno go istochnika gamma-kvantov [The Radiation Field of Point Mono-Directed Source of Gamma Quanta]. Moscow: Atomizdat. 1974. 160 p. (in Russian).

- [12] Sobolev I.M. Chislenniye metodi Monte-Carlo [Numerical Monte Carlo methods]. Moscow: Nauka. 1973. 311 p. (in Russian).
- [13] Elokhin A.P., Khmylov A.N., Zhilina M.V. Metod ocenki posledstviy radiacionnih avari v pomesheniyah reaktornogo bloka AES s reaktorom VVER – 1000 [Method for Assessing the Consequences of Radiation Accidents in the Premises of Reactor Unit at Nuclear Power Plant with VVER-1000 Reactor]. Atomic energy. 2007. Vol. 102. Issue 4. P. 254-262 (in Russian).
- [14] Zhilina M.V. Primeneniye metoda Monte-Carlo v zadachah radiacionnogo monitoringa okrujayushey sredi [Application of the Monte Carlo Method in Problems of Radiation Monitoring of the Environment]. Ekologicheskie sistemy, pribory [Ecological Systems, Devices]. 2010. № 10. P. 3-12 (in Russian).
- [15] Elokhin A.P., Zhilina M.V., Parkhoma P.A. Osobennosti skanirovaniya podstilayushey poverhnosti s pomoshjuy bespilotnogo dozimetricheskogo kompelksa [Features of Scanning the Underlying Surface with Unmanned Dosimetry Complex] [Atomic Energy]. 2009. T. 107. Vol. 2. P. 103-112 (in Russian).
- [16] Elokhin A.P. Avtomatizirovanniye sistemi kontrolya okrujayushey obstanovki okrujayushey sredi [Automated Systems for Monitoring the Radiation Environment of the Environment]. Tutorial. National Research Nuclear University «MEPhI». Moscow: NRNU MEPhI. 2012. 316 p. (in Russian).

Applications of Monte Carlo Simulation for Analyzing γ -Radiation Characteristics of Radioactive Cloud Radiation in NPP Emissions

A.I. Ksenofontov¹, A.P. Elokhin², E.A. Alalem³

*National Research Nuclear University «MEPhI»,
Kashirskoye Shosse, 31, Moscow, Russia 115409*

¹ORCID iD: 0000-0002-6864-9805

Wos Researcher ID: H-1833-2017

e-mail: AIKsenofontov@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0002-7682-8504

Wos Researcher ID: G-9573-2017

e-mail: elokhin@yandex.ru

³ORCID iD: 0000-0002-7207-5939

Wos Researcher ID: G-9489-2017

e-mail: issaalem2@yahoo.com

Abstract – Monte Carlo method is applied to assess the radiological risks to the environment. Determining the dose rates due to external radiation generated by radioactive inert gases when they are released from a nuclear power plant is discussed. The paper considers the estimation of volumetric concentrations of the released radioactive inert gases, and other characteristics associated with the use of gamma detectors of the automated radiation monitoring systems of the environment and unmanned aircraft radiometric system.

In order to assure the reliability and the accuracy of the calculation by the Monte Carlo method for predicting the dose rates, the results are compared by this method with similar characteristics obtained by the integral method, which showed satisfactory agreement.

Keywords: radiation accident, dose rate of external radiation, ionizing radiation, radioactive dispersion, Monte Carlo method, integral method, radiation monitoring, Jordan nuclear power plant.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.039.009

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЯДЕРНОГО
НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ**

© 2018 А.В. Гончарук

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва, Россия

В данной статье изучается понятие безопасности и надежности атомной энергетики с точки зрения режима нераспространения ядерного оружия. Выделяются отличительные особенности и специфика атомной генерации в сравнении с другими источниками энергии. На основе выделенных характеристик описаны существующие вызовы для безопасности атомной отрасли и приведены обостряющие факторы. Оборот товаров двойного назначения и чувствительных технологий всегда вызывал наиболее пристальное внимание общественности при упоминании о ядерной энергетике. Технологический прогресс позволяет создавать новые механизмы по укреплению контроля за режимом нераспространения ядерного оружия. В работе анализируются цели и задачи российской программы по цифровизации экономики и их проекция на атомную отрасль. Изучены основные преимущества и сильные стороны технологии блокчейн при ее внедрении в различные сферы жизни. В результате выдвигается концепция о потенциальных возможностях и синергическом эффекте от использования распределенной базы данных блокчейна в современной атомно-энергетической отрасли. Ключевые характеристики блокчейна могут найти широкое применение в организации контроля на всех стадиях жизненного цикла делящегося материала. Статья выносит на рассмотрение возможность использования нового цифрового инструмента для укрепления существующего режима контроля за оборотом товаров двойного назначения и чувствительных технологий и, тем самым, усиления режима ядерного нераспространения.

Ключевые слова: ядерное нераспространение, гарантии МАГАТЭ, делящийся материал, цифровая экономика, блокчейн.

Поступила в редакцию: 22.06.2018

Мировая атомная отрасль переживает, так называемый, «ядерный ренессанс». Несмотря на то, что доверие к атомной энергетике периодически подвергается новым испытаниям – иногда серьезным (как авария на Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 г.) или авария на АЭС Фукусима (11 марта 2011 г.), иногда чуть менее крупным (авария на Три-Майл-Айленд (28 марта 1979 г.)), все же количество ядерных энергоблоков в мире непрерывно увеличивается. Так, в настоящее время в мире в эксплуатации находятся уже 451 реактор и еще 59 на стадии строительства [1.]

В равной степени растет и количество стран-экспортеров атомных технологий, готовых предложить проект сооружения ядерного реактора по своему дизайну. Помимо традиционных игроков (Россия, Франция, США) все более активную роль на рынке занимают Китай (проекты в Пакистане, Аргентине, Румынии, Великобритании) и Южная Корея (проект в ОАЭ). Перспективы расширения рынка ядерных технологий достаточно серьезные. Десятилетний портфель заказов только у Госкорпорации «Росатом» уже превысил 130 млрд. долларов (проекты в Китае, Индии, Бангладеш, Финляндии, Египте, Венгрии) [2] .

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕРЕЗ ГАРАНТИИ

Вместе с тем, международное сотрудничество в сфере мирного использования атомной энергии принципиально отличается от других сфер экономической деятельности. Оно неизбежно подразумевает высокую степень вовлечения в оборот товаров двойного назначения (товары, которые могут быть использованы как для мирных, так и для военных целей), делящихся материалов (различные изотопы урана, плутония и других радиоактивных элементов) и поставки различных чувствительных технологий. По этой причине существует несколько механизмов и международных организаций, которые призваны обеспечить надежность и безопасность атомной энергетики с точки зрения режима нераспространения ядерных технологий [3] .

Основой такого режима является Договор о нераспространении ядерного оружия 1968 г., который закрепил статус так называемых «государств, обладающих ядерным оружием» за США, Россией, Великобританией, Францией и Китаем (испытали ядерное оружие 29 августа 1949 г., 16 июля 1945 г., 3 октября 1952 г., 13 февраля 1960 г., 16 октября 1964 г. соответственно) 4] Все остальные участники договора приняли на себя обязательства не вести работу п. [о создании ядерного оружия. Руководящую роль в осуществлении контроля за соблюдением режима выполняет Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). Одной из его наиболее значимых функций является проведение инспекций на атомных объектах стран-членов организации и контроль за оборотом делящегося материала. Таким образом, агентство стремится гарантировать невозможность переключения какой-либо страной своей гражданской программы по развитию атомной энергетики на военные цели. В связи с появлением большого количества стран, вовлеченных в торговлю чувствительными технологиями, были также созданы специальные механизмы для контроля за их оборотом: Группа ядерных поставщиков (контроль за ядерными технологиями), Вассенаарские соглашения (контроль за оборотом товаров двойного назначения), Комитет Цангера (идентификация технологий, подпадающих под экспортный контроль), Режим контроля за ракетными технологиями (контроль за оборотом ракетных технологий).

ВЫЗОВЫ ДЛЯ РЕЖИМА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ

Однако вопреки всем существующим механизмам, режимам и инспекциям, иногда все же возникают ситуации, в которых страна под видом разработки своей национальной атомно-энергетической программы параллельно ведет создание и ядерного оружия. Если в случае с Пакистаном, Индией, Израилем страны изначально не брали на себя обязательств по отказу от ядерного оружия, а Северная Корея начала его разработку уже после выхода из ДНЯО, то бывают и иные случаи.

Так, долгое время шла дискуссия вокруг возможного существования военной ядерной программы в Иране, но однозначных выводов об этом сделано так и не было. Но в случае с Ираком факт разработки секретной военной ядерной программы вопреки всем проводимым инспекциям МАГАТЭ был подтвержден. Еще в 1972 г. Ирак ратифицировал Договор о нераспространении ядерного оружия, но в течение последующих 20 лет накапливал компетенции и вел работы (в том числе благодаря международной кооперации) по созданию ядерного взрывного устройства, скрывая этот факт. Программа была обнаружена лишь после военного конфликта Ирака с Кувейтом в 1991 г., определяющую роль в котором сыграли США [5] .

Помимо этого, Пакистан и Индия даже не будучи членами вышеупомянутых режимов и договоров, все равно де-факто являются субъектами торговли ядерно-энергетическими технологиями, хотя, справедливости ради, отметим, что каких-либо оснований упрекнуть эти страны в нарушении режима нераспространения ядерного

оружия нет. Вышеупомянутые факты говорят о том, что, несмотря на то, что мировым сообществом были созданы достаточно серьезные механизмы по предотвращению угроз надежности и безопасности атомной энергетике, все же этот режим при необходимости следует укреплять. В этом могли бы помочь современные цифровые технологии.

ПЕРЕХОД В ЦИФРУ

Понятие цифровой экономики достаточно новое, но, при этом, работу в данном направлении некоторые страны ведут уже несколько лет. В 2017 г. программа создания цифровой экономики была объявлена и в России. 28 июля 2017 г. Правительство РФ утвердило программу по созданию цифровой экономики России, разработанную по инициативе Президента РФ В.В. Путина. Программой определены цели, задачи, направления и сроки реализации основных мер государственной политики по созданию необходимых условий для развития в России цифровой экономики [6].

Одним из центров компетенций по цифровизации экономики стала Госкорпорация "Росатом". Ключевой задачей, поставленной руководством страны перед отраслью, является выработка новых подходов по использованию информационных технологий для оптимизации протекания процессов в атомной отрасли. Для достижения этой цели изучаются различные, так называемые, сквозные технологии, которые отрабатываются в центре компетенций [7]. Одной из наиболее перспективных с точки зрения повышения надежности и безопасности энергетики, а так же ядерного нераспространения может стать технология базы данных распределённого реестра, известная как блокчейн.

ЗНАКОМСТВО С БЛОКЧЕЙНОМ

Примеры подобных баз данных существовали и ранее, но концепт блокчейна обладает несколькими преимуществами которые позволяют многим экспертам в области ИТ-технологий уже сейчас говорить о революционности этой технологии. Структурно блокчейн представляет собой цепь блоков информации, последовательно связанных между собой. Хранится такая информация не в одном конкретном месте, а на множестве компьютеров одновременно. К этой цепи непрерывно присоединяются новые блоки, которые содержат упорядоченную информацию о проведенных операциях – транзакциях. Когда сформировано определенное количество транзакций, то один из пользователей объединяет их в блок информации и пытается присоединить к цепи. Такой блок проверяется всеми остальными участниками сети и только после получения одобрения становится ее частью. При этом такой блок помимо новой информации в зашифрованном виде хранит в себе данные и о предыдущих блоках, а эти данные одновременно обновляются на всех участвующих в цепи компьютерах. При этом каждый из участников цепи имеет к ней доступ и может наблюдать за всеми происходящими операциями [8].

Основные преимущества, которые дает такая схема, состоят в следующем:

- децентрализация;
- защищенность от изменений;
- транспарентность.

В случае с обычной электронной базой данных всегда существует опасность несанкционированного доступа к ней и внесения изменений в данные. При использовании блокчейна это становится невозможным, потому что в таком случае необходимо внести изменения на тысячах носителей информации одновременно.

Наиболее активное применение блокчейн пока нашел в криптовалюте, как например биткоин, но у него существуют большие перспективы и в других сферах жизни. Так, Индия и Грузия уже переводят на эту технологию свой земельный кадастровый реестр [9], Китай выстраивает на блокчейне работу национального страхового фонда, Газпром успешно внедрил эту технологию в организацию логистической схемы поставок оборудования.

БЛОКЧЕЙН В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Перспективным могло бы оказаться и использование блокчейна для повышения надежности и безопасности атомной энергетики с точки зрения режима нераспространения ядерного оружия. Так, в виде транзакций можно было бы записывать весь жизненный цикл делящегося материала с указанием количественных характеристик и изотопного состава. Первой транзакцией стала бы добыча урановой руды, затем новые транзакции могли бы отображать все стадии на пути к получению так называемого желтого порошка (измельчение, выщелачивание, аффинаж) и обогащению урана (перевод в гексафторид, обогащение в газовой центрифуге), или даже фабрикации тепловыделяющих сборок [10]. При этом весь путь должен неизбежно сопровождаться количественными характеристиками материала, как его весом, так и изотопным составом. Далее вне зависимости от вида поставляемого продукта (обогащенный урановый продукт или сфабрикованные тепловыделяющие сборки) страна-получатель материала продолжала бы вносить информацию в ту же открытую общую базу данных, создавая новые транзакции, описывающие дальнейший путь делящегося материала, и формируя новые блоки в цепочку.

Если поставляемый материал будет использоваться для топливного обеспечения реактора, то в качестве операций, описывающих его путь, будут вноситься данные по первоначальной загрузке блока, его перегрузкам, а затем перемещению тепловыделяющих сборок в бассейн выдержки с дальнейшим содержанием в пристанционном хранилище или отправкой на переработку. Для неэнергетических применений делящихся материалов операции будут отражать факт расходования материала или его распад в случае с короткоживущими изотопами.

Благодаря особенностям системы блокчейн доступом к базе данных будут обладать все участники процесса. Они все будут способны вести наблюдение за перемещением материала и иметь доступ к информации. Вместе с тем, будет невозможно подделать и ранее внесенные изменения и цифры.

ОБОБЩЕНИЕ

Блокчейн технология только начинает проникать в различные сферы жизни, но уже можно с уверенностью утверждать, что современные цифровые технологии будут приносить ощутимую выгоду и преимущества в самых различных направлениях, в том числе и в обеспечении безопасности энергетики. Сфера атомной энергетики, включающая в себя оборот чувствительных технологий, вызывает у общественности наибольшее беспокойство с точки зрения надежности и безопасности. В СМИ часто фигурируют сообщения о ядерном и радиационном терроризме, о грязных бомбах и утечках радиоактивности. Такая озабоченность во многом связана с отсутствием уверенности в надежности существующих механизмов по обеспечению безопасности атомной энергетики и контроля над нераспространением ядерных материалов. По мере развития современных цифровых технологий появляются новые способы повышения надежности и безопасности энергетики. Использование технологии блокчейн для

отслеживания жизненного пути делящихся материалов может существенно укрепить существующий режим ядерного нераспространения. По мере совершенствования системы блокчейн и ее апробирования в различных социальных сферах ее преимущества проявляются все сильнее. Вероятно, уже в ближайшем будущем такая технология получит широкое распространение и, возможно, так же будет использоваться и для повышения надежности атомной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. База данных энергетических реакторов [Электронный ресурс] // Международное агентство по атомной энергии. – URL: <https://www.iaea.org/pris> (дата обращения: 21.06.2018).
2. Интервью генерального директора Госкорпорации «Росатом» А.Е. Лихачева [Электронный ресурс] // ИА ТАСС – URL: <http://tass.ru/ekonomika/4876509> (дата обращения: 21.06.2018).
3. Орлов, В. Международные режимы нераспространения ОМУ [Текст] / В. Орлов // Летняя школа Пир-центра: материалы международной конференции. – Москва, 17 июля 2014 г.
4. Хлопков, А. Испытания ядерного оружия. Ядерное нераспространение [Текст] / А. Хлопков. – Москва : Росспэн, 2009. – С. 35-36.
5. Хлопков, А. Военная ядерная программа Ирака. Ядерное нераспространение [Текст] / А. Хлопков. – Москва : Росспэн, 2009. – С. 212-215.
6. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Российской Федерации. – URL: <http://static.government.ru/media/files> (дата обращения: 21.06.2018).
7. Реализация Программы «Цифровая Экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Центр компетенций Госкорпорации «Росатом». – URL: – <http://digitalrosatom.ru/> (дата обращения: 30.07.2018).
8. Блокчейн простыми словами [Электронный ресурс] // Информационный портал Майнинг криптовалюты. – URL: <https://mining-cryptocurrency.ru/blockchain> (дата обращения: 21.06.2018).
9. Реестр недвижимости Грузии переехал на блокчейн [Электронный ресурс] // Цифровой портал Криптономика. – URL: <http://cryptonomica.info/2017/12/21/reestr-nedvizhimosti-gruzii-pereehal-na-blockchain> (дата обращения: 30.07.2018).
10. Низкообогащенный уран [Электронный ресурс] // Информационный портал Атомная энергия. – URL: <http://www.atomic-energy.ru/tema/nizkoobogashchennyi-uran> (дата обращения: 21.06.2018).

REFERENCES

- [1] Baza danny`x e`nergeticheskix reaktorov [Power Reactor Information System] Mezhdunarodnoe agentstvo po atomnoj e`nergii [International Atomic Energy Agency]. Available at: <https://www.iaea.org/pris>
- [2] Interv`yu general`nogo direktora Goskorporacii «Rosatom» A.E. Lixacheva [Interview with A.E. Likhachev, the Head of Rosatom State Nuclear Energy Corporation]. Available at: <http://tass.ru/ekonomika/4876509> (in Russian).
- [3] Orlov V.A. Vistuplenie Mezhdunarodnie regimi nerasprostraneniya oruziya massovogo unichtojeniya [Presentation on «International Regimes of Weapons of Mass Destruction Non-Proliferation», Letniya shkola PIR-Centra. [PIR-Center summer school] (in Russian).
- [4] Khlopkov A.V. Ispy`taniya yadernogo oruzhiya. Yadernoe nerasprostranenie [Nuclear Weapons Test. Nuclear Non-Proliferation]. Moscow. 2009. P. 35-36 (in Russian).
- [5] Khlopkov A.V. Voennaya Yadernaya programma Iraka. Yadernoe nerasprostraneniye [Iraq Military Nuclear Programm. Nuclear Non-Proliferation]. Moscow. 2009. P. 212-215 (in Russian).
- [6] Programma Cifrovaya ekonomika Rossiyskoj Federacii [«Digital Economy of the Russian Federation» Program]. Officialnij sait Pravitelstva Rossiyskoj Federacii [Official Site of Government of the Russian Federation]. Available at: <http://static.government.ru/media/files> (in Russian).
- [7] Realizaciya Programmy` «Cifrovaya E`konomika Rossijskoj Federacii» [Implementation of the «Digital Economy of the Russian Federation» Program] Centr kompetencij Goskorporacii «Rosatom» [Rosatom Centre of Competency]. Available at: <http://digitalrosatom.ru/> (in Russian).
- [8] Blokchein prostimi slovami [Blockchain in Simple Words]. Informacionnii portal Maining kriptovalyuti [Maining Cryptocurrence Digital Portal]. Available at: <https://mining-cryptocurrency.ru/blockchain> (in Russian).

- [9] Reestr Nedvizhimosti Gruzii pereehal na blokchein [Real Estate Registry of Georgia has Moved to Blockchain]. Elektronnyi portal Cryptonomika [Digital portal Cryptonomika]. Available at: <http://cryptonomika.info/2017/12/21/reestr-nedvizhimosti-gruzii-pereehal-na-blockchain> (in Russian).
- [10] Nizkoobogashennyi uran [Low-enriched uranium]. Informacionni portal ob atomnoi energii [Atomic Energy Information portal]. Available at: <http://www.atomic-energy.ru/tema/nizkoobogashchennyi-uran> (in Russian).

Application of Modern Digital Technologies for Atomic Energy Safety Strengthening from the Angle of Nuclear Non-Proliferation Regime

A.V. Goncharuk

*The State Atomic Energy Corporation “Rosatom”, Bolshaya Ordynka, 24, Moscow, Russia 115211
ORCID iD: 0000-0001-9159-4243
WoS Researcher ID: O-63562018
e-mail: del17@yandex.ru*

Abstract – this article studies the concept of safety and reliability of atomic energy from the angle of nuclear weapon non-proliferation regime. The main distinctive features of atomic generation compared with traditional sources of energy are highlighted. Basing on the selected features the current challenges to safety of atomic industry are presented and the main risk factors are introduced. Circulation of dual use items and sensitive technologies has always been raising extraordinary public attention whenever the nuclear energy is mentioned. Current technological progress allows people to elaborate new instruments for tightening of control on the nuclear non-proliferation regime. This paper goes through the main tasks of the Russian program of digital economy and its reflection on the nuclear industry. The features and advantages of blockchain technology application are examined. Basing on this analysis the concept of possible synergetic effect of introduction of blockchain into nuclear industry is discussed. Key features of blockchain might be widely applied in establishing of a control mechanism for tracking fissile material life path. The article brings into discussion the possibility of utilizing of a new digital instrument for tightening of control for movement of dual use items and sensitive technologies and by these means strengthening the nuclear non-proliferation regime.

Keywords: nuclear non-proliferation, IAEA safeguards, fissile material, digital economy, blockchain.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК: 629.039.58

**НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ
И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ
ОБЪЕКТОВ**

© 2018 К.Г. Терехов

АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон», Москва, Россия

Безопасность объектов атомной отрасли невозможно обеспечить без применения систем контроля и управления доступом на радиационно-опасном объекте (СКУД РОО). В статье рассматриваются особенности проектирования и эксплуатации оборудования, входящего в состав РОО: турникеты, радиационные мониторы, средства интеллектуального видеонаблюдения, биометрические сканеры и т.д. Указаны меры противодействия несанкционированным действиям нарушителя на контрольно-пропускных пунктах (КПП), описаны способы обнаружения запрещенных к проносу веществ, электронные удостоверения личности. Приводятся варианты защиты информационных активов от несанкционированного доступа в СКУД. Отмечены перспективы развития СКУД. Минимизация роли персонала охраны при соответствующем развитии функциональных возможностей СКУД позволяет защититься от ошибок или умышленных действий, сократить время контроля параметров доступа, повысить качество контроля при сокращении финансовых затрат, обеспечить эффективное противодействие подготовленному внешнему и внутреннему нарушителю.

Ключевые слова: Глобальная ядерная безопасность, радиационно-опасный объект, атомная отрасль, человеческий фактор, СКУД, КПП, радиоактивные вещества, контрольно-пропускной пункт, классы аппаратуры обнаружения, классификация объектов поиска, досмотровое оборудование.

Поступила в редакцию: 25.07.2018

Вопросы глобальной ядерной безопасности кроме хорошо известных проблем, связанных с экологическим загрязнением окружающей среды в результате радиационных аварий [1], радиационного и радиационно-экологического контроля, осуществляемых как в штатной работе, так и при аварийных ситуациях [2, 3], включают также защиту от угроз, связанных с действиями нарушителя радиационно-опасных объектов (РОО). В атомной отрасли это АЭС, технологические и исследовательские реакторы, заводы по работе с ядерными и радиоактивными материалами, предприятия для получения изотопов, хранилища радиоактивных отходов и т.д. Для локализации угроз РОО, связанных с человеческим фактором (несанкционированный доступ, хищения с целью терроризма и другими случаями) объекты атомной отрасли оснащают специальными техническими средствами – системами контроля и управления доступом (СКУД) [4].

Актуальным вопросом для специалистов, занимающихся изысканием, проектированием, строительством и монтажом СКУД РОО, является определение перспективных направлений развития этих систем. Согласно многолетнему опыту АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» по проектированию, монтажу и эксплуатации СКУД на объектах атомной отрасли они должны удовлетворять следующими тактико-техническими требованиями [5]:

– обеспечивать автоматическое противодействие попыткам

несанкционированного действия (НСД) на контрольно-пропускных пунктах (КПП);

- удостоверять личность проходящих лиц по двум и более признакам, в том числе биометрическим;
- выявлять наличие запрещенных предметов и веществ (ЗПВ) у проходящих лиц, преимущественно в автоматическом режиме;
- обеспечивать защиту аппаратных средств СКУД и информационных активов от НСД на КПП.

Рассмотрим современные технологические методы и средства, позволяющие реализовать вышеуказанные требования.

ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ НСД НА КПП

Под несанкционированными действиями понимается совершение или попытка совершения диверсии, хищения ядерных материалов, ядерных установок, несанкционированного доступа, проноса (провоза) запрещенных предметов, вывода из строя или нарушения функционирования инженерно-технических средств физической защиты [6].

Наиболее вероятными целями (угрозами) нарушителей на охраняемом объекте могут быть:

- 1) хищение радиоактивных, ядерных материалов для возможного дальнейшего их применения, распространения технологий производства РВ в зарубежных странах или с целью шантажа;
- 2) вывод из строя (подрыв) элементов объекта, содержащих радиоактивные вещества (РВ), с целью создания аварийной ситуации на охраняемом объекте;
- 3) захват объекта с целью завладения хранящимися РВ, в том числе и для демонстрации силы террористических (преступных) элементов;
- 4) блокирование или вывод из строя объекта или отдельных его элементов для привлечения внимания общественности к выдвигаемым экстремистскими группами экологическим, экономическим, политическим и иным требованиям с целью усложнения социально-политической обстановки в данном регионе;
- 5) нападение на личный состав караула и боевых постов с целью завладения оружием и захвата отдельных военнослужащих в качестве заложников;
- 6) сбор и хищение информации о назначении объекта, о количестве и номенклатуре хранящихся специзделий, графиках и порядке их транспортировки и т.п.

Автоматизация выявления НСД на КПП и в зонах контроля пропускных устройств (ПУ) СКУД достигается посредством применения шлюзовых конструкций, оснащенных весоизмерительными устройствами, различными датчиками защиты от проникновения, а также интеллектуальными средствами телевизионного наблюдения, которые обеспечивают:

- детектирование перемещения (проброса) запрещенных предметов через зону контроля;
- обнаружение оставленных предметов;
- проверку установленного порядка прохождения зоны контроля.

От данного перечня задач зависит конфигурация КПП, конструкции автоматических пропускных устройств (АПУ), используемых средств досмотра и т.д.

Перспективным также является использование интеллектуальных средств видеонаблюдения для автоматического выявления НСД. В настоящее время возможности видеонализа существенно возросли, чему во многом способствует переход на цифровые видеокамеры высокой четкости. Перспективные средства видеонаблюдения и оценки ситуации способны в автоматическом режиме не только

детектировать движение в указанных областях кадра, обнаруживать оставленные предметы, осуществлять многокамерное сопровождение объекта, измерять статические и динамические биометрические признаки контролируемых лиц, но также определять эмоциональное состояние людей.

Применение интеллектуальных средств видеонаблюдения совместно с быстродействующими управляемыми преградами позволит существенно увеличить пропускную способность КПП за счет отказа от ручного досмотра с применением часового.

Таким образом, существенная минимизация роли персонала охраны при соответствующем развитии функциональных возможностей СКУД позволяет защититься от ошибок или умышленных действий, сократить время контроля параметров доступа, повысить качество контроля при сокращении финансовых затрат, обеспечить эффективное противодействие подготовленному внешнему и внутреннему нарушителю.

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАПРЕЩЕННЫХ К ПРОНОСУ ПРЕДМЕТОВ И ВЕЩЕСТВ (ЗПВ)

Проблема автоматизации процедур досмотра проходящих лиц на предмет выявления ЗПВ в настоящее время является наиболее трудноразрешимой. Можно констатировать, что с определенным качеством может решаться задача обнаружения ядерных материалов, радиоактивных веществ, металлосодержащих предметов. Вместе с тем перечень запрещенных веществ достаточно обширен и включает в себя взрывчатые, наркотические, отравляющие, психотропные и тому подобные вещества. В этой связи интересным техническим решением, направленным на автоматизацию обнаружения ЗПВ, является совмещение аппаратуры обнаружения со средствами биометрического контроля. Например, возможно рассматривать совместное функционирование газоаналитического оборудования для обнаружения следов взрывчатых, наркотических и психотропных веществ на руках контролируемых лиц с биометрическими сканерами отпечатка пальца или геометрии кисти руки.

В настоящий момент развитие металлообнаружителей идет по пути увеличения точности локализации предметов поиска в пространстве портала [7], улучшения селективности по признакам, позволяющим отличить предмет поиска от предмета личного пользования, а также улучшения показателей помехоустойчивости, надежности, чувствительности. В то же время не прекращается поиск путей автоматизации процедур выявления металлических предметов и их идентификации, что позволит снизить роль человеческого фактора и существенно сократить время досмотра.

Визуализацию скрытых предметов можно осуществить с помощью радиовидения. В этой связи актуальным является повышение интеллектуальности алгоритмов обработки изображений, полученных в различных диапазонах длин волн (сантиметровом, миллиметровом, терагерцевом и др.).

В области обнаружения РВ становится все более очевидно, что простого детектирования недостаточно, например, согласно [8] требуется обнаружение количества РВ, превышающего значение минимально значимой активности, которая для разных нуклидов существенно различается. Кроме того, опыт эксплуатации оборудования обнаружения РВ показывает, что срабатывание детекторов приводит к длительной процедуре поиска и выявления причин, поэтому перспективным на сегодня направлением является замена радиационных мониторов, определяющих лишь факт превышения над фоновым уровнем, соответствующей спектрометрической аппаратурой, способной обнаруживать, идентифицировать и локализовать в

пространстве РВ.

Отметим, что в задачу обнаружения ЗПВ входит также пресечение выноса конфиденциальных документов и материальных ценностей с территории предприятия.

Перспективным решением, уже используемым в некоторых СКУД, является нанесение на документы и материальные ценности RFID-идентификаторов (подобных тем, что используются в торговле и логистике). Активный радиочастотный идентификатор, представляющий собой наклейку, позволит отслеживать местонахождение предметов и документов в реальном времени.

УДОСТОВЕРЕНИЕ ЛИЧНОСТИ [9]

В связи с запланированным массовым введением электронных удостоверений личности перспективным является использование информации с указанных носителей для ее внесения в базу данных СКУД в автоматическом режиме. Это, в свою очередь, улучшит качество и ускорит процедуру регистрации абонентов и изготовления пропускных документов.

В настоящее время в СКУД критически важных объектов активно используются устройства биометрической верификации. Однако практика показывает, что любую самую совершенную биометрическую систему может дискредитировать достаточно большое значение вероятности ложного задержания. Особенно это проявляется при массовом проходе. В основном ошибка считывания биометрических параметров объясняется внутрииндивидуальной вариабельностью измеряемых признаков, которая может быть учтена при использовании соответствующих адаптивных решающих правил.

Вместе с тем для достижения требуемых значений вероятностей ошибок первого и второго рода необходимо иметь механизмы расчета и управления порогами обнаружения и режимами биометрического контроля, что достигается посредством статистического анализа считываемых биометрических данных.

С точки зрения психологии пользователей и увеличения пропускной способности СКУД предпочтительно использовать бесконтактные биометрические технологии контроля, например по радужной оболочке глаза, по рисунку вен на руках, по 3D-геометрии лица и др.

Также является перспективным использование активных RFID-пропусков для бесконтактной идентификации. Особенно преимущество этой технологии проявляется в аварийных ситуациях в условиях свободного прохода, когда сохраняется возможность зарегистрировать всех лиц, покинувших охраняемую зону.

Важнейший фактор минимизации рисков безопасности и нарушения приватности, связанных с биометрическими системами, – защита биометрических шаблонов, хранящихся в базе данных системы. Эта проблема становится все более актуальной в связи с широким использованием биометрической идентификации в повседневной жизни, что ведет к появлению слабозащищенных баз данных с биометрическими шаблонами.

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИОННЫХ АКТИВОВ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЙ (НСД) В СКУД

С целью защиты информационных активов от хищения и несанкционированного изменения в СКУД могут использоваться, например:

- разделение защищаемой информации по нескольким центрам принятия решения;
- ресурсное резервирование оборудования СКУД;
- защита локальных центров принятия решения от несанкционированного

доступа с помощью самого оборудования СКУД с обеспечением возможности его автономной работы;

– проведение аналитической работы в автоматическом режиме с целью выявления отклонений в технических характеристиках оборудования, информационных атак на активы и других незначительных отклонений от штатного функционирования, которые могут свидетельствовать о нарушениях или подготовительных мероприятиях к ним.

Классические методики защиты информации предполагают необходимость наличия в составе программного обеспечения сертифицированных функций обеспечения безопасности информации, а также применение сертифицированного базового программного обеспечения.

Подводя итог вышесказанному, направления совершенствования СКУД РОО [10] нацелены на получение следующих результатов:

- 1) повышение степени автоматизации процессов контроля и управления доступом с целью сокращения эксплуатационных затрат;
- 2) обеспечение надежности и безотказности оборудования СКУД, достигаемое за счет применения бесконтактных технологий и новых материалов;
- 3) внедрение в состав СКУД современных биометрических технологий и автоматических средств досмотра проходящих лиц;
- 4) развитие и совершенствование программного обеспечения СКУД, направленные как на решение задачи построения адаптивных (интеллектуальных) СКУД, так и на обеспечение защиты информационных активов системы [11].
- 5) Комплексирование технологического оборудования (шлюз и радиационный монитор или шлюз и металлообнаружитель с радиационным монитором).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елохин, А.П. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.П. Елохин. – Москва : МИФИ, 2012. – 316 с.
2. Елохин, А.П. Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды: Монография [Текст] / А.П. Елохин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Нац. исслед. ядерный ун-т «МИФИ». – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 519 с.
3. Елохин, А.П. Основы экологии и радиационно-экологического контроля окружающей среды: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.П. Елохин, А.И. Ксенофонтов, И.В. Пырков. – Москва : Изд-во «Гривант», 2016. – 680 с.
4. ГОСТ Р 51241-2008 «Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний».
5. Попов, М.Н. Основные направления развития систем контроля и управления доступом в ФГУП «СНПО «Элерон» [Текст] / Попов М.Н., Горбачевич Н. – Каталог «СКУД. Антитерроризм», 2013. – С.42-43.
6. Постановление Правительства РФ от 19.07.2007 N 456 (ред. от 18.05.2017) «Об утверждении Правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов».
7. Терехов, К.Г. Особенности выбора современных металлообнаружителей для особоопасных объектов [Текст] / К.Г. Терехов // Международная молодежная научная конференция «Полярное сияние 2009». Ядерное будущее: технологии, безопасность и экология: сборник тезисов докладов. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2009. – С.132-133.
8. Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99). СП 2.6.1.28-2000. Москва 2000.
9. Портной, Е.О. некоторых особенностях систем контроля и управления доступом [Текст] / Е. Портной // Директор по безопасности. – 2011. – № 10.
10. Иванов, П.Д. Анализ состояния и перспективы развития систем контроля и управления доступом в России [Текст] / П.Д. Иванов, И.Д. Суверина // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2014. – Вып. 10.

11. Терехов, К.Г. Системный подход к оснащению КПП СФЗ средствами автоматического контроля объектов поиска [Текст] / К.Г. Терехов, С.И. Журин // Спецтехника и связь № 5-6. – 2012. – С.19-23.

REFERENCES

- [1] Elokhin A.P. Avtomatizirovanny'e sistemy` kontrolya radiacionnoj obstanovki okruzhayushhej sredy`: ucheb. posobie dlya vuzov [Automated Systems for Monitoring the Radiation Environment of the Environment]. Nacional'ny'j issledovatel'skij yadernyj universitet «MIFI» [Textbook for High Schools. National Research Nuclear University "MEPI"]. Moscow. MEPI, 2012. 316 p. (in Russian).
- [2] Elokhin A.P. Metody` i sredstva sistem radiacionnogo kontrolya okruzhayushhej sredy`: Monografiya [Methods and Means of Radiation Monitoring Systems of the Environment]. The Monograph, 2014. 520 p. (in Russian).
- [3] Elokhin A.P., Ksenofontov A.I., Pyrkov I.V. Osnovy` e`kologii i radiacionno-e`kologicheskogo kontrolya okruzhayushhej sredy`: ucheb. posobie dlya vuzov [Bases of Ecology and Radiation-Environmental Control of the Environment]. Textbook for High Schools. Moscow. Publishing House «Tvant». 2016. 680 p. (in Russian).
- [4] GOST R 51241-2008 «Sredstva i sistemy` kontrolya i upravleniya dostupom. Klassifikatsiya. Obshhie texnicheskie trebovaniya. Metody` ispy`taniy» [GOST R 51241-2008 «Means and Systems of Access Control and Management. Classification. General Technical Requirements. Methods of Testing»] (in Russian).
- [5] Popov M.N., Gorbatshevich N. Osnovny`e napravleniya razvitiya sistem kontrolya i upravleniya dostupom v FGUP «SNPO «E`leron» [The Main Directions of the Development of Access Control Systems in FCS&HT "SNPO" Eleron». Katalog «SKUD. Antiterrorizm» [Catalog «Anti-terrorism»]. 2013. P. 42-43 (in Russian).
- [6] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19.07.2007 N 456 (red. ot 18.05.2017) [Decree of the Government of the Russian Federation No. 456 of 19.07.2007]. Ob utverzhdenii Pravil fizicheskoy zashchity` yadernyx materialov, yadernyx ustanovok i punktov xraneniya yadernyx materialov [Approval of the Rules for the Physical Protection of Nuclear Materials, Nuclear Installations and Nuclear Storage Facilities] (in Russian).
- [7] Terekhov K.G. Osobennosti vy`bora sovremenny`x metalloobnaruzhitelej dlya osoboopasny`x ob`ektov [Features of Choice of Modern Metal Detectors for Dangerous Objects]. Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya «Polyarnoe siyanie 2009». Yadernoe budushhee: tekhnologii, bezopasnost` i e`kologiya: sbornik tezisov dokladov [International Youth Scientific Conference «Polar Lights 2009». Nuclear Future: Technology, Safety and Ecology: a Collection Of Abstracts]. Moskva, NIYaU MIFI [Moscow NNIU MEPhI]. 2009. P. 132-133 (in Russian).
- [8] Pravila radiacionnoj bezopasnosti pri e`kspluatatsii atomny`x stancij (PRB AS-99). SP 2.6.1.28-2000. Moskva 2000 [Rules for Radiation Safety in the Operation of Nuclear Power Plants (PWB-99). SP 2.6.1.28-2000. Moscow 2000] (in Russian).
- [9] Portnoy E. O nekotory`x osobennostyax sistem kontrolya i upravleniya dostupom [Some Features of Access Control Systems]. Direktor po bezopasnosti [Director of Security]. 2011. № 10 (in Russian).
- [10] Ivanov P.D., Suverina I.D. Analiz sostoyaniya i perspektivy` razvitiya sistem kontrolya i upravleniya dostupom v Rossii [Analysis of the State and Prospects of Development of Access Control Systems in Russia]. Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovatsii [Engineering Journal: Science and Innovations]. 2014. № 10 (in Russian).
- [11] Terekhov K.G., Zhurin S.I. Sistemny`j podxod k osnashheniyu KPP SFZ sredstvami avtomaticheskogo kontrolya ob`ektov poiska [A systematic Approach to Equipping the Check Point of the SFZ with Automatic Monitoring of Search Objects]. Specztekhnika i svyaz` [Special Equipment and Communication]. 2012. № 5-6. P. 19-23 (in Russian).

Directions of Access Control Systems Improving for Radiation Hazardous Facilities

K.G. Terehov

JSC FCS&HT "SNPO "Eleron", 14, Gen. Belova str., Moscow, 115563, Russia

ORCID iD: 0000-0002-5161-6337

WoS Researcher ID: O-3704-2018

e-mail: gunper@mail.ru

Abstract – The safety of nuclear facilities is not possible without the use of access control systems at a radiation hazardous facility (ACS ROO). The article deals with the design and operation of equipment included in the ROO: turnstiles, radiation monitors, intelligent video surveillance, biometric scanners, etc. Measures to counter unauthorized actions of the offender at checkpoints are described, methods for detecting substances banned to penetration, electronic identity cards are described. The article provides options for protecting information assets from unauthorized access to the ACS. Prospects for the development of the ACS have been noted. Minimizing the role of security personnel with the corresponding development of the ACS functionality allows us to protect ourselves from mistakes or deliberate actions, reduce the time for monitoring access parameters, improve the quality of control while reducing financial costs, and provide effective counteraction to the prepared external and internal violator.

Keywords: Global nuclear safety, radiation hazardous facility, nuclear industry, human factor, access control system, checkpoint, radioactive substances, detection equipment classes, classification of search objects, inspection equipment.

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

УДК 621.791.75.053

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНОГО
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ
МАГНИТНОГО МЕТАЛЛА**

© 2018 Гу Ц., Рыбачук А.М., Козырев М.Е.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В статье выполнены экспериментальные измерения индукции магнитных полей в зоне дуговой сварки низкоуглеродистой стали толщиной 10 мм. Для учёта искажения магнитных полей магнитным материалом был выполнен расчёт немагнитной зоны, ограниченной изотермой Кюри. Измерения магнитных полей было выполнено без сварки, цифровым гауссметром GM2. В результате были получены данные о деформации четырёхполюсного магнитного поля в направлении сварки и по толщине изделия. Определено, что смещение оси магнитного поля и нарушение симметрии магнитных полей четырехполюсной магнитной системы происходит в направлении сварки.

Ключевые слова: дуговая сварка, четырёхполюсная магнитная система, ферромагнитный металл, смещение магнитного поля.

Поступила в редакцию: 25.05.2018

Дуговая сварка находит наиболее широкое использование в сварочных технологиях. Качественное формирование шва всегда являлась одной из основных проблем при автоматической дуговой сварке. Для управления качеством металла сварного шва при сварке и пайке с использованием дуги перспективно использование магнитных полей, взаимодействующих с дугой или с жидким металлом сварочной ванны [1-3]. Использование магнитных полей позволяет бесконтактно и оперативно управлять качеством сварочных процессов. Поэтому постоянно проводятся исследования возможностей эффективного использования магнитных полей при дуговой сварке и наплавке [4-8].

При дуговой сварке широко применяются внешние магнитные поля, взаимодействующие со сварочным током в жидком металле сварочной ванны, для управления качеством металла и формы шва. В результате использования внешних магнитных полей различного направления можно изменять положение, форму, характер горения дуги, изменять металлургические и геометрические параметры сварного шва и много другое.

Наиболее простым способом регулирования массовых сил в сварочной ванне является создание массовых электромагнитных сил в жидком металле путем введения в сварочную ванну поперечного магнитного поля. Через жидкий металл сварочной ванны проходит растекающийся по свариваемому изделию сварочный ток. При вводе в сварочную ванну поперечного магнитного поля, пронизывающего жидкий металл, взаимодействие сварочного тока с магнитным полем создает в жидком металле массовые электромагнитные силы, направленные вверх или вниз в зависимости от взаимного направления магнитного поля и сварочного тока.

Для создания поперечного магнитного поля в области сварочной ванны и

сохранения устойчивого горения дуги используется квадрупольное магнитное поле. Квадрупольное магнитное поле используется не только для формирования шва, но и для деформирования дуги, изменяя её технологические свойства [9-13].

В работе выполнены экспериментальные измерения индукции магнитных полей в зоне дуговой сварки низкоуглеродистой стали толщиной 10 мм.

Для учёта искажения магнитных полей магнитным материалом был выполнен расчёт немагнитной зоны, ограниченной изотермой Кюри. В расчёте были использованы параметры режима автоматической сварки под флюсом пластины с полным проплавлением. Расчёты проведены по модели подвижного точечного источника в полубесконечном теле, используя выражение [14]:

$$T(R, x) = \frac{q}{2\pi\lambda R} \exp\left(-\frac{v}{2a}(R + x)\right),$$

где T – температура;

$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ – длина радиус-вектора рассматриваемой точки полубесконечного тела в подвижной системе координат;

x – абсцисса точки в подвижной системе координат;

q – эффективная тепловая мощность дуги, Вт;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м. град);

v – скорость сварки, м/с;

a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Так как при сварке пластины определить распределение магнитного поля в зоне сварки невозможно, по данным расчёта была вырезана в пластине немагнитная зона (изотерма Кюри) (рис. 1).

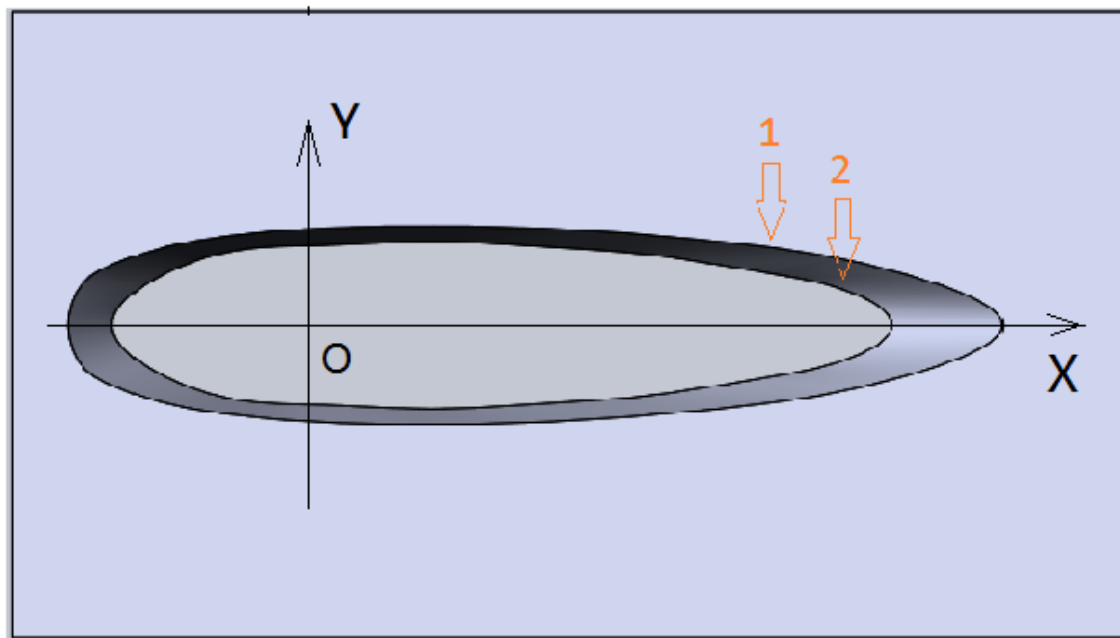


Рисунок 1 – Пластина с немагнитной зоной: 1 – изотерма Кюри на верхней поверхности, 2 – изотерма Кюри на нижней поверхности [Nonmagnetic zone plate : 1 - Curie isotherm on the upper surface, 2 - Curie isotherm on the lower surface]

Измерения проводили цифровым гауссметром GM2, оснащённым поперечным ST щупом с размерами 66х3,6х0,8 мм с установленным на конце датчиком Холла размерами 0,2х0,2 мм [15]. Датчик Холла перемещали вдоль оси OX с помощью суппортов с погрешностью $\pm 0,05$ мм. Погрешность измерения индукции магнитного поля гауссметром GM2 составляла не более 1%.

В результате были получены данные о деформации четырёхполюсного магнитного поля в направлении сварки и по толщине изделия. На рисунках 2 и 3 показаны значения индукции магнитных полей при разных токах в катушках магнитной системы и разных расстояниях от полюсов.

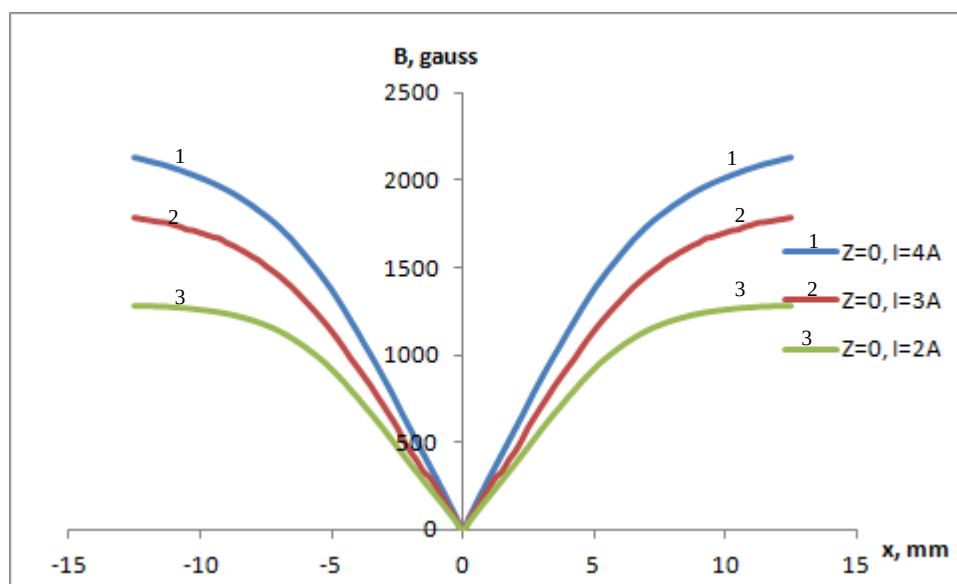


Рисунок 2 – Распределение магнитного поля при разных токах без пластины [The distribution of the magnetic field at different currents without a plate]

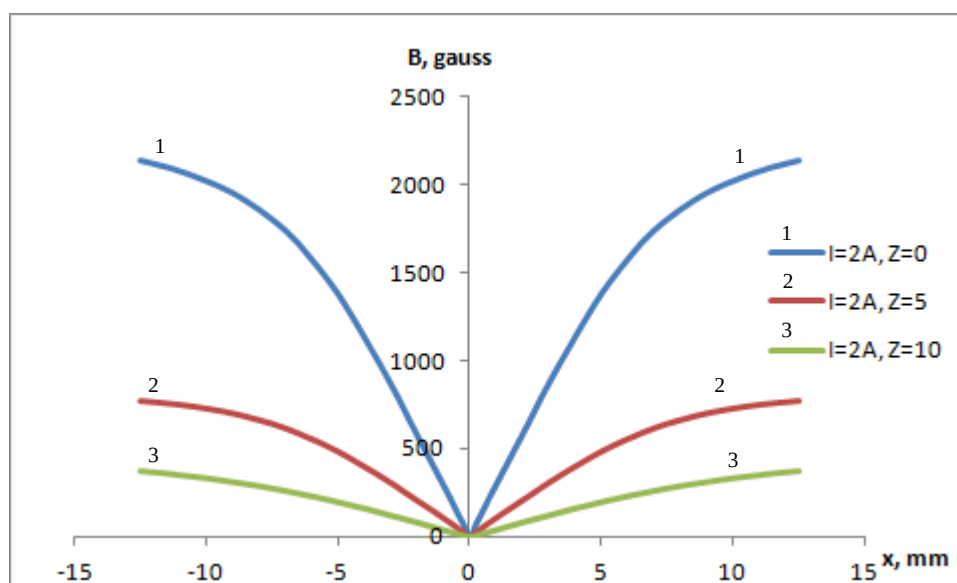


Рисунок 3 – Распределение магнитного поля при разных расстояниях от полюсов без пластины [The distribution of the magnetic field at different distances from the poles without a plate]

В процессе сварки ферромагнитных деталей, при одной и той же величине тока магнитное поле в области сварочной ванны уменьшается. Кроме этого происходит уменьшение вводимого магнитного поля по толщине свариваемого изделия. Определено, что смещение оси магнитного поля и нарушение симметрии магнитных полей четырехполюсной магнитной системы происходит в направлении сварки (рис. 4 и 5).

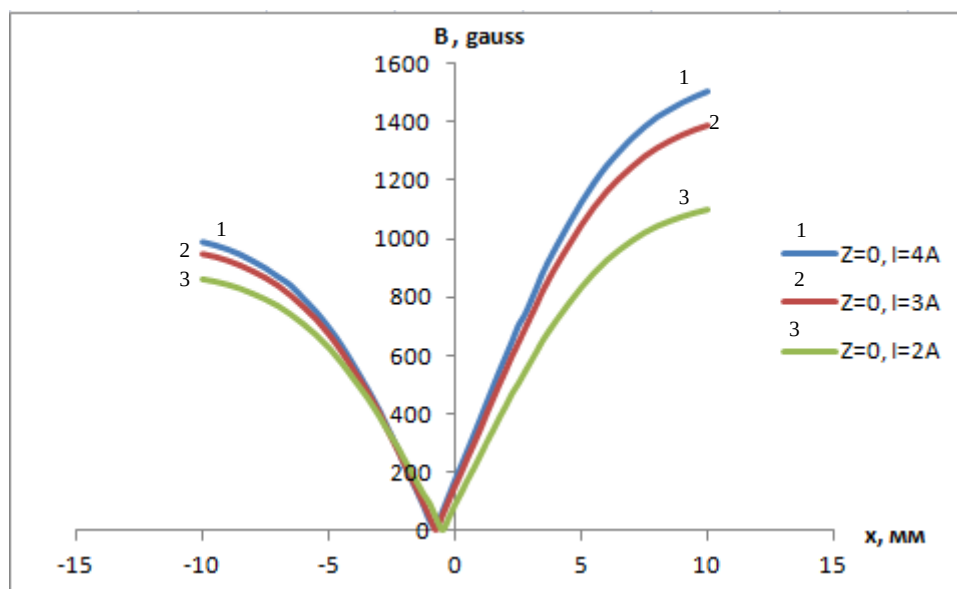


Рисунок 4 – Распределение магнитного поля при разных токах в изделии [The distribution of the magnetic field at different currents in the product]

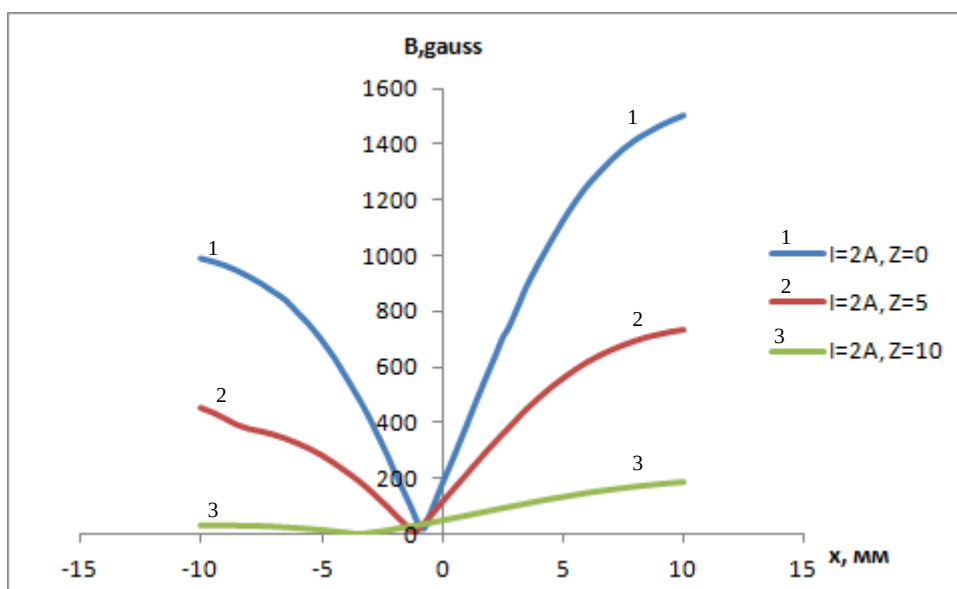


Рисунок 5 – Распределение магнитного поля по толщине свариваемого изделия [Distribution of the magnetic field along the thickness of the welded part]

Из-за наличия несимметричной относительно оси электрода вдоль линии сварки немагнитной зоны ось магнитного поля смещается в направлении сварки (рис. 6). На рисунке 7 показана зависимость величины смещения от тока в катушках магнитной

системы и расстояния от поверхности изделия. При увеличении тока в катушках смещение оси магнитного поля увеличивается. Но когда тока более 3А, смещение почти не меняется. И по толщине изделия смещение оси магнитного поля увеличивается.

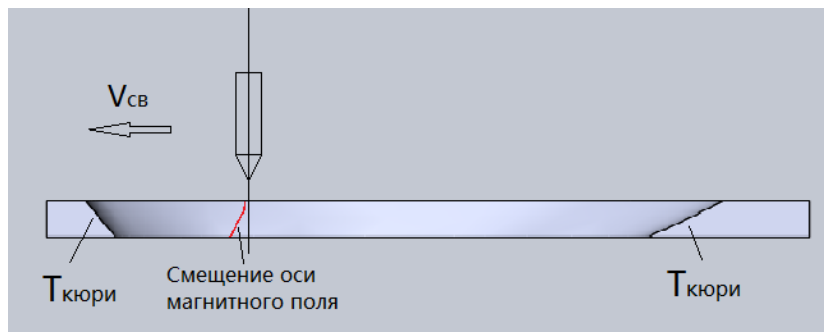


Рисунок 6 – Смещение оси магнитного поля при дуговой сварке магнитных металлов [Displacement of the axis of the magnetic field during arc welding of magnetic metals]

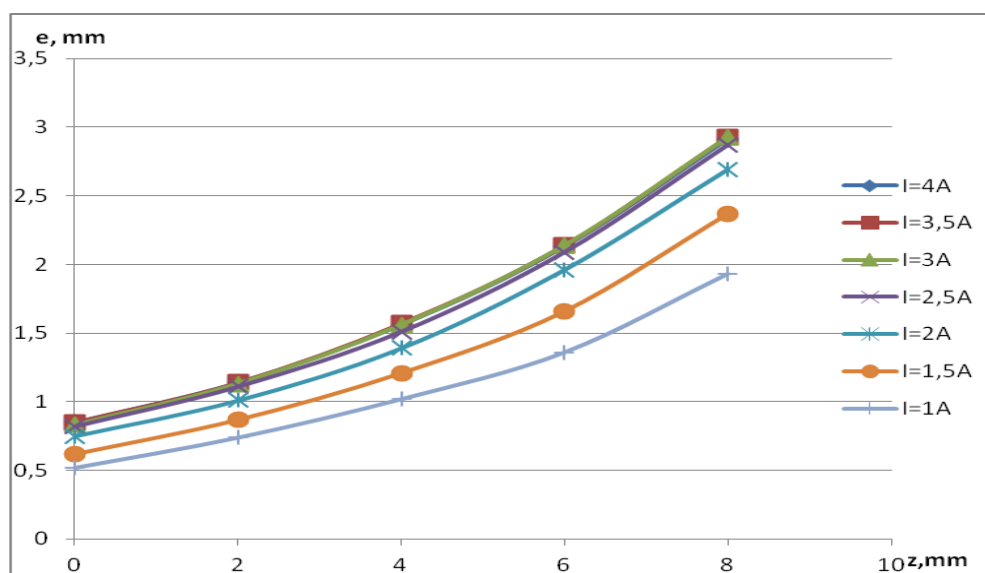


Рисунок 7 – Смещение оси магнитного поля при разных токах в катушках магнитной системы и по толщине изделия [The axis displacement of the magnetic field at different currents in the magnetic system coils and along the product thickness]

ВЫВОДЫ

- 1) Наличие ферромагнитного свариваемого металла уменьшает магнитное поле в сварочной ванне. Магнитное поле уменьшается по толщине свариваемого изделия.
- 2) Ось четырёхполюсного магнитного поля смещается в направлении сварки.
- 3) Величина смещения оси магнитного поля зависит от тока в катушках магнитной системы и расстояния от поверхности изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжов, Р.М. Влияние импульсных электромагнитных воздействий на процессы формирования и кристаллизации швов [Текст] / Р.М. Рыжов // Автоматическая сварка. – 2007. – №2. – С. 56-58.

2. Завьялов, В.Е. Использование продольного магнитного поля при наплавке под флюсом [Текст] / В.Е. Завьялов, Я.П. Звороно, А.Б. Петраков // Сварочное производство. – 1990. – №2. – С. 3-6.
3. Акулов, А.И. Удержание жидкого металла сварочной ванны поперечным магнитным полем [Текст] / А.И. Акулов, А.М. Рыбачук // Сварочное производство. – 1972. – №2. – С. 3-4.
4. Акулов, А.И. Особенности формирования шва при сварке в поперечном магнитном поле [Текст] / А.И. Акулов, А.М. Рыбачук, Г.Г. Чернышов // Сварочное производство. – 1979. – №7. – С. 11-14.
5. Коновалов, А.В. Теория сварочных процессов [Текст] / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; под ред. В.М. Неровного. – Москва : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007. – 752 с.
6. Куркин, А.С. Обоснование исключения послесварочной термической обработки кольцевых стыков магистральных газопроводов с толщиной стенки свыше 30 мм из стали к65 [Текст] / А.С. Куркин, С.А. Королев, П.А. Пономарев // Наука и образование. – 2013. – № 5. – С. 61-74.
7. Райчук, Ю.И. Распределение тока по пластине при дуговой сварке [Текст] / Ю.И. Райчук // Автоматическая сварка. – 1967. – № 4. – С. 19-22.
8. Рыбачук, А.М. Распределение сварочного тока в изделии и ванне при дуговой сварке [Текст] / А.М. Рыбачук, Г.Г. Чернышов // Сварка и диагностика. – 2011. – № 6. – С. 16-20.
9. Рыбачук, А.М. Деформация дуги в квадрупольном магнитном поле [Текст] / А.М. Рыбачук, Ц. Гу, Н.В. Крысько // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 8-1. – С. 73-78.
10. Крысько, Н.В. Область, чувствительная к внешним магнитным полям при сварке в CO₂ [Текст] / Н.В. Крысько, А.М. Рыбачук // Сварка и диагностика. – 2013. – № 5. – С. 36-40.
11. Крысько, Н.В. Особенности области, чувствительной к внешним магнитным полям при сварке в аргоне и смесях [Текст] / Н.В. Крысько, А.М. Рыбачук // Сварка и диагностика. – 2014. – № 5. – С. 54-56.
12. Гу, Ц. Электрическое поле в изделии при дуговой сварке нормально-эллиптическим источником [Текст] / Ц. Гу, А.М. Рыбачук // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 77-83.
13. Гу, Ц. Анализ магнитного поля квадрупольной магнитной системы численным моделированием [Текст] / Ц. Гу, Н.В. Крысько, А.М. Рыбачук // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 11 (ч. 1). – С. 74-79.
14. Рыкалин, Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке [Текст] / Н.Н. Рыкалин. – Москва : МАШГИЗ, 1951. – 296 с.
15. Гу, Ц. Деформация магнитного поля при дуговой сварке магнитных металлов [Текст] / Ц. Гу, А.М. Рыбачук // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4. – С. 70-77.

REFERENCES

- [1] Ryzhov R.M. Vliyanie impulsnykh elektromagnitnykh vozdeystviy na protsessy formirovaniya i kristallizatsii shvov [Effect of Pulsed Electromagnetic Effects on the Formation and Crystallization of Seam]. Avtomaticheskaya svarka [Automatic welding]. 2007. № 2. P. 56-58 (in Russian).
- [2] Zavyalov V.Ye., Zvorono Ya.P., Petrakov A.B. Ispolzovaniye prodolnogo magnitnogo polya pri naplavke pod flyusom [Using the Longitudinal Magnetic Field in Submerged Surfacing]. Svarochnoe proizvodstvo [Welding Fabrication]. 1990. № 2. P. 3-6 (in Russian).
- [3] Akulov A.I., Rybachuk A.M. Uderzhaniye zhidkogo metalla svarочноy vannы poperechnym magnitnym polem [Maintaining a Liquid Metal of Weld Pool by a Transverse Magnetic Field]. Svarochnoe proizvodstvo [Welding Fabrication]. 1972. № 2. P. 3-4 (in Russian).
- [4] Akulov A.I., Rybachuk A.M., Chernyshov G.G. Osobennosti formirovaniya shva pri svarke v poperechnom magnitnom pole [Features of Formation of the Welding Seam in Transverse Magnetic Field]. Svarochnoe proizvodstvo [Welding Fabrication]. 1979. №7. P. 11-14 (in Russian).
- [5] Konovalov A.V., Kurkin A.S., Makarov E.L., Neronny V.M., Yakushin B.F. Teoriya svarochnykh protsessov [Theory of Welding Processes]. M. Pub. "Izdatelstvo MGTU im. N.E. Bauman" [Bauman Moscow State Technical University Publishing House]. 2007. 752 p. (in Russian).
- [6] Kurkin A.S., Korolev A.S., Ponomarev P.A. Obosnovaniye isklucheniya poslesvarochnoy termicheskoy obrabotki kol'tsevykh stykov magistral'nykh gazoprovodov s tolshchinoy stenki svyshe 30 mm iz stali k65 [Justification of Elimination of Post-Weld Heat Treatment of Welded Circular Butts in Gas Pipelines Made of X80 Steel with Wall Thickness over 30 mm]. Nauka i obrazovaniye [Science and education]. 2013. № 5. P. 61-74 (in Russian).

- [7] Raychuk YU.I. Raspredeleniye toka po plastine pri dugovoy svarke [Current Distribution over the Plate During Arc Welding]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automatic Welding]. 1967. №4. P. 19-22 (in Russian).
- [8] Rybachuk A.M., Chernyshov G.G. Raspredeleniye svarochnogo toka v izdelii i vanne pri dugovoy svarke [Welding Current Distribution in the Product and Tub during Arc Welding]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2011. № 6. P. 16-20 (in Russian).
- [9] Rybachuk A.M., Gu J., Krysko N.V. Deformatsiya dugi v kvadropolnom magnitnom pole [The Deformation of Arc in the Quadrupole Magnetic Field]. *Aktualnyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk* [Actual Problems of Humanities and Natural Sciences]. 2015. № 8-1. P. 73-78 (in Russian).
- [10] Krysko N.V., Rybachuk A.M. Oblast, chuvstvitelnaya k vneshnim magnitnym polyam pri svarke v CO₂ [Sensitive Area to External Magnetic Fields when Welding in CO₂]. *Svarka i diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2013. № 5. P. 36-40 (in Russian).
- [11] Krysko N.V., Rybachuk A.M. Osobennosti oblasti, chuvstvitelnoy k vneshnim magnitnym polyam pri svarke v argone i smesyakh [Features of Region Sensitive to External Magnetic Fields during Welding in Argon and Mixtures]. *Svarka i diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2014. № 5. P. 54-56 (in Russian).
- [12] Gu J., Rybachuk A.M. Elektricheskoye pole v izdelii pri dugovoy svarke normalno-ellipticheskim istochnikom [The Electric Field in the Work-Piece in Arc Welding by Elliptical Source]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety]. 2015. № 4. P. 77-83 (in Russian).
- [13] Gu J., Krysko N.V., Rybachuk A.M. Analiz magnitnogo polya kvadropolnoy magnitnoy sistemy chislennym modelirovaniyem [Analysis of Magnetic Field of Quadrupole Magnetic System by Numerical Modeling]. *Aktualnyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk* [Actual Problems of Humanities and Natural Sciences]. 2016. № 11 (I). P. 74-79 (in Russian).
- [14] Rykalin N.N. Raschety teplovykh protsessov pri svarke [Calculations of Thermal Processes during Welding]. Moscow. MASHGIZ. 1951. 296 p. (in Russian).
- [15] Gu J., Rybachuk A.M. Deformatsiya magnitnogo polya pri dugovoy svarke magnitnykh metallov [External Magnetic Field Deformation in Arc Welding of Magnetic Metals]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global Nuclear Safety]. 2017. № 4. P. 70-77 (in Russian).

Investigation of Four-pole Magnetic Field Deformation during Magnetic Metal Arc Welding

Jieren Gu¹, A.M. Rybachuk², M.E. Kozyrev³

Bauman Moscow State Technical University, Build 1, Vtoraja Baumanskaya St., 5, Moscow, Russia 105005

¹ORCID iD: 0000-0001-6287-1379

WoS Researcher ID: S-4188-2017

e-mail: gujieren12345@163.com

²ORCID iD: 0000-0002-9078-2653

WoS Researcher ID: O-6229-2017

e-mail: amrybachuk@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0003-2508-4215

WoS Researcher ID: J-9653-2018

e-mail: mikhail1000@mail.ru

Abstract – The article performs experimental measurements of the induction of magnetic fields in the arc welding zone of 10 mm thick low-carbon steel. Calculation nonmagnetic zone bounded Curie isotherm is performed to account the magnetic field distortion of the magnetic material. Measurements of magnetic fields were performed without welding, with a digital gaussometer GM2. As a result, data of deformation of a four-pole magnetic field in the direction of welding and in the thickness of the part are obtained. It is determined that the displacement of the axis of the magnetic field and the violation of the magnetic field symmetry of the four-pole magnetic system takes place in the direction of welding.

Keywords: arc welding, four-pole magnetic system, ferromagnetic metal, displacement of magnetic field.

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

УДК 528.48

**О ВОЗМОЖНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК
БЛОКОВ РЕАКТОРНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ АЭС**

© 2018 Ю.И. Пимшин, Ю.В. Заяров, Ю.С. Забазнов

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета (МИФИ), Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе рассмотрено теоретическое решение оценки технического состояния защитной герметичной оболочки. Предложено решение штатной системы, предназначенной для определения и оценки напряженно деформированного состояния защитных герметичных оболочек в период приёма-сдачи и эксплуатации.

Ключевые слова: защитная герметичная оболочка, техническое состояние, преднапряжение, испытание, контроль, мобильная геодезическая диагностическая система, оценка напряженно деформированного состояния.

Поступила в редакцию: 27.06.2018

Предлагаемый способ оценки эксплуатационной надежности двухслойной защитной герметичной оболочки 1, 2 реакторного отделения АЭС (рис. 1) заключается в маркировании по заданным сечениям защитной герметичной оболочки 1, 2 контролируемых точек 3 и выполнении поцикловых определений их положения [1-3]. При этом контролируемые точки 3 привязывают к геодезическим планово-высотным пунктам. Планово-высотное геодезическое обоснование формируют многоярусным, как вне преднапрягаемой части 2 оболочки, так и внутри ее в единой системе координат (для внешнего и внутреннего измерительных каналов), причем, данная система координат совмещается с системой координат защитной герметичной оболочки 1, 2. Исследуемые точки 3 размещают в деформационных зонах элементов преднапрягаемой части 2 оболочки на ее внешней и внутренней поверхностях [4-10].

Контроль геометрических параметров выполняют поэтапно, при этом геодезическое обоснование создается с привязкой к осям или образующим капитальных строительных конструкций защитной герметичной оболочки 1, 2 или конструктивных элементов технологического оборудования установленного в гермообъеме. В процессе контроля внутренние и (или) внешние геометрические параметры преднапрягаемой части 2 защитной герметичной оболочки определяют расстояние между контрольно-измерительными 5 устройствами и контролируемыми точками 3 во внешнем измерительном канале, и электронным тахеометром (например, SOKKIA NET05AXII, на рисунке не обозначен) и контрольными точками 3 во внутреннем измерительном канале на этапах после полного возведения герметичной защитной оболочки 1, 2, после выполнения полной программы напряжения преднапрягаемой части 2 оболочки, при испытании преднапрягаемой части 2 на этапе создания максимального внутреннего давления и в последствии при эксплуатации в период каждого планового предупредительного ремонта (A_0 , $A_{\text{преднапряж}}$, $A_{\text{испытан}}$, $A_{\text{экспл}(i)}$).

По полученным поэтапным результатам определяют величины перемещений

контролируемых точек 3,

$$\begin{aligned}\delta_{обж} &= A_{обж} - A_0, \\ \delta_{испыт} &= A_{обж} - A_{испытан}, \\ \delta_{экспл(1)} &= A_{экспл(1)} - A_{обж}, \\ \delta_{экспл(2)} &= A_{экспл(2)} - A_{экспл(1)}, \\ \delta_{экспл(i+1)} &= A_{экспл(i+1)} - A_{экспл(i)},\end{aligned}$$

где A_0 , $A_{обж}$, $A_{испытан}$ – измеряемые параметры исследуемых точек 3 на этапах полного возведения оболочки, завершения преднапряжения и при испытании на этапе набора максимального давления;

$A_{экспл(1)}$, $A_{экспл(i)}$, $A_{экспл(i+1)}$ – измеряемые параметры исследуемых точек 3 на этапах плано-предупредительных ремонтов, поочередно следующих за этапом испытания;

$\delta_{обж}$, $\delta_{испыт}$, $\delta_{экспл(1)}$, $\delta_{экспл(i+1)}$ – соответствующие межэтапные параметры перемещения исследуемых точек 3;

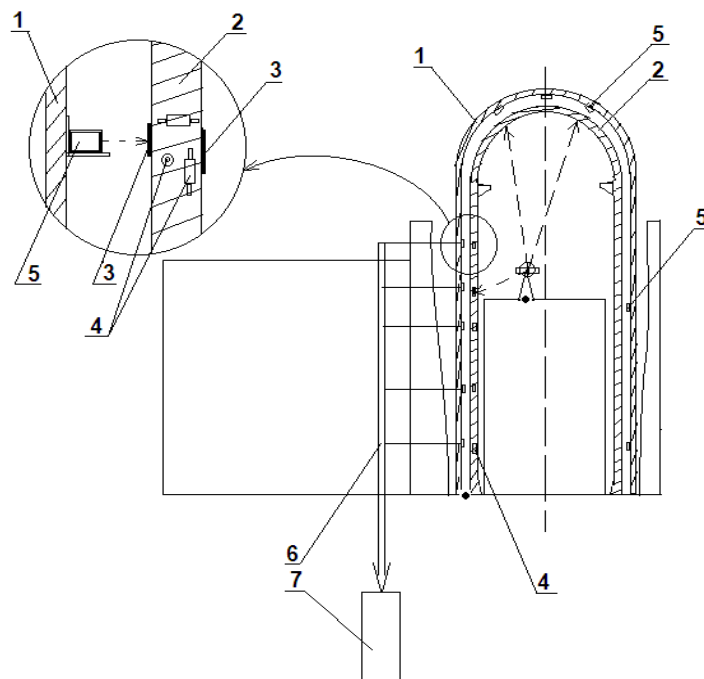


Рисунок 1 – Схема размещения системы контроля в двухслойной защитной оболочке [The layout of the control system in a two-layer protective shell]

и определяют коэффициент запаса прочности строительных конструкций защитной герметичной оболочки,

$$\begin{aligned}K_{исх} &= (\delta_{обж} / \delta_{испыт}), \\ K_{текущ(i)} &= [\delta_{обж} + (\delta_{экспл(1)}) + \sum_2^n \delta_{экспл(i)}] / \delta_{испыт},\end{aligned}$$

где $K_{исх}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам реализации этапов преднапряжения и испытания преднапрягаемой части 2 оболочки;

$K_{текущ(i)}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам реализации i -этапов на стадии эксплуатации преднапрягаемой части 2 оболочки.

При этом контролируемые точки 3 расположенные с внешней стороны преднапрягаемой части 2 оболочки примерно совмещают с сечениями, где смонтированы блоки датчиков 4 (например, в качестве датчиков – используют струнные датчики деформаций в арматуре (ПСАС) модели IRHP-2000) встроенной системы контроля. Контролируемые точки 3 размещают только в безмоментных зонах цилиндра и купола в напрягаемой части 2 оболочки. При этом контролируемые точки 3 не приурочивают к концентраторам напряжений, к которым относятся пилястры, проходки под трубопроводы, включая транспортные шлюзы, зона вуда, горизонты крепления консолей для балок и рельсового пути крана кругового действия, а также в зоне сопряжения купола и цилиндра, отступая от них не менее трех толщин напрягаемой части 2 оболочки. Контрольно-измерительные устройства 5 (например, электронный измеритель расстояний LeicaDistoX-310) размещают в тех же сечениях, размещая их на непреднапрягаемой 1 части оболочки, с внутренней ее стороны, на одной отметке с контрольными точками 3 и диаметрально противоположно им. Кроме того, контрольно-измерительные устройства 5 посредством шин 6 соединяют с сервером 7. На этапах после полного возведения герметичной защитной оболочки, после выполнения полной программы ее напряжения, при испытании на этапе создания максимального внутреннего давления и в последствии при эксплуатации в период каждого планового предупредительного ремонта определяют расстояние между контрольно-измерительными устройствами 5 и контролируемыми точками 3 ($A_0, A_{\text{преднапряж}}, A_{\text{испытан}}, A_{\text{экспл}(i)}$). По измеренным значениям вычисляют перемещения контролируемых точек 3, в свою очередь по этим значениям вычисляют коэффициенты запаса прочности $K'_{\text{текущ}(i)}$ ($K'_{\text{исх}}$),

$$K'_{\text{исх}} = \left(\frac{\delta_{\text{обж}}}{\delta_{\text{испыт}}} \right),$$

$$K'_{\text{текущ}(i)} = \frac{[\delta_{\text{обж}} + (\delta_{\text{экспл}(1)}) + \sum_2^n \delta_{\text{экспл}(i)}]}{\delta_{\text{испыт}}},$$

где $K'_{\text{исх}}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам измерений геодезической системой при реализации этапов преднапряжения и испытания преднапрягаемой части 2 оболочки;

$K'_{\text{текущ}(i)}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам измерений геодезической системой при реализации i -этапов на стадии эксплуатации преднапрягаемой части 2 оболочки.

Одновременно измеряют напряжения датчиками 4, установленными в окружной арматуре на цилиндрической части и, окружной и меридиональной арматуры в купольной части, встроенной системы контроля напряжений на тех же этапах ($U_0, U_{\text{преднапряж}}, U_{\text{испытан}}, U_{\text{экспл}(i)}$), по измеренным значениям напряжений вычисляют их межэтапное изменение,

$$\begin{aligned}\delta''_{\text{обж}} &= U_{\text{обж}} - U_0, \\ \delta''_{\text{испыт}} &= U_{\text{обж}} - U_{\text{испытан}}, \\ \delta''_{\text{экспл}(1)} &= U_{\text{экспл}(1)} - U_{\text{обж}}, \\ \delta''_{\text{экспл}(2)} &= U_{\text{экспл}(2)} - U_{\text{экспл}(1)}, \\ \delta''_{\text{экспл}(i+1)} &= U_{\text{экспл}(i+1)} - U_{\text{экспл}(i)},\end{aligned}$$

где U_0 , $U_{обж}$, $U_{испытан}$ – измеряемые напряжения по соответствующим датчикам встроенной системы на этапах полного возведения оболочки, завершения преднапряжения и при испытании на этапе набора максимального давления;

$U_{экспл(1)}$, $U_{экспл(i)}$, $U_{экспл(i+1)}$ – измеряемые напряжения по соответствующим датчикам встроенной системы на этапах планово-предупредительных ремонтов, поочередно следующих за этапом испытания;

$\delta''_{обж}$, $\delta''_{испыт}$, $\delta''_{экспл(1)}$, $\delta''_{экспл(i+1)}$ – соответствующие межэтапные параметры изменения напряжений в зонах размещения соответствующих датчиков встроенной системы.

В свою очередь по этим значениям вычисляют коэффициенты запаса прочности $K''_{текущ(i)}$ ($K''_{исх}$),

$$K''_{исх} = \left(\frac{\delta''_{обж}}{\delta''_{испыт}} \right),$$

$$K''_{текущ(i)} = \frac{[\delta''_{обж} + (\delta''_{экспл(1)}) + \sum_2^n \delta''_{экспл(i)}]}{\delta''_{испыт}},$$

где $K''_{исх}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам измерений встроенной системой при реализации этапов преднапряжения и испытания преднапрягаемой части 2 оболочки;

$K''_{текущ(i)}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам измерений встроенной системой при реализации i -этапов на стадии эксплуатации преднапрягаемой части 2 оболочки.

Далее выполняют сравнение полученных коэффициентов:

$$K'_{исх} - K''_{исх} \leq \varepsilon \text{ или } K'_{текущ(i)} - K''_{текущ(i)} \leq \varepsilon,$$

где ε – заданная величина допустимой разности коэффициентов.

Соблюдение неравенств является надежной и объективной оценкой технического состояния напрягаемой части оболочки.

Предлагаемое техническое решение способа оценки эксплуатационной надежности двухслойной защитной герметичной оболочки реакторного отделения АЭС, обеспечивает независимый контроль технического состояния защитной оболочки на ее всех возможных жизненных этапах двумя системами, в том числе штатной встроенной системой и геодезической системой. В то время как штатная (встроенная) система контроля, основанная на использовании датчиков напряжения, встраиваемых в арматурный каркас и в тело бетона стены защитной оболочки, не обеспечивает надежного определения технического состояния защитной оболочки на продолжительный срок эксплуатации. А геодезическая система не зависит от фактора времени, она ремонтпригодна. При этом ее внутренний измерительный канал является дублирующим для внешнего измерительного канала и используется при технической возможности и необходимости. На этапах после полного возведения герметичной защитной оболочки, после выполнения полной программы ее напряжения, при испытании на этапе создания максимального внутреннего давления и, впоследствии, в первые годы эксплуатации обе системы оценивают работоспособность оболочки и

обеспечивают взаимный контроль. По мере выхода из строя датчиков внутренней встроенной системы на продолжительном сроке эксплуатации оболочки, контроль и оценка ее технического состояния обеспечивается геодезической системой. Таким образом, обеспечивается повышение объективности и достоверности оценки эксплуатационной надежности двухслойных железобетонных защитных герметичных оболочек по результатам контроля их деформаций встроенной системой контроля и геодезической системой на этапах преднапряжения, испытания и в последующей эксплуатации, на основе оценки их абсолютных величин и сравнения коэффициентов запаса прочности, полученных каждой из систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пимшин, Ю.И.* Оценка деформированного состояния объектов по результатам геодезических измерений [Текст] / Ю.И. Пимшин, Ю.С. Забазнов, Г.А. Наumenко // Научное обозрение. – Москва. – 2013. – С. 57.
2. *Пимшин, Ю.И.* Состояние и перспективы контроля технического состояния зданий и сооружения Ростовской атомной электростанции [Текст] / Ю.И. Пимшин, А.В. Кривошеев, Г.А. Наumenко // Материалы научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 29.02-1.03.2000. – С. 91-95.
3. Пат. 2577555 Российская Федерация, Способ оценки эксплуатационной надежности защитной герметичной оболочки реакторного отделения АЭС [Текст] / Пимшин Ю.И., Ключин Е.Б., Губеладзе О.А., Забазнов Ю.С., Пимшин П.Ю. ; опубл. 20.03.16, Бюл. №8.
4. *Арутюнян, Р.В.* Предпосылки возможности продления срока службы защитных оболочек АЭС с ВВЭР-1000 [Текст] / Р.В. Арутюнян, В.Н. Киселев, В.Ф. Медведев, А.Н. Стрижов // Препринт ИБРАЭ №ИВРАЭ-2005-03. – Москва, ИБРАЭ РАН. – 2005. – Вып. 3. – С. 20-25.
5. *Кирильчик, Л.Ф.* Геодезическое обеспечение испытаний герметичных оболочек реакторных отделений [Текст] / Л.Ф. Кирильчик, Г.А. Наumenко, Ю.С. Забазнов // Известия высших учебных заведений северокавказский регион. – 2009. – Спецвыпуск. – С. 47-50.
6. *Медведев, В.Н.* Определение эксплуатационной безопасности защитной оболочки 3-го энергоблока Калининской АЭС [Текст] / В.Н. Медведев, А.Н. Ульянов, А.С. Киселев // Сб. статей ; вып. 10. МОО «Пространственные конструкции». – Москва. – 2006. – С. 230-243.
7. *Стерман, Л.С.* Тепловые и атомные электростанции [Текст] / Л.С. Стерман, А.С. Телвин, А.Т. Шарков. – Москва : Энергоиздат, 1982. – С. 257-260.
8. *Ульянов, А.Н.* Оценка напряженного состояния защитной оболочки 2-го энергоблока Калининской АЭС [Текст] / А.Н. Ульянов, В.Н. Медведев, В.Ф. Стрижов, А.С. Киселев, А.С. Залесов // Третья международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». Концерн «Росэнергоатом», 18-19 апреля, 2002 г. – Москва : ВНИИАЭС, 2002. – С. 107-118.
9. РД ЭО 0624-2005 Типовая инструкция по эксплуатации производственных зданий и сооружений атомных станций [Текст]. – Москва : Недра, 1986. – 263 с.
10. *Соколов, В.И.* Контроль пространственно-временного состояния крупных инженерных сооружений [Текст] / В.И. Соколов, А.Г. Зюкин, А.В. Гудков // Геодезия и картография. – 1989. – Вып. 12. – С. 12-14.

REFERENCES

- [1] Pimshin Y.I., Zabaznov Y.S., Naumenko G.A. Ocenka deformirovannogo sostoyaniya obektov po rezultatam geodezicheskix izmerenij [Evaluation of the Strain State of the Objects According to the Results of Geodetic Measurements]. Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. Moscow. 2013. P. 57 (in Russian).
- [2] Pimshin Y.I., Krivosheev A.V., Naumenko G.A. Sostoyanie i perspektivy kontrolya texnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniya Rostovskoj atomnoj elektrostancii [Status and Prospects of Control of Technical Condition of Buildings and Constructions of the Rostov Nuclear Power Plant]. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii [Materials of Scientific-Practical Conference]. Rostov-on-don. 29.02-1.03.2000. P. 91-95 (in Russian).
- [3] Pat. 2577555. Sposob ocenki ekspluatacionnoj nadezhnosti zashchitnoj germetichnoj obolochki reaktornogo otdeleniya AES [A method of Assessing the Operational Reliability of the Protective Sealed Shell of the Reactor Compartment of the NPP]. Pimshin Y.I., Klyushin, E.B., Gubeladze

- O.A., Zobotnov J.S., Pimshin I.Y. Opubl. 20.03.2016. Byul. № 8 (in Russian).
- [4] Harutyunyan R.V., Kiselev V.N., Medvedev V.F., Strizhov A.N. Predposylki vozmozhnosti prodleniya sroka sluzhby zashchitnyh obolochek AES s VVER-1000 [Prerequisites for the Possibility of Extending The Service Life of NPP Protective Shells with VVER-1000]. IBRAE Preprint № IBRAE-2005-03. Moscow. Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences. 2005. Issue. 3. P. 20-25 (in Russian).
 - [5] Kirilchik L.F., Naumenko G.A., Zabaznov Yu.S. Geodezicheskoe obespechenie ispytaniy germetichnyh obolochkek reaktornyh otdelenij [Geophysical software of Testing Sealed Shells of Reactor Compartments]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij severokavkazskij region [News of Higher Educational Institutions of the North Caucasian Region]. 2009. Special issue. P. 47-50 (in Russian).
 - [6] Medvedev V.N. Ulyanov A.N., Kiselev A.S. Opredelenie ekspluatatsionnoj bezopasnosti zashchitnoj obolochki 3-go energobloka Kalininskoj AES [Definition of Operational Safety of the Protective Shell of the 3rd Kalinin NPP Power Unit]. Sat. articles. Issue. 10, MOO "Spatial Constructions". Moskva [Moscow]. 2006. P. 230-243 (in Russian).
 - [7] Sterman L.S., Telvin A.S., Sharkov A.T. Teplovye i atomnye elektrostancii [Thermal and Nuclear Power Plants]. Moscow, Energoizdat. 1982. P. 257-260 (in Russian).
 - [8] Ulyanov A.N., Medvedev V.N., Strizhov V.F., Kiselev A.S., Zalesov A.S. Ocenka napryazhennogo sostoyaniya zashchitnoj obolochki 2-go energobloka Kalininskoj AES [Evaluation of the Stress State of the Protective Shell of the 2nd Kalininskaya NPP Power Unit]. Tret'ya mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya "Bezopasnost', effektivnost' i ekonomika atomnoj energetiki" [The Third International Scientific and Technical Conference "Safety, Efficiency and Economy of Atomic Energy"]. Rosenergoatom concern [Rosenergoatom concern]. April 18-19. 2002. Moscow. VNIIAES. 2002. P. 107-118 (in Russian).
 - [9] RD EO 0624-2005 Tipovaya instrukciya po ekspluatatsii proizvodstvennyh zdaniy i sooruzhenij atomnyh stancij [Standard Instruction on Operation of Industrial Buildings and Facilities of Nuclear Power Plants]. Moskva. Nedra [Moscow. Subsoil]. 1986. 263 p. (in Russian).
 - [10] Sokolov V.I., Zyukin A.G., Gudkov A.V. Kontrol' prostranstvenno-vremennogo sostoyaniya krupnyh inzhenernyh sooruzhenij [Control of Space-Time State of Large Engineering Structures]. Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]. 1989. Issue. 12. P. 12-14 (in Russian).

Possible Approach to Technical Condition Assessment of Two-Layer Reinforced Concrete Covers of NPP Unit Reactor Compartments

Y.I. Pimshin¹, Y.V. Zayrov², Y.S. Zabaznov³

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

¹ORCID iD: 0000-0001-6610-8725

WoS Researcher ID: J-6791-2017

e-mail: YIPimshin@mephi.ru

²ORCID: 0000-0003-3353-803

e-mail: YVZayarov@mephi.ru

³ORCID: 0000-0003-1856-5221

WoS Researcher ID: V-3311-2017

e-mail: Jur-rik@mail.ru

Abstract – The paper deals with the theoretical solution of the technical condition assessment of the protective hermetic shell. The decision of the regular system intended for determination and assessment of the stress-strain state of protective hermetic covers during acceptance and operation is offered.

Keywords: protective hermetic shell, technical condition, pre-stress, testing, control, mobile geodetic diagnostic system, assessment of stress-strain state.

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

УДК 004.94

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАНДОМИЗАЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ
МНОГОВАРИАНТНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ**

© 2018 В.В. Кривин, В.А. Толстов, И.О. Ишигов

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал НИЯУ МИФИ, Волгодонск, Россия

В статье описывается метод определения идентификационных характеристик процесса сварки на основе анализа фазового портрета. Показано, что процесс подвержен множеству возмущающих факторов: устранимых и неустранимых. Проанализированы возможности применения известных статистических методов оценки для идентификации такого процесса. Описан алгоритм получения фазового портрета, его разбиение на состояния и оценку идентификационных характеристик каждого состояния.

Ключевые слова: сварка, фазовый портрет, идентификация состояния процесса, робастные методы.

Поступила в редакцию: 14.06.2018

Большая часть процессов, связанных с изготовлением и эксплуатацией различных изделий машиностроения, приборостроения и других отраслей промышленности, определяется некоторым набором случайных параметров, характеризующих эти процессы, измерять которые непосредственно и/или в полной мере либо сложно, либо не представляется возможным. Однако часто возникает ситуация, когда указанные параметры, в свою очередь, стохастически связаны с некоторым набором случайных величин, реализации которых поддаются измерению. Поэтому естественно попытаться оценить величины параметров непосредственно влияющих на качество рассматриваемых процессов, увязав эти оценки с законами изменения, опосредовано влияющих на качество процессов измеряемых случайных факторов.

Общие теоретические принципы, устанавливающие связь, между случайными характеристиками различного уровня влияния на контролируемый процесс, определяются достаточно просто. Если $f(\bar{x}, \bar{\theta})$ – плотность вероятности измеряемой l -мерной случайной величины $\bar{X}$, зависящей от m -мерной случайной величины $\bar{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_m)$. Непосредственные измерения последней невозможны, причем $\bar{\theta}$ имеет плотность вероятности $\alpha(\bar{\theta})$. Тогда рассмотрим функцию следующего вида:

$$\omega(\bar{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(\bar{x}, \bar{\theta}) \alpha(\bar{\theta}) d\theta_1 \dots d\theta_m, \quad (1)$$

Функция (1) является смесью распределений $f(\bar{x}, \bar{\theta})$ и $\alpha(\bar{\theta})$, и определит безусловную плотность вероятности случайных характеристик $\bar{x}$ контролируемого процесса [1].

Получение и использование функции $\omega(\bar{x})$ в общем случае для определения количественных, а не качественных, характеристик конкретного анализируемого процесса является трудновыполнимой задачей. Однако часто возникает ситуация, когда случайная величина $\bar{\theta}$ является дискретной случайной величиной, имеющей следующий ряд распределения:

$\bar{\theta}$	$\bar{\theta}_1$	$\cdots$	$\bar{\theta}_n$
p	p_1	$\cdots$	p_n

В этом случае равенство (1) можно переписать в следующем виде:

$$\omega(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n p_i f(\bar{x}, \bar{\theta}_i) \quad (2)$$

Такое представление плотности вероятности $\omega(\bar{x})$ указывает на то, что его использование возможно тогда, когда на контролируемый процесс влияет конечное число доминирующих в разное время факторов, а сам процесс может быть разбит естественным образом на конечное число различных состояний. С подобной ситуацией приходится сталкиваться в различных областях: при анализе сварочных процессов, при оценке эксплуатационной надежности интеллектуальных датчиков и в ряде других случаев [2].

Укажем способы проведения оценок величин неизвестных характеристик – вероятностей p_i , а также неизвестных параметров, характеризующих дифференциальные функции распределения $f(\bar{x}, \bar{\theta}_i)$ в предположении, что вид этих функций априори известен.

1) Алгебраический способ. Этот способ предполагает либо непосредственное вычисление параметров плотности вероятности $f(x, \theta_i)$, либо их косвенное вычисление, посредством составления систем уравнений, связывающих искомые величины [3]. Использование этого метода и в первом и во втором случае требует предварительной сортировки (кластеризации) измеренных данных, что не всегда представляется возможным. Причиной этого является то, что множества измеренных случайных параметров, характеризующих различные состояния случайного процесса, чаще всего имеют непустое пересечение, поэтому невозможно решить вопрос о том, к какому состоянию процесса отнести измеренное значение параметра, лежащее в указанном пересечении множеств.

Учитывая сказанное, алгебраический способ определения параметров целесообразно использовать для первичной грубой оценки искомых параметров с последующим их уточнением при использовании других методов.

2) Метод сравнения вероятностей, состоящий в аппроксимации функции $\omega(\bar{x})$ сравнением ее значений с соответствующими значениями, полученными по гистограмме [4]. Достоинством этого метода является то, что при его применении предварительной кластеризации статистических данных не требуется. Основными проблемами, возникающими при использовании этого метода, являются выбор метрики при построении целевых функций для указанной аппроксимации функции $\omega(\bar{x})$ и «эффект оврагов», возникающий при оптимизации полученных целевых функций.

3) Метод наибольшего правдоподобия [4]. Достоинствами этого метода являются, во-первых, устранение необходимости кластеризации статистических значений, во-вторых, при его использовании исчезает необходимость выбора метрики при построении целевой функции (функции правдоподобия). Недостаток этого метода, как и предыдущего, состоит в том, что он приводит к необходимости оптимизации целевых функций, обладающих сильно выраженным «эффектом оврагов».

Отметим, что наиболее эффективным является использование комбинированного метода. На первом этапе используют алгебраический метод, а затем полученные на его основе результаты уточняют либо методом наибольшего правдоподобия, либо методом аппроксимации [5].

В качестве примера использования описанных методов рассмотрим задачу идентификации процесса дуговой сварки плавлением. На формирование сварного соединения при дуговой сварке влияют различные возмущающие воздействия как связанные, так и не связанные со сварочным процессом. В первом случае это коробление и деформация сварного соединения: раскрытие или захлопывание зазора в стыке, выпучивание поверхности и т.д. Во втором – нестабильность работы сварщика, сварочного оборудования и разброс в свойствах сварочных материалов. В большинстве случаев данные возмущения относятся к неконтролируемым, поэтому их невозможно учесть при построении теоретических моделей и весьма затруднительно в экспериментальных. Для большинства известных методов построения моделей сварочных процессов этот факт не позволяет ограничиться линейными зависимостями [6]. Определение параметров нелинейных многопараметрических моделей – коэффициентов регрессионной зависимости – крайне затруднительно, что фактически исключает их широкое применение.

В связи с этим, проблема оценки показателей качества сварного соединения по текущим значениям контролируемых параметров на основе модели процесса, остается нерешенной актуальной задачей современного сварочного производства. Решение проблемы уменьшения влияния возмущающих воздействий связано с организацией промышленного эксперимента, разработкой формальных методов получения данных о процессе и классификации процесса на множестве идентификационных данных.

Особенностью процесса сварки плавлением является то, что надежное и оперативное измерение возможно только для мгновенных значений тока и напряжения сварки. Остальные параметры могут быть получены только при исследовании готового шва и подвержены необъективности, т.к. содержат элементы экспертных оценок [7]. Это приводит к необходимости максимально полного использования имеющейся информации, т.е. к потребности в алгоритмах выделения информативных идентификационных характеристик из массивов значений измеренных параметров.

Удобным средством наглядного представления процесса являются фазовые портреты [8]. Они представляют собой двумерные гистограммы, различной яркостью отображающие плотность точек траектории процесса в различных областях фазового пространства в разрезе каких-либо двух параметров процесса. Их рассмотрение показывает принципиальную неоднородность фазового пространства сварочного процесса. Это позволяет считать различные меры неоднородности фазового портрета существенной идентификационной характеристикой процесса.

Идея предлагаемого метода получения идентификационных характеристик процесса сварки плавлением строится на двух положениях:

- отождествление топологической неоднородности на гистограмме совместного распределения тока сварки и напряжения на дуге с пиками функции распределения;
- разделение их по гиперплоскостям водоразделов.

Эмпирическая функция распределения оценивается по фазовому портрету процесса – многомерной гистограмме, полученной по измеренным значениям параметров. На рисунке 1 представлена такая многомерная гистограмма. Она является изображением совместной плотности распределения мгновенных значений тока и напряжения и выполнена в равномерном масштабе. Разной яркостью отображено количество точек, попавших в данную область (темнее – больше). При визуальном анализе вольтамперных характеристик процесса определяются четко разделенные группы точек. Эксперты-технологи идентифицируют, по крайней мере, некоторые из этих групп как известные состояния процесса (капельный перенос металла, угасание дуги и горение дуги и т.п.). Очевидно, наличие и характеристики этих состояний являются важной технологической информацией, игнорирование которой на этапе

классификации процесса и принятии решения может привести к необъективности конечного результата такой классификации или к недостаточной обоснованности принятого решения [9]. Причём неважно, принимает решение эксперт или компьютерная программа обработки знаний.

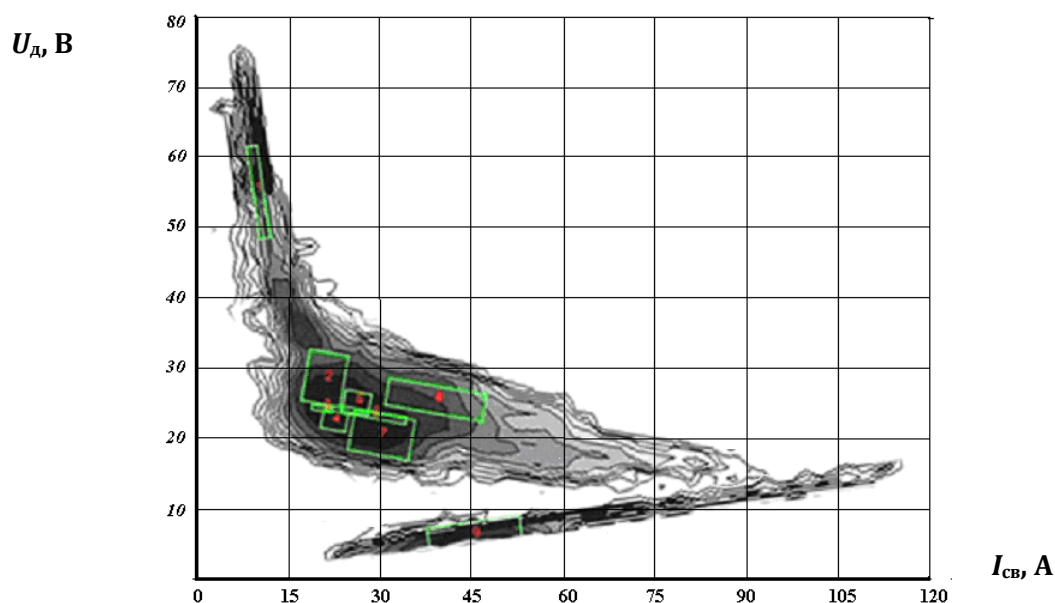


Рисунок 1 – График совместной плотности распределения тока и напряжения в равномерном масштабе [Diagram of the joint current and voltage distribution density in uniform scale]

После разделения данных по кластерам функция распределения внутри каждого кластера имеет единственный пик, т.е. является одномодовой. На таких данных стандартные статистические методы дают устойчивые результаты, то есть являются робастными. Это позволяет использовать эти методы для получения адекватных идентификационных характеристик. В качестве таких характеристик используются математические ожидания и среднеквадратические отклонения, хотя можно использовать и другие выборочные статистики.

Результатом применения метода является таблица, содержащая для всех выделенных кластеров статистические характеристики всех перечисленных параметров. В качестве характеристик выбраны средние и среднеквадратичные отклонения значений параметров (ток сварки и напряжение на дуге), длительности (t) и доля ($t_{\%}$) пребывания в состоянии, и паузы между возвратами в состояние (скважность $t_{\text{СКВ}}$) [9]. Оценки данных характеристик для рассматриваемой гистограммы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические характеристики кластеров гистограммы [Statistical characteristics of histogram clusters]

№	$t_{\%}$	$t_{\text{СКВ}}$		t		U		I	
		М	σ	М	σ	М	σ	М	σ
1	11	8,83	17,57	8,83	17,57	123,21	17,57	0,52	0,70
2	16	1,43	9,75	1,43	9,75	47,89	9,75	8,44	2,63
3	4	0,47	0,92	0,47	0,92	36,76	0,92	8,83	1,45
4	10	0,55	3,47	0,55	3,47	32,77	3,47	10,78	1,81
5	15	0,70	3,77	0,70	3,77	41,34	3,77	13,39	1,76
6	11	0,57	1,23	0,57	1,23	37,66	1,23	16,09	4,61
7	19	0,99	7,59	0,99	7,59	30,55	7,59	17,74	4,37
8	5	1,71	4,87	1,71	4,87	47,10	4,87	24,59	6,92
9	9	3,02	5,14	3,02	5,14	2,32	5,14	30,29	6,71

Содержимое этой таблицы и является идентификационными характеристиками, несущими информацию о существенных состояниях сварочного процесса. В частности, данные идентификационные характеристики использованы для проверки адекватности модели звука сварочного процесса [10]. Результаты экспериментов со звуковым сопровождением процесса сварки позволяют утверждать, что оценка идентификационных характеристик по предложенной методике может быть применена при построении моделей сложных случайных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсол. – Москва : Мир, 1989. – 540 с.
2. Хрущева, И.В. Основы математической статистики и теории случайных процессов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И.В. Хрущева, В.И. Щербаков, Д.С. Леванова. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 336 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/426>.
3. Хампель, Ф. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния [Текст] / Ф. Хампель, Э. Рончетти, П. Рауссеу, В. Штаэль – Москва : Мир, 1989 – 512 с.
4. Туганбаев, А.А. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.А. Туганбаев, В.Г. Крупин. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 320 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/652>.
5. Кривин, В.В. Метод идентификации хаотических процессов с аддитивной стохастической составляющей [Текст] / В.В. Кривин, М.Ю. Виниченко // Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2013. – Т. 2, № 1. – С. 63-70.
6. Компьютерный тренажер для обучения навыкам сварки при изготовлении и монтаже конструкций энергетического машиностроения. Отчет о НИОКР (промежуточ.) : 50.41.25 / НИЯУ МИФИ ; рук. А.А. Тямалов ; исполн. : В.В. Кривин [и др.] – Волгоград, 2014. – 176 с. № ГР 114102740077. – Инв. № 08.03-08.01-01.
7. Кривин, В.В. Оценка аддитивной стохастической составляющей сигналов процесса сварки плавлением [Текст] / В.В. Кривин // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Электромеханика. 2003. – № 3. – С. 64-66.
8. Рюэль, Д. Случайность и хаос [Электронный ресурс] / Давид Рюэль. – Электрон. текстовые данные. – Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 191 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/16627.html>.
9. Кривин, В.В. Методы автоматизации ограниченно детерминированных процессов: Монография [Текст] / В. В. Кривин ; М-во образования Рос. федерации. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т). – Новочеркасск : Ред. журн. Известия вузов. Электромеханика, 2003 (ЦОП ЮРГТУ (НПИ)). – 173 с.
10. Кривин, В.В. Проверка адекватности модели звука ручной дуговой сварки / В.В. Кривин [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 2-3(4). – С. 32-38.

REFERENCES

- [1] Bendat J., Pirsol A. Prikladnoi analiz sluchainyh dannyh [The Applied Analysis of Random Data]. Moscow. Mir. 1989. 540 p. (in Russian).
- [2] Hruscheva I.V., Scherbakov V.I., Levanova D.S. Osnovy matematicheskoi statistiki i teorii sluchainyh processov [The Basis of Mathematical Statistics and Theory of Random Processes]. St. Petersburg. Lan'. 2009. 336 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/426> (in Russian).
- [3] Hampel' F., Ronchetti E., Rausseu P. et al. Robastnost' v statistike. Podhod na osnove funktsii vlianiia [The Robust in Statistics. The Approach Based on Influence Functions]. Moscow. Mir. 1989. 512 p. (in Russian).
- [4] Tuganbaev A.A., Krupnin V.G. Teoriia veroiatnosti i matematicheskaiia statistika [The Theory of Probability and Mathematical Statistics]. St. Petersburg. Lan'. 2011. 320 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/652> (in Russian).
- [5] Krivin V.V., Vinichenko M.Y. Metod identifikacii haoticheskikh processov s additivnoi sostavliaushei [The Method for Identifying the Chaotic Processes with Additive Component]. Moscow. Vestnik natsionalnogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI» [Bulletin of the National Research Nuclear University "MEPhI"]. 2013. V. 2. № 1. P. 63-70 (in Russian).
- [6] Kompiuternii trenazhor dlia obucheniiia navykam ruchnoi dugovoi svarki pri izgotovlenii i montazhe

- konstrukcii energiticheskogo mashinostroenia. Otchet o NIOKP [The Computer Training System for Manual Arc Welding Skills Used in Energetic Machine Production and Mounting. The Interim Report about Scientific Investigation and Empirical Construction]. Grant number: 114102740077. MIFI, Volgodonsk. 2014. 176 p. (in Russian).
- [7] Krivin V.V. Ocenka additivnoi stohasticheskoi sostavliauschei signalov processa svarki plavleniem [The Estimation of Additive Stochastic Component in Signals of Fusion Welding Process]. Izvestiia vuzov Severo-Kavkazskii region [Bulletin of Highest School in North Caucasus]. Elektromekhanika [Electro Mechanics]. 2003. № 3, P. 64-66 (in Russian).
- [8] Riuel D. Sluchainost' i haos [Coincidence and Chaos]. Moscow, Izhevsk. Reguliarnaii i haoticheskaiia dinamika [The Regular and Chaotic Dynamics]. 2001. 191 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/16627.html> (in Russian).
- [9] Krivin V.V. Metody avtomatizatsii ogranichenno determinirovannyh processov. Monografiia [The Automation Methods of Boundedly Deterministic Processes. Monograph]. South-Russian State Technical University. Novocherkassk. Izvestiia vuzov Severo-Kavkazskii region [Bulletin of Highest School in North Caucasus]. Elektromekhanika [Electro Mechanics]. 2003. 173 p. (in Russian).
- [10] Krivin V.V. et al. Proverka adekvatnosti modeli zvuka ruchnoi dugovoi svarki [The Adequacy Check for Model of Manual Arc Welding Sound]. Global'naia Iadernaia Bezobasnost' [Global Nuclear Safety]. 2012. № 2-3 (4). P. 32-38 (in Russian).

The Estimation of Randomization Parameters in the Analysis of Multivariate Random Processes

V.V. Krivin¹, V.A. Tolstov², I.O. Ishigov³

*Volgodonsk Engineering-Technical Institute – Branch of NRNU «MEPhI»,
Lenina street, 73/94, Volgodonsk, Russia 347360*

¹ ORCID iD: 0000-0003-0903-0786

WoS Researcher ID: E-2267-2018

e-mail: vvkrivin@mephi.ru

² ORCID iD: 0000-0001-7144-5195

WoS Researcher ID: F-1032-2017

e-mail: v-tolstov-2017@mail.ru

³ ORCID iD: 0000-0002-5829-6989

WoS Researcher ID: E-2448-2018

e-mail: ioishigov@mephi.ru

Abstract – The article deals with method to characterize the identification of the state of the welding process based on phase portrait analysis. It is shown the various both recoverable and non-recoverable factors influence that process. The abilities of well-known statistical methods to identify such process were being analyzed. The article describes the algorithm to mine the phase portrait, its spleeting to states and estimation of identifying characteristics for each state.

Keywords: welding, phase portrait, identification of process state, robust methods.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039.50

**ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЯЭУ С ВВЭР-1200
ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВОДООБМЕНА В 1-ОМ КОНТУРЕ ПРИ
РЕАЛИЗАЦИИ СУТОЧНЫХ МАНЕВРЕННЫХ РЕЖИМОВ**

© 2018 С.Б. Выговский, Р.Т. Аль Малкави, А.Г. Хачатрян, Ш.А. Абрамян

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В настоящей работе приведены результаты численных исследований алгоритмов управления пространственным распределением нейтронного поля в активной зоне реакторов ВВЭР-1200 при реализации суточных маневренных режимов на АЭС с ВВЭР-1000(1200). Была показана возможность автоматизированного регулирования аксиальным офсетом нейтронной мощности с использованием одной из управляющих групп ОР СУЗ с целью снятия психологической нагрузки на оперативный персонал АЭС в маневренных режимах. При этом происходит дополнительная минимизация водообмена при сохранении всех полевых ограничений по локальной мощности в зоне. Исследования проводились на базе программного комплекса ПРОСТОР. Данный комплекс используется в настоящее время в УТП Ново-Воронежской АЭС для проведения занятий с оперативным персоналом АЭС и их обучения оптимальным алгоритмам управления энергоблоком в маневренных режимах. Была предложена методология настройки параметров офсета регулирования в зависимости от нейтронно-физических характеристик активной зоны. Актуальность проведенных исследований связана с тем, что на НВАЭС-2 и ЛАЭС-2 по проекту АЭС-2006 предполагается тестирование суточных режимов работы АЭС с маневрированием мощности в широком интервале их значений. Проведение этих испытаний необходимо для подтверждения работоспособности энергоблоков в суточных режимах по ряду зарубежных контрактов с РФ, что повысит конкурентную способность оборудования АЭС с ВВЭР за рубежом.

Ключевые слова: ВВЭР-1200, офсетно-мощностная фазовая диаграмма, аксиальный офсет (АО), автоматический регулятор мощности (АРМ), алгоритм управления, водообмен.

Поступила в редакцию: 05.07.2018

ВВЕДЕНИЕ

Сложность задачи заключается в том, что маневренные режимы с изменением мощности в течение суток приводят к возникновению нестационарного отравления активной зоны ксеноном и, как следствие, к ксеноновым колебаниям локальной мощности по объему зоны. В случае маневренных режимов стоит задача обеспечить управляемый процесс ксеноновых колебаний с целью не превышения полевых ограничений по локальной мощности в зоне и минимизацию водообмена в 1-ом контуре, который является очень затратной операцией на АЭС.

Для безопасной эксплуатации энергоблока с реактором ВВЭР-1000(1200) в маневренном режиме необходимо, чтобы реактор находился в устойчивом состоянии, и поддерживалось устойчивое пространственное распределение энерговыделений по объему активной зоны как в ночном, так в дневном режиме.

Количественной мерой устойчивости реактора служит аксиальный офсет (АО), поэтому показателем эффективности эксплуатации энергоблока с ВВЭР-1000(1200) является минимизация отклонения АО в ночном и дневном интервалах по времени от их стационарных значений, которые не сильно отличаются друг от друга.

Стационарные значения устанавливаются из области разрешенных значений аксиального офсета близкими друг к другу, как в ночном, так и в дневном режиме.

Правда при реализации суточных режимов помимо задачи обеспечения устойчивости реактора и теплотехнической безопасности зоны есть и другая не менее важная задача: минимизация водообмена. В этом случае обеспечить минимальные отклонения от постоянного значения аксиального офсета мощности очень затруднительно. Поэтому для маневренных режимов пользуются разрешенной областью значений офсета, которая определяется офсетно-мощностной фазовой диаграммой, рассчитываемой для каждого момента кампании. Из этой диаграммы можно определить квазистационарные значения аксиального офсета для ночного и дневного режимов, которые могут быть существенно различными.

Поддержание текущей фазовой точки – значения офсета, в рекомендуемой области диаграммы ограничивает изменение локальной мощности, а также сдерживает развитие аксиальных ксеноновых колебаний. На энергоблоках ВВЭР-1000, введенных в эксплуатацию после 2000 г., офсет-мощностная диаграмма является необходимым элементом информационной поддержки оператора. Диаграмма выводится на экран рабочего монитора оператора с помощью входящей в состав расчетной поддержки эксплуатации программы ИР. Данная программа оперирует офсетно-мощностной диаграммой, которая определяет разрешенную область значений офсета мощности.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОФСЕТНО-МОЩНОСТНОЙ ДИАГРАММЫ

Источником получения офсетно-мощностной диаграммы являются полевые ограничения локальной мощности, которые должны быть меньше допустимых значений локальной мощности во всем объеме активной зоны. Под локальной мощностью понимается линейная тепловая мощность $Q(i, j, k)$ на тепловыделяющий элемент, где i, j, k – номер высотного слоя активной зоны, номер ТВС, номер ТВЭЛ внутри ТВС соответственно. На локальную мощность Q накладываются ограничения Q_{lim} , которые зависят от типа тепловыделяющего элемента (ТВЭЛ или ТВЭГ), а также от положения в активной зоне и выгорания рассматриваемого участка тепловыделяющего элемента: $Q(i, j, k) \leq Q_{lim}(i, j, k)$. Однако не только это требование является необходимым условием определения разрешенной области значений офсета для реализации суточных маневренных режимов. Другим условием является необходимость минимизировать отклонения значений локальной мощности в различных состояниях активной зоны от стационарных значений на номинальной мощности, при которых надежно достигается не превышение локальной мощности их полевых ограничений по объему активной зоны по данным СВРК. Выполнение этого условия не приводит к накоплению усталостных повреждений в топливных элементах при циклических нагрузках во время маневренного режима и позволяет, практически без ограничения по числу циклов, проводить маневрирование мощности реактора. Определение этого условия и разработка метода офсетно-мощностной фазовой диаграммы для управления распределением энерговыделений в активной зоне принадлежит РНЦ «КИ» и ВНИИМ [1-3].

В соответствие с разработанным методом для выполнения указанного выше условия служит выражение для зависимости оптимального значения АО от мощности, которое минимизирует отклонение линейных нагрузок на топливо при изменении мощности:

$$AO_c = -2,6 + (AO_1(W_0) + 2,6)W/100 \quad (1)$$

где W – текущая мощность реактора, %;

W_0 – номинальная мощность реактора, %;

AO_0 – значение офсета при текущей мощности для оптимального распределения;

AO_1 – значение равновесного офсета при номинальной мощности для оптимального распределения;

Обеспечить значения оптимального офсета в различных состояниях активной зоны затруднительно. Поэтому определяется некоторая область разрешенных значений офсета в отклонениях от оптимальных значений AO_c , которые составляют при номинальной мощности значения $\pm 5\%$:

$$AO_1 = -2,6 + (AO_c + 7,6) 100/W;$$

AO_1 – верхняя граница коридора разрешенных значений AO ;

$$AO_2 = -2,6 + (AO_c - 2,4) 100/W;$$

AO_2 – нижняя граница коридора разрешенных значений AO ;

Величины AO_1 и AO_2 определяют область разрешенных значений аксиального офсета – офсетно-мощностную фазовую диаграмму. Приведем пример такой области для стационарной кампании 12-ти месячной топливной загрузки 6-го блока НВАЭС на 320 эфф. суток.

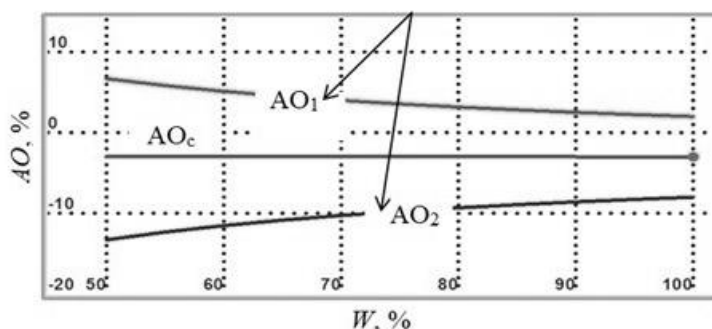


Рисунок 1 – Офсетно-мощностная фазовая диаграмма по штатной методике. Центральная линия (AO_c) определяет зависимость аксиального офсета от мощности для оптимальной траектории высотного распределения энерговыделений с минимальными отклонениями локальной мощности друг от друга в различных состояниях активной зоны [Offset-power phase diagram by the standard method. The central line (AO) determines the dependence of the axial offset on the power for the optimal trajectory of the altitude distribution of energy releases with minimum deviations of the local power from each other in different states of the core]

Если для получения офсетно-мощностной диаграммы использовать только требование не превышения полевых ограничений локальной мощности в объеме зоны по данным СВРК без учета усталостных накоплений в топливе, то можно получить гораздо более широкий коридор для значений аксиального офсета при малых значениях мощности реактора. Правда, реализация такого режима возможна только для единичных случаев, например при аварийном отключении большего количества потребителей.

Расчет офсетно-мощностной фазовой диаграммы без учета усталостных накоплений в топливном элементе основан на использовании данных СВРК по значениям линейным тепловым нагрузкам на ТВЭЛ в контрольных точках активной зоны в данный момент кампании. В основе лежит выполнение неравенства по всему объему зоны: $QL(x, y, z) < 0,98QL_{lim}(x, y, z)$ и неравенства для объемных коэффициентов неравномерности энерговыделений $Kv(x, y, z)$ в соответствии с Техническим

Регламентом, которое выглядит следующим образом:

$$Kv(x, y, z) < \frac{Kv_{\text{lim}}(x, y, z)}{0.17 + 0.83W / W_0}$$

где W – текущая мощность;

W_0 – номинальная мощность.

Проинтегрируем левую и правую часть данного неравенства по объёму нижней половины активной зоны и по объёму верхней половины. Получим:

$$Kv_{\text{низ}} < \frac{Kv_{\text{lim низ}}}{0.17 + 0.83W / W_0}, Kv_{\text{верх}} < \frac{Kv_{\text{lim верх}}}{0.17 + 0.83W / W_0}, Kv_{\text{низ}} + Kv_{\text{верх}} = 2$$

где W – текущая мощность;

W_0 – номинальная мощность.

$$AO(\%) = \frac{Kv_{\text{верх}} - Kv_{\text{низ}}}{Kv_{\text{верх}} + Kv_{\text{низ}}} * 100$$

$$AO(\%) > (1 - \frac{Kv_{\text{lim низ}}}{0.17 + 0.83W / W_0}) * 100, AO(\%) < (\frac{Kv_{\text{lim верх}}}{0.17 + 0.83W / W_0} - 1) * 100 \quad (2)$$

Из этих неравенств получим выражения для нижней и верхней границы разрешенного коридора значений аксиального офсета:

$$AO'_2 = (1 - \frac{Kv_{\text{lim низ}}}{0.17 + 0.83W / W_0}) * 100, AO'_1 = (\frac{Kv_{\text{lim верх}}}{0.17 + 0.83W / W_0} - 1) * 100$$

Соответственно выражения для проинтегрированных предельных коэффициентов неравномерности энерговыделений для низа и верха зоны выглядят следующим образом:

$$Kv_{\text{lim низ}} = \frac{1}{7Q_{\text{средн}} K_N K_{\text{инж}} K_{\text{изг}}} \times \left\{ 4 \sum_{i=1}^3 \min \left\{ \int_{S_i} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭЛ1}}(bn(x, y))}{S_i Kk_{\text{maxi1}}^{\text{ТВЭЛ1}}(bn(x, y), x, y)} dx dy, \int_{S_i} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭЛ2}}(bn)}{S_i Kk_{\text{maxi1}}^{\text{ТВЭЛ2}}(bn)} dx dy, \int_{S_i} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭГ}}(bn)}{S_i Kk_{\text{maxi}}^{\text{ТВЭГ}}(bn)} dx dy \right\} \right. \\ \left. + 2 \min \left\{ \int_{S_4} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭЛ1}}(bn(x, y))}{S_4 Kk_{\text{maxi1}}^{\text{ТВЭЛ1}}(bn(x, y), x, y)} dx dy, \int_{S_4} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭЛ2}}(bn)}{S_4 Kk_{\text{maxi1}}^{\text{ТВЭЛ2}}(bn)} dx dy, \int_{S_4} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭГ}}(bn)}{S_4 Kk_{\text{maxi}}^{\text{ТВЭГ}}(bn)} dx dy \right\} \right\},$$

$$Kv_{\text{lim верх}} = \frac{1}{7Q_{\text{средн}} K_N K_{\text{инж}} K_{\text{изг}}} \times \left\{ 4 \sum_{i=5}^7 \min \left\{ \int_{S_i} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭЛ1}}(bn(x, y))}{S_i Kk_{\text{maxi1}}^{\text{ТВЭЛ1}}(bn(x, y), x, y)} dx dy, \int_{S_i} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭЛ2}}(bn)}{S_i Kk_{\text{maxi1}}^{\text{ТВЭЛ2}}(bn)} dx dy, \int_{S_i} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭГ}}(bn)}{S_i Kk_{\text{maxi}}^{\text{ТВЭГ}}(bn)} dx dy \right\} \right. \\ \left. + 2 \min \left\{ \int_{S_4} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭЛ1}}(bn(x, y))}{S_4 Kk_{\text{maxi1}}^{\text{ТВЭЛ1}}(bn(x, y), x, y)} dx dy, \int_{S_4} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭЛ2}}(bn)}{S_4 Kk_{\text{maxi1}}^{\text{ТВЭЛ2}}(bn)} dx dy, \int_{S_4} \frac{Q_{\text{limi}}^{\text{ТВЭГ}}(bn)}{S_4 Kk_{\text{maxi}}^{\text{ТВЭГ}}(bn)} dx dy \right\} \right\},$$

- где $K_{изг}$ – коэффициент неточности из-за азимутального изгиба ТВС = 1.01;
- K_N – коэффициент неточности расчета и поддержания мощности = 1.07;
- $K_{инж}$ – коэффициент неточности расчета пространственного распределения нейтронного поля в объеме активной зоны = 1.12;
- $Kk_{maxS_1}^{ТВЭЛ1}(bn(x, y), x, y)$ – максимальный коэффициент неравномерности мощности ТВЭЛ основного размещения по сечению ТВС с координатами x - y в области реактора с I-м ДПЗ;
- $Kk_{maxS_1}^{ТВЭЛ2}(bn(x, y), x, y)$ – максимальный коэффициент неравномерности мощности ТВЭЛ периферийного размещения по сечению ТВС с координатами x - y в области реактора с I-м ДПЗ;
- $Kk_{maxS_1}^{ТВЭГ}(bn(x, y), x, y)$ – максимальный коэффициент неравномерности мощности ТВЭГ по сечению ТВС с координатами x - y в области реактора с I-м ДПЗ;
- $Q_{limi}(bn(x, y))$ – предельное значение линейной нагрузки на ТВЭЛ в области реактора с I-м ДПЗ при средней глубине выгорания топлива по сечению ТВС с координатами x - y в данном сечении.

Для внутренних и периферийных ТВЭЛ и для ТВЭГ в составе ТВС имеется таблица предельных линейных тепловых нагрузок на свежее топливо в семи контрольных точках по высоте активной зоны. Эти таблицы подготовлены Главным Конструктором реакторной установки. Помимо этого существуют таблицы коэффициентов коррекции линейных тепловых нагрузок на топливо в зависимости от глубины выгорания, которые представлены заводом-изготовителем топлива.

Наложение полевых ограничений по высотному распределению на распределение ограничений от глубины выгорания при знании распределения глубины выгорания по ТВЭЛ и ТВЭГ позволяет определить полевые ограничения в произвольный момент кампании. Для этого служит программный комплекс ПЕРМАК в составе СВРК.

Приведем пример разрешенной области значений аксиального офсета, полученной только по данным СВРК для той же стационарной топливной загрузки 6-го блока НВАЭС на 320 эфф. суток.

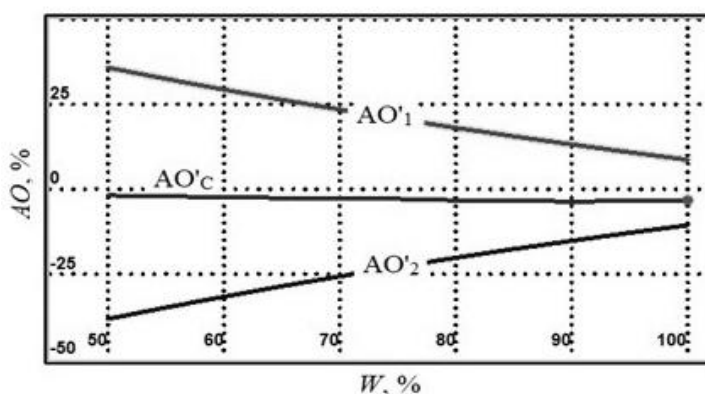


Рисунок 2 – Офсетно-мощностная фазовая диаграмма по данным СВРК. Центральная линия (AO'_c) определяет зависимость аксиального офсета от мощности при оптимальном движении управляющих групп ОР СУЗ, которое минимизирует изменения аксиального офсета от мощности [Offset-power phase diagram according to the SVRC. The central line (AO) determines the dependence of the axial offset on the power with the optimal movement of the control groups of the control system, which minimizes changes in the axial offset from the power]

Из сопоставления приведенных выше офсетно-мощностных диаграмм видно, что разрешенный коридор для значений аксиального офсета в ночном режиме по методике РНЦ «КИ» гораздо меньше коридора, полученного прямым образом по данным СВРК.

В дневном режиме разрешенные коридоры, полученные по разным методикам, сопоставимы. Конечно, штатный подход, основанный на обеспечении двух ограничений по топливу, является более верным, и поэтому исследование различных алгоритмов управления должно строиться на данном подходе.

Помимо использования офсетно-мощностной диаграммы для контроля безопасной эксплуатации нужно обеспечить не превышение указанных ниже параметров предельно допустимых значений:

T_{cl} – температура наружной поверхности оболочки твэла, °C;

T_{fuel} – температура топлива в центре топливной таблетки, °C;

$Q_{1\text{твэл}}$ – линейная тепловая нагрузка на твэл, Вт/см;

DNBR – коэффициент запаса до кризиса теплообмена на поверхности твэла, равен отношению критического теплового потока к текущему потоку в контрольной точке активной зоны. Критический тепловой поток определяет начало кризиса теплообмена.

Для обеспечения нормальной эксплуатации активной зоны, в первую очередь, должны выполняться следующие неравенства:

$$\max(T_{cl}) - (T_{\text{н}}(P-1K)+2) < 0$$

$T_{\text{н}}(P-1K)$ – температура насыщенной воды при давлении теплоносителя в 1ом контуре,

$$\max(Q_{1\text{твэл}} - 0.95Q_{1\text{твэл}lim}) < 0 \text{ - по всем контрольным точкам зоны,}$$

$$\min(DNBR) > 1.35 \text{ - по всем контрольным точкам зоны.}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчетные исследования проводились по п/к ПРОСТОР [4-5]. Программный комплекс «ПРОСТОР» является программным ядром моделей 1-го контура в составе ПМТ 2, 3, 4 энергоблоков Калининской АЭС и 3 и 4 энергоблоков Ростовской АЭС, также ПРОСТОР используется в составе анализатора режимов реакторной установки с реактором ВВЭР в ЯФЛ Калининской АЭС и в УТП НВАЭС.

Комплекс ПРОСТОР прошел верификацию по многим экспериментальным и расчетным данным АЭС при выполнении программ приемо-сдаточных испытаний указанных ПМТ и анализаторов. Результаты верификации модели РУ в полном объеме находятся в аттестационных материалах РОСТЕХНАДЗРА. Что касается погрешностей расчета основных нейтронно-физических и тепло-гидравлических характеристик активной зоны, то можно утверждать, что они не превышают погрешностей расчета по программам «БИПР-7А», «NOSTRA» и «ИР».

При формировании алгоритмов управления суточных режимов с целью минимизации затрат водообмена необходимо использовать максимальным образом температурное регулирование [6-8] и заметное изменение положений управляющих групп. Изменение положения ОР СУЗ в ночном и дневном режимах определяется офсетно-мощностной диаграммой. Главным образом, положения групп ОР существенно меняется при переходе из дневного режима в ночной режим.

При использовании разрешенного коридора значений офсета по штатной методике 12 группу нужно погружать гораздо ниже 50% извлечения (15%-30%), а 11 группу погружать можно лишь незначительно, примерно до 80-90% извлечения. В этом случае перестройка нейтронных полей по объему активной зоны происходит таким

образом, что величина аксиального офсета увеличивается при погружении 12 группы ниже 50%. Это позволяет вписать значения офсета в ночном режиме в разрешенную область, полученную по методике РНЦ «КИ».

В случае использования офсетно-мощностной диаграммы, полученной по прямым данным СВРК, когда коридор разрешенных значений становится заметно больше, можно использовать другое перемещение групп ОР СУЗ. Рабочая группа погружается не ниже 35%, а 11 группа может при этом погрузиться до 60-70%. Такое расположение групп в ночном режиме приводит к пропорциональной зависимости значений офсета от положения управляющих групп, что облегчает управление офсетом нейтронной мощности.

При этом независимо от стратегии движения ОР СУЗ при разгрузке энергоблока и в течение всего ночного режима, основные принципы минимизации водообмена остаются одними и теми же. Суть их в следующем. При снижении мощности от номинального значения до ночного значения изменяется давление 2-го контура от текущего значения до максимально возможного. Такое изменение происходит в действительности, так как регулирующие клапаны на турбине прикрываются и увеличивают давление перед ними. Это приводит к повышению температуры теплоносителя в 1-ом контуре пропорционально изменению давления. Верхняя граница изменения давления при численном моделировании по п/к ПРОСТОР принималась равной для блоков с ВВЭР-1200 равной 6.99МПа. После разгрузки блока до нужного значения мощности в ночном режиме включается АРМ, начинается отравление ксеноном, и этот процесс вначале можно компенсировать обратным максимально возможным снижением давления до нижней границы, равной 6.60МПа. Возможность такого изменения давления остается открытым, но предположим, что это возможно. При исчерпании такого изменения давления включается водообмен и подается чистая вода для компенсации отрицательной реактивности от нестационарного отравления ксеноном. При восстановлении баланса между ксеноном, йодом и числом делений в топливе начинается повышение реактивности, и можно опять перейти на температурное регулирование за счет давления 2-го контура, но в этом случае давление будет увеличиваться.

Теперь рассмотрим, что происходит при переходе из ночного режима в дневной режим. При выходе на номинальную мощность после извлечения управляющих групп (11 группа на ВКВ, 12 группу в положение, разрешенное офсетно-мощностной диаграммой), уменьшается давление 2-го контура до нижней границы. Данное изменение давления при повышении мощности логично, так как клапаны на турбине приоткрываются для увеличения расхода пара на турбину, и давление перед клапанами соответственно падает. После этого, если видно, что положительная обратная связь по выжиганию ксенона не сможет вывести реактор на номинальную мощность за отведенное время, то включается водообмен. Происходит разотравление активной зоны от ксенона, и необходимо компенсировать положительную реактивность. Это происходит вначале за счет повышения давления и работы АРМ. АРМ нельзя давать погружать глубоко 12 группу, иначе реактор потеряет устойчивость по удержанию постоянного значения аксиального офсета. Поэтому работа АРМ переводится на 11 группу, у которой эффективность заметно меньше эффективности 12 группы. После исчерпания возможностей 2-контура происходит переход на водообмен. При смене процессов разотравления зоны ксеноном процессом отравления и восстановления баланса между числом делений и ксеноном можно вернуться на температурное регулирование. Возможность такого регулирования пока остается открытым, хотя диапазон изменения давления 2-го контура находится в пределах допустимого. Структуры алгоритмов управления при суточном режиме 100-50-100% показаны на

рисунках 3-4.



Рисунок 3 – Алгоритм управления реактором в ночном интервале времени для реализации суточного маневренного режима при минимизации водообмена [Algorithm for controlling the reactor in the night time interval for the realization of the daily maneuvering regime with minimization of the water exchange]

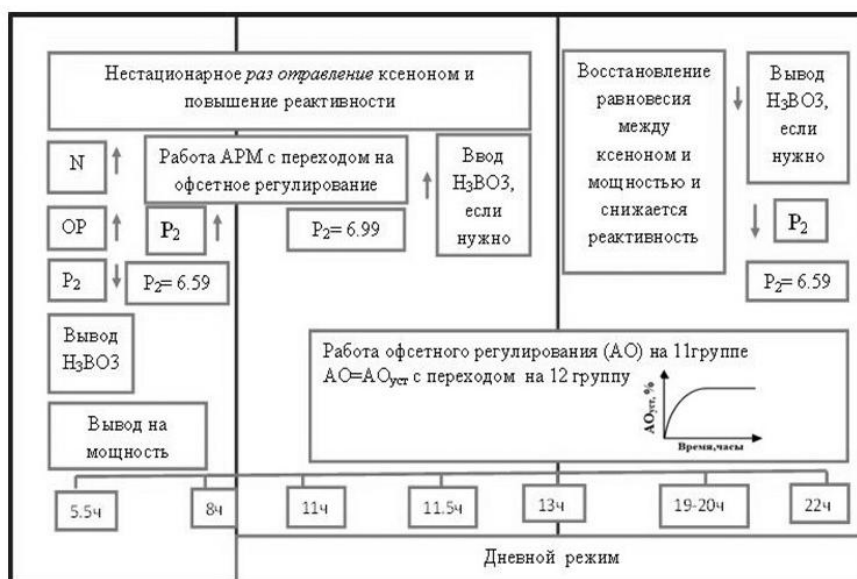


Рисунок 4 – Алгоритм управления реактором в дневном интервале времени для реализации суточного маневренного режима при минимизации водообмена [Algorithm for controlling the reactor in the day time interval for the realization of the daily maneuvering regime with minimization of the water exchange]

Поиск оптимального алгоритма управления нейтронным полем в реакторе при реализации суточного режима проводился на графике изменения тепловых нагрузок 100-50-100% номинальной мощности для различных моментов кампании стационарной топливной загрузки 6 блока НВАЭС. В качестве базового варианта управления был выбран вариант из материалов РНЦ «КИ» [9-18] для той же стационарной кампании 6 блока НВАЭС на момент кампании 300эфф. суток. Данный вариант служит отправной точкой для проведения сравнительного анализа различных рассмотренных

вариантов управления с использованием ПРОСТОР.

На рисунке 5 приведены поведение параметров активной зоны при выходе в стационарный суточный режим маневрирования для графика нагрузки 100–50–100% $W_{ном}$ в конце стационарной кампании 6 блока НВАЭС, подсчитанные по программе ИР.

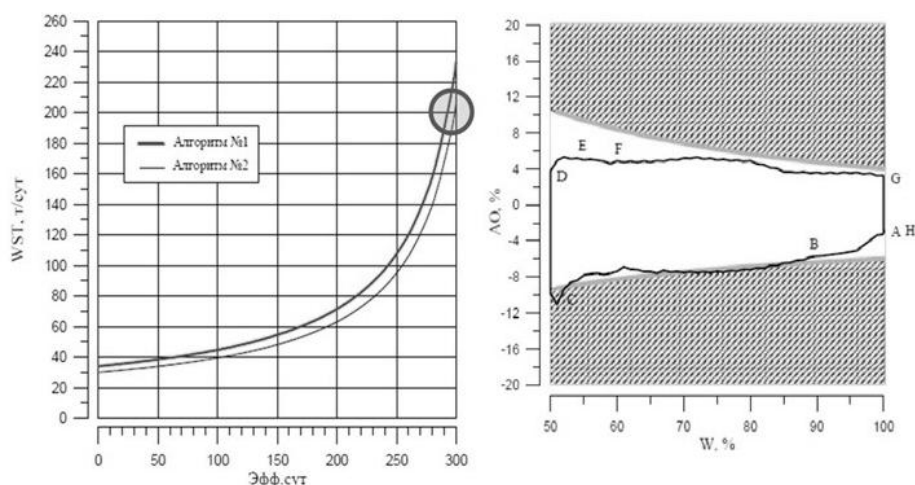


Рисунок 5 – Накопление жидких отходов при работе реактора в суточном графике нагрузки 100-50-100% для двух алгоритмов управления. Офсетно-мощностная диаграмма работы реактора в режиме суточного графика нагрузок 100-50-100% (стационарный цикл маневрирования). Алгоритм № 2. Стационарная кампания (300 эфф. сут) [Accumulation of liquid waste during reactor operation in a daily load schedule of 100-50-100% for two control algorithms. Offset-power diagram of reactor operation in the mode of daily load graph 100-50-100% (stationary maneuvering cycle). Algorithm No. 2. Stationary Campaign (300 eff. day)]

При сохранении в целом схемы оптимального алгоритма управления существуют различные схемы движения управляющих групп ОР СУЗ при переходе из дневного режима в ночной. При использовании штатного разрешенного коридора значений офсета 12 группу нужно погружать гораздо ниже 50% извлечения (15%-35% в зависимости от момента кампании), а 11 группу – необходимо погружать, примерно, в соответствии с алгоритмом движения групп ОР СУЗ в режиме ПД. В этом случае перестройка нейтронных полей по объёму активной зоны происходит таким образом, что величина аксиального офсета увеличивается при погружении 12 группы ниже 50%. И это позволяет вписать значения офсета в ночном режиме в разрешенную область, полученную по штатной методике. При этом способ движения 12 группы может быть разным. Были рассмотрены 2 алгоритма погружения 12 группы.

Первый алгоритм движения групп следующий:

12 группа погружается до 50% извлечения по высоте активной зоны очень медленно, примерно в течение одного часа с дополнительным вводом бора для ускорения снижения мощности. Это позволяет удерживать значения аксиального офсета от больших по модулю отрицательных значений. Ниже 50% извлечения 11 и 12 группы погружаются до нижних определенных заранее границ быстро с максимально допустимой скоростью.

Второй алгоритм движения групп следующий:

12 группа быстро погружается до нижней заранее определенной границы с максимально допустимой скоростью. Затем погружается 11 группа до нижней установленной алгоритмом границы. Группы погружаются в режиме индивидуального движения без ПД. При этом происходит выход аксиального офсета за нижнюю границу разрешенного коридора по офсетно-мощностной диаграмме в течение интервала времени, порядка 1-3 минут, что разрешено Техническим Регламентом.

Ниже приведены результаты моделирования по п/к ПРОСТОР суточного режима 100-50-100% мощности при использовании наиболее оптимального варианта

управления: варианта с температурным и офсетным регулированием, которые базируются на штатной офсетно-мощностной диаграмме для 1-го варианта движения 11 и 12 групп ОР СУЗ при разгрузке энергоблока (нижние границы: 12гр.-15%, 11гр.-67%, медленное погружение с вводом бора). При этом происходит удержание фазовой траектории аксиального офсета полностью в пределах разрешенного коридора по штатной методике.

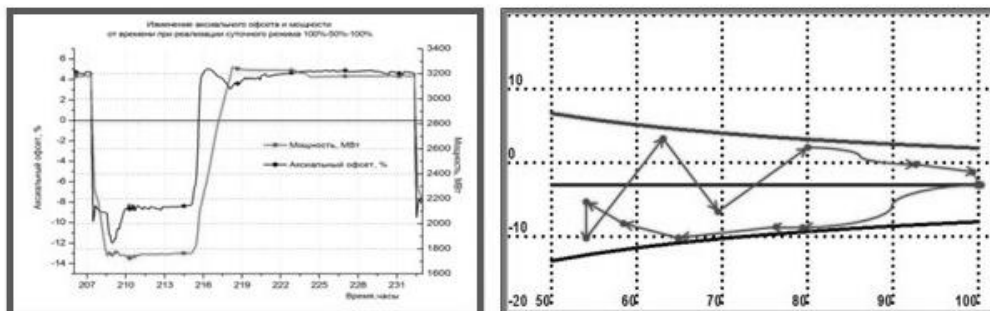


Рисунок 6 – Зависимость офсета и мощности от времени в течение суток в интервале одного из установившихся циклов для 1-го варианта перемещения 12 группы. Фазовая траектория аксиального офсета в пределах их разрешенной области, установленной офсетно-мощностной диаграммой по штатной методике для 1-го варианта [Dependence of offset and power on time during the day in the interval of one of the established cycles for the 1st variant of the movement of group 12. The phase trajectory of axial offset within their allowed area, established by the offset-power diagram according to the standard technique for the first variant]

Ниже приведены результаты моделирования по п/к ПРОСТОР суточного режима 100-50-100% мощности при использовании наиболее оптимального варианта управления: варианта с температурным и офсетным регулированием, который базируется на офсетно-мощностной диаграмме по штатной методике для 2-го варианта движения 11 и 12 групп ОР СУЗ при разгрузке энергоблока (нижние границы: 12гр.-15%, 11гр.-67%, быстрое погружение, без бора). При этом наблюдается выход фазовой траектории аксиального офсета за нижнюю границу разрешенного коридора по штатной методике в течение 1-3 минут.

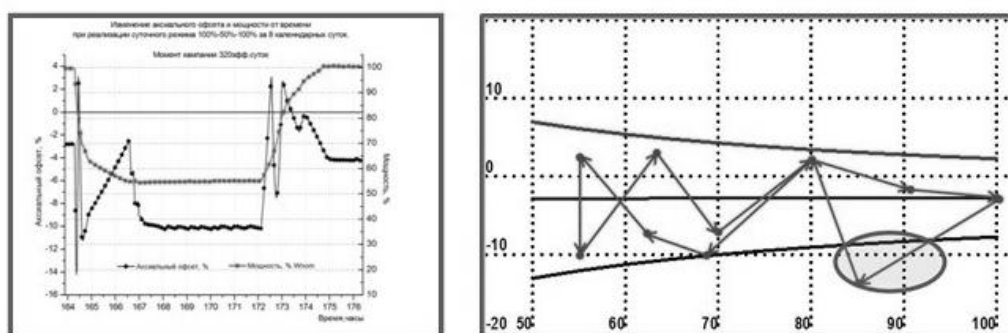


Рисунок 7 – Зависимость офсета и мощности от времени в течение суток в интервале одного из установившихся циклов для 2-го варианта перемещения 12 группы. Фазовая траектория аксиального офсета в пределах их разрешенной области, установленной офсетно-мощностной диаграммой по штатной методике для 2-го варианта [Dependence of offset and power on time during the day in the interval of one of the established cycles for the second version of the movement of group 12. The phase trajectory of the axial offset within their allowed area, established by the offset-power diagram by the standard method for the second variant]

Также был рассмотрен алгоритм управления на базе офсетно-мощностной диаграммы по данным СВРК. При этом схема движения групп ОР СУЗ – следующая:

12-ая группа погружается до 30-35%, а 11 группа до 50-60%. В этом случае

достигаются большие по модулю отрицательные значения аксиального оффсета до -25 – -35%, выходящие за пределы офсетного коридора по штатной методике.

Ниже приведены результаты моделирования суточного режима 100-50-100% мощности при использовании данного алгоритма – алгоритма №3. В этом случае фазовая траектория оффсета вне пределов разрешенного коридора по штатной методике, но в пределах разрешенного коридора по данным СВРК без учета усталостных накоплений.

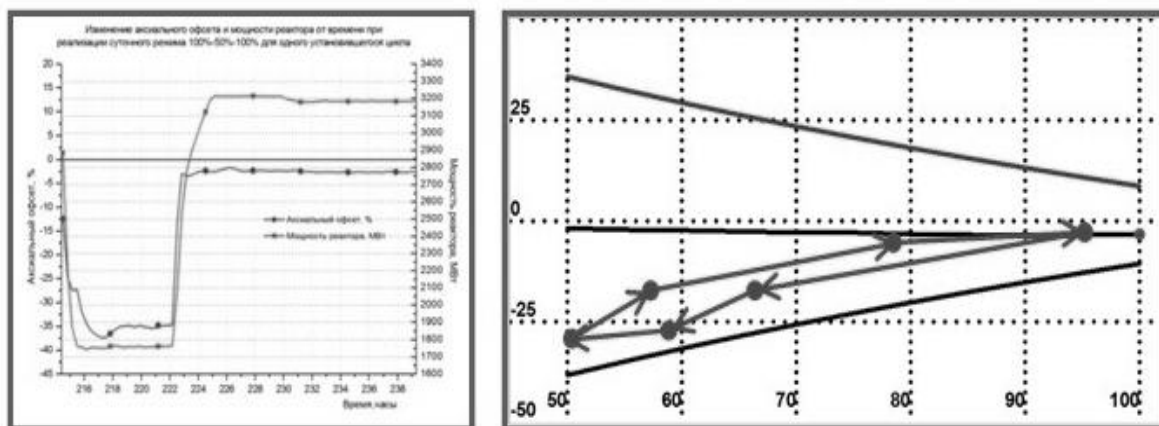


Рисунок 8 – Зависимость оффсета и мощности от времени в течение суток в интервале одного из установившихся циклов для 3-го варианта перемещения 12 групп. Фазовая траектория аксиального оффсета в пределах их разрешенной области, установленной офсетно-мощностной диаграммой по штатной методике для 3-го варианта [Dependence of offset and power on time during the day in the interval of one of the established cycles for the third variant of displacement of 12 groups. The phase trajectory of axial offset within their allowed area, established by the offset-power diagram according to the standard technique for the third variant]

Результаты проведенных исследований по 3-м рассмотренным вариантам алгоритмов движения ОР СУЗ по п/к ПРОСТОР и варианту РНЦ «КИ» по программе ИР, показывают следующие затраты по водо-обмену:

- РНЦ «КИ» – момент кампании 300 эфф.суток: 200 т/сутки;
- 1 вариант – момент кампании 320 эфф.суток: 55 т/сутки;
- 2 вариант – момент кампании 320 эфф.суток: 17 т/сутки;
- 3 вариант – момент кампании 320 эфф.суток: 11 т/сутки.

Помимо приведенных результатов были получены расчетные данные для нескольких моментов 8-ой кампании: 90 эфф.суток, 170 эфф.суток, 245 эфф.суток, 320 эфф.суток. Для каждого момента кампании расчёты проводились в течение 10 календарных суток. В течение этих суток были оценены среднесуточные затраты воды за это время. На основе этих данных была построена зависимость затрат воды от времени работы топливной загрузки. Конечно, для всех этих моментов кампании были выполнены все требования по безопасной эксплуатации активной зоны при реализации суточного режима 100-50-100%.

На рисунке 9 приведена зависимость затрат воды от времени при работе блока на постоянной мощности (суммарные затраты воды в этом случае минимальны) и при маневрировании мощностью для разных вариантов управления.

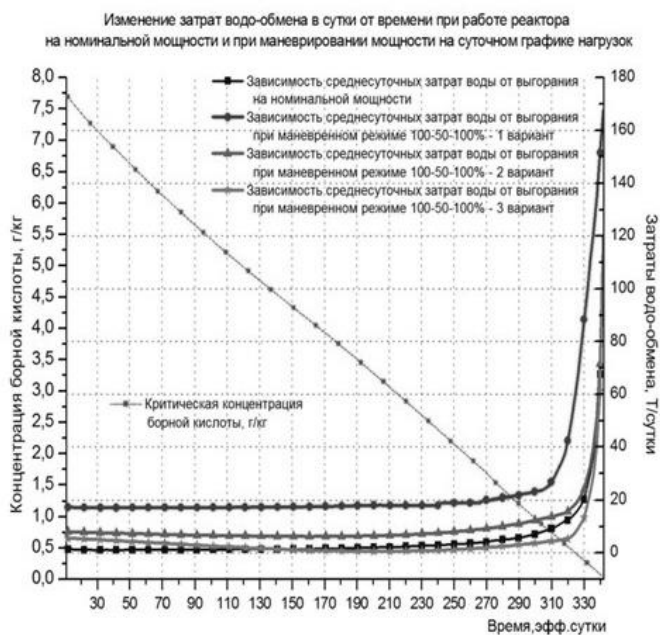


Рисунок 9 – Зависимость среднесуточных затрат воды от времени работы топливной загрузки на постоянной мощности и в режиме суточного маневрирования мощностью [Dependence of the average daily water consumption on the time of operation of the fuel load at constant power and in the mode of daily maneuvering with power]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сказать, что оптимизация управления суточным режимом с глубоким погружением 12 группы и большим участием температурного регулирования приводит к существенной экономии водообмена. Причем, при использовании офсетно-мощностной диаграммы по прямым данным СВРК алгоритм управления можно построить гораздо легче, и затраты воды оказываются заметно меньшими, чем в случае использования офсетно-мощностной диаграммы по методике РНЦ «КИ». Однако такой способ регулирования возможен только для разовых случаев.

И ещё необходимо обратить внимание на то, что при указанных стратегиях управления остается открытым вопрос о возможности изменения давления второго контура в указанном диапазоне. Поэтому следующим шагом в проведении дальнейших исследований оптимальных алгоритмов управления суточным режимом является проверка возможности синхронизации работы регуляторов 2-го контура с используемым изменением давления во 2-ом контуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянова, С.П.* Метод офсет-мощностной фазовой диаграммы для управления энерговыделением реактора [Текст] / С.П. Аверьянова, Н.С. Вохмянина, Д.А. Злобин, П.Е. Филимонов, В.И. Кузнецов, В.Б. Лаговский // Атомная энергия. – 2016. – Т. 121, № 3. – С. 123-127.
2. *Аверьянова, С.П.* Контроль локальной линейной мощности твэлов в активной зоне ВВЭР-1000 с помощью офсет-мощностной диаграммы [Текст] / С.П. Аверьянова, Г.Л. Лунин, В.Н. Проселков [и др.] // Атомная энергия. – 2002. – Т.93, №1. – С. 13-18.
3. *Филимонов, П.Е.* Управление энергораспределением ВВЭР с помощью офсет-офсетной диаграммы [Текст] / П.Е. Филимонов // Атомная энергия. – 1992. – Т. 73, № 3. – С. 175-179.
4. *Выговский, С.Б.* Опыт использования программного комплекса «ПРОСТОР» в расчетной

- поддержке эксплуатации КЛН АЭС и перспективы его дальнейшего применения на АЭС с ВВЭР-1000 [Текст] / С.Б. Выговский [и др.] // Сборник материалов 14-й ежегодной конференции ЯО России «Научное обеспечение безопасного использования ядерных энергетических технологий». – 2003. – С. 121-123.
5. Приложение к аттестационному паспорту №182 от 28.10.2004 г. Программный комплекс ПРОСТОР (версия 1) [Текст] / С.Б. Выговский, В.Г. Зимин, Е.В. Чернов. – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, 2004. – 8 с.
 6. *Аверьянова, С.П.* Температурное регулирование и маневренность ВВЭР-1000 [Текст] / С.П. Аверьянова, А.А. Дубов, К.Б. Косоуров, П.Е. Филимонов // Атомная энергия. – 2010. – Т. 109, № 6. – С. 198-202.
 7. *Беденко, С.В.* Основы управления нейтронным полем в ядерном реакторе [Текст] / С.В. Беденко, В.Н. Нестеров, И.В. Шаманин. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 176 с.
 8. *Игнатенко, Е.И.* Маневренность реакторов типа ВВЭР [Текст] / Е.И. Игнатенко, Ю.Н. Пыткин. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 88 с.
 9. Разработка технического проекта РУ АЭС-2006, обоснование ядерной и радиационной безопасности в соответствии с техническим заданием № 392М-ТЗ-001, разработка материалов для включения в ПООБ для энергоблоков №№ 1, 2 (НВАЭС-2 и ЛАЭС-2), а также материалов для включения в проект АЭС (НВАЭС-2, ЛАЭС-2). Отчет о научно-исследовательской работе «Курчатовский институт» [Текст] / рук. К.Б. Косоуров, исполн.: В.И. Паплов, С.П. Аверьянова, С.С. Алешин [и др.] – Москва, 2010. – Инв.№ 32/1-79-310. – С. 324-378.
 10. *Аверьянова, С.П.* Испытание усовершенствованных алгоритмов управления энерговыделением ВВЭР-1000 в условиях маневренных режимов на Тяньваньской АЭС (Китай) [Текст] / С.П. Аверьянова, К.Б. Косоуров [и др.] // Атомная энергия. – 2007. – Т. 103, № 5. – С. 277-282.
 11. *Аверьянова, С.П.* Внедрение усовершенствованных алгоритмов управления энерговыделением активной зоны ВВЭР-1000 на Хмельницкой АЭС [Текст] / С.П. Аверьянова, Ю.М. Семченков [и др.] // Атомная энергия. – 2005. – Т. 98, № 6. – С. 414-421.
 12. *Аверьянова, С. П.* Работа ВВЭР-1200/130 в суточном графике нагрузки [Текст] / С.П. Аверьянова, К.Б. Косоуров [и др.] // Атомная энергия. – 2012. – Т. 113, № 5. – С. 247-252.
 13. *Поваров, В.П.* Предупреждение и подавление аксиальных ксеноновых колебаний в активной зоне ВВЭР-1000 [Текст] / В.П. Поваров, О.В. Лебедев, В.В. Макеев [и др.] // Теплоэнергетика. – 2003. – Т.5. – С. 11-15.
 14. *Филимонов, П.Е.* Подавление аксиальных колебаний энергораспределения ВВЭР-1000 без органов регулирования половинной длины [Текст] / П.Е. Филимонов, Ю.А. Крайнов // Атомная энергия. – 1995. – Т. 78, № 5. – С. 388-589.
 15. *Филимонов, П.Е.* Поддержание равновесного офсета – эффективный способ подавления ксеноновых колебаний в ВВЭР-1000 [Текст] / П.Е. Филимонов, С.П. Аверьянова // Атомная энергия. – 2001. – Т.90, №3. С. 231-233.
 16. *Филимонов, П.Е.* Испытания маневренности ВВЭР-1000 на 5-м блоке Запорожской АЭС [Текст] / П.Е. Филимонов, С.П. Аверьянова, С.Г. Олейник [и др.] // Атомная энергия. – 1998. Т. 85, № 5. – С. 364-367.
 17. *Максимов, М.В.* Управление аксиальным офсетом ядерного реактора при маневрировании мощностью [Текст] / М.В. Максимов, К.В. Беглов, Н.Ф. Каназирский // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2015. – Т. 7, № 1. – С. 54-61.
 18. *Никольский, М.В.* Аксиальный офсет как мера устойчивости легководного ядерного реактора при суточном маневре мощностью [Текст] / М.В. Никольский // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2014. – Т. 6, № 4. – С. 65-72.

REFERENCES

- [1] *Aver'yanova S.P., Vohmyanina N.S., Zlobin D.A., Filimonov P.E., Kuznecov V.I., Lagovskij V.B.* Metod ofset-moshchnostnoj fazovoj diagrammy dlya upravleniya ehnergovydeleniem reaktora [Offset-Power Phase Diagram Method to Control the Energy Release of the Reactor]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 2016. T. 121. № 3. P. 123-127 (in Russian).

- [2] Aver'yanova S.P., Lunin G.L., Proselkov V.N. Kontrol' lokal'noj linejnoy moshchnosti tvehlov v aktivnoj zone VVEHR-1000 s pomoshch'yu ofset-moshchnostnoj diagrammy [Control of Local Linear Power of Fuel Rods in the WWER-1000 Core Using Offset Power Diagram]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 2002. T. 93. № 1. P. 13-18 (in Russian).
- [3] Filimonov P.E. Upravlenie ehnergoraspredeleniem VVEHR s pomoshch'yu ofset-ofsetnoj diagrammy [VVER Power Distribution Control Using Offset-Offset Diagram]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 1992. T. 73. № 3. P. 175-179 (in Russian).
- [4] Vygovskij S.B. Opyt ispol'zovaniya programmnoy kompleksa «PROSTOR» v raschetnoj podderzhke ehkspluatsatsii Kln AEHS i perspektivy ego dal'neyshego primeneniya na AEHS s VVEHR-1000 [Experience in Using the Software Complex "PROSTOR" in the Calculation Support of Operation for KLN NPP and the Prospects of its Further Application at NPP with WWER-1000]. Sbornik materialov 14-j ezhegodnoj konferencii YAO Rossii «Nauchnoe obespechenie bezopasnogo ispol'zovaniya yadernykh ehnergeticheskikh tekhnologiy» [Collection of materials of the 14th annual conference of nuclear weapons of Russia "Scientific Provision of Safe Use of Nuclear Energy Technologies"]. 2003. P. 121-123 (in Russian).
- [5] Vygovskij S.B., Zimin V.G., Chernov E.V. Prilozhenie k attestacionnomu pasportu №182 ot 28.10.2004g. Programmnyy kompleks PROSTOR (versiya 1) [Application to the Attestation Manual of the program complex PROSTOR (version.1). №182 from 28.10.2004]. Nacional'nyj issledovatel'skiy yadernyj universitet «MIFI» [National Research Nuclear University "MEPhI"]. Moscow. 2004. 8 p. (in Russian).
- [6] Aver'yanova S.P., Dubov A.A., Kosourov K.B., Filimonov P.E. Temperaturnoe regulirovanie i manevrennost' VVEHR-1000 [Temperature regulation and maneuverability of VVER-1000]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 2010. T. 109. № 6. P. 198-202 (in Russian).
- [7] Bedenko S.V., Nesterov V.N., SHamanin I.V. Osnovy upravleniya nejtronnym polem v yadernom reaktore [Basics of neutron field control in nuclear reactors]. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Publishing house of Tomsk Polytechnic University]. 2009. 176 p. (in Russian).
- [8] Ignatenko E.I., Pytkin Y.N. Manevrennost' reaktorov tipa VVER [The maneuverability of the WWER reactors]. Moscow. Energoatomizdat. 1985. 88 p. (in Russian).
- [9] K.B. Kosourov, ispoln. [performers] : V.I. Paplov, S.P. Aver'yanova, S.S. Aleshin. Razrabotka tekhnicheskogo proekta RU AEHS-2006, obosnovanie yadernoj i radiacionnoj bezopasnosti v sootvetstvii s tekhnicheskimi zadaniyami № 392M-TZ-001, razrabotka materialov dlya vklyucheniya v POOB dlya ehnergoblokov №№ 1, 2 (NVAEHS-2 i LAEHS-2), a takzhe materialov dlya vklyucheniya v proekt AEHS (NVAEHS-2, LAEHS-2) [Development of Technical Project of NPP-2006, Justification of Nuclear and Radiation Safety in Accordance with Technical Specification № 392M-TZ-001, Development of Materials for Inclusion in PSU for Power Units №№ 1, 2 (NVNPP-2 and LAES-2), as well as Materials for Inclusion in the NPP Project (NVNPP-2, LAES-2)]. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Kurchatovskij institut» [Research Work Report of "Kurchatov Institute"]. Moscow. 2010. Inv. № 32/1-79-310. P. 324-378 (in Russian).
- [10] Aver'yanova S.P., Kosourov K.B., Semchenkov Y.M., Filimonov P.E., Hajtao Lyu, Jou Li. Ispytanie usovershenstvovannykh algoritmov upravleniya ehnergovydeleniem VVEHR-1000 v usloviyakh manevrennykh rezhimov na Tyan'van'skoj AEHS (Kitaj) [Testing of advanced algorithms for controlling the energy release of VVER-1000 in conditions of maneuvering regimes at Tianwan NPP (China)]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 2007. T. 103. № 5. P. 277-282 (in Russian).
- [11] Aver'yanova S.P., Semchenkov Y.M., Filimonov P. E., Gorohov A.K., Molchanov V.L., Korennoj A.A., Makeev V.P. Vnedrenie usovershenstvovannykh algoritmov upravleniya ehnergovydeleniem aktivnoj zony VVEHR-1000 na Hmel'nickoj AEHS [Adoption of Improved Algorithms for Controlling the Power Release in the WWER-1000 Core at Khmel'nitsky NPP]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 2005. T. 98. № 6. P. 414-421 (in Russian).
- [12] Aver'yanova S.P., Dubov A.A., Kosourov K.B., Semchenkov Y.M., Filimonov P.E. Rabota VVEHR-1200/1300 v sutochnom grafike nagruzki [WWER-1200/1300 Operation in a Daily Load Schedule]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 2012. T. 113. № 5. P. 247-252 (in Russian).
- [13] V. P. Povarov, O. V. Lebedev, V. V. Makeev. Preduprezhdenie i podavlenie aksial'nykh ksenonovykh kolebanij v aktivnoj zone VVEHR-1000 [Prevention and Suppression of Axial Xenon Oscillations in the WWER-1000 Core]. Teploehnergetika [Heat Power Engineering]. 2003. T. 5. P. 11-15 (in Russian).
- [14] Filimonov P.E., Krajnov YU.A. Podavlenie aksial'nykh kolebanij ehnergoraspredeleniya VVEHR-1000 bez organov regulirovaniya polovinnoy dliny [Suppressing Axial Oscillations of the Energy Distribution in a WWER-1000 Reactor without Half-Length Control Rods]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 1995. T. 78. № 5. P. 388-589 (in Russian).
- [15] Filimonov P.E., Aver'yanova S.P. Podderzhanie ravновесного ofseta – ehffektivnyj sposob

- podavleniya ksenonovyh kolebanij v VVEHR-1000 [Maintaining an Equilibrium Offset as an Effective Method for Suppressing Xenon Oscillations in WWER-1000]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 2001. T. 90. № 3. P. 231-233 (in Russian).
- [16] Filimonov P.E., Aver'yanova S.P., Olejnik S.G. Ispytaniya manevrennosti VVEHP-1000 na 5-m bloke Zaporozhskoj AEHS [Tests of WWER-1000 Maneuverability on the Fifth Unit of the Zaporozhye Nuclear Power Plant]. Atomnaya ehnergiya [Atomic Energy]. 1998. T. 85. № 5. P. 364-367 (in Russian).
- [17] Maksimov M. V., Beglov K. V., Kanazirskij N. F. Upravlenie aksial'nym ofsetom yadernogo reaktora pri manevrirovanii moshchnost'yu [Control of Axial Offset in Nuclear Reactor in the Condition of Maneuvering Regimes]. Avtomatizaciya tekhnologicheskikh i biznes-processov [Automation of Technological and Business Processes]. 2015. T. 7. № 1. P. 54-61 (in Russian).
- [18] Nikol'skij M. V. Aksial'nyj ofset kak mera ustojchivosti legkovodnogo yadernogo reaktora pri sutochnom manevre moshchnost'yu [Axial Offset as Measure of Stability of Light Water Nuclear Reactor in the Condition of Maneuvering Regimes]. Avtomatizaciya tekhnologicheskikh i biznes-processov [Automation of Technological and Business Processes]. 2014. T. 6. № 4. P. 65-72 (in Russian).

Optimization of Control Algorithms of NPP with WWER-1200 to Minimize First Circuit Water Exchange in the Implementation of Daily Maneuvering (Load Following) Modes

S.B. Vygovskiy¹, R.T. Al Malkawi², A.G. Khachatryan³, Sh.H. Abrahamyan⁴

National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409

¹ ORCID iD: 0000-0002-9995-1222

WoS Researcher ID: P-5608-2018

e-mail: vigovskii@mail.ru

² ORCID iD: 0000-0003-4458-7264

WoS Researcher ID: P-5338-2018

e-mail: rashdanmalkawi@gmail.com

³ ORCID iD: 0000-0002-1785-5342

WoS Researcher ID: P-5318-2018

e-mail: artsrn-khachatryan@mail.ru

⁴ ORCID iD: 0000-0002-9564-230X

WoS Researcher ID: P-5529-2018

e-mail: Shavarsh.abrahamyan1993@gmail.com

Abstract – In this paper we present the results of numerical studies of control algorithms for the spatial distribution of the neutron field in the reactor core of WWER-1200 in the implementation of daily maneuvering regimes at NPPs with WWER-1200. The possibility of automated control of axial offset is demonstrated using one of the control groups with the aim of removing the psychological stress on operational personnel at nuclear power plants in maneuvering regimes. At the same time there is an additional minimization of water exchange while saving all nuclear safety parameters in the reactor core. The research is carried out on the basis of the PROSTOR software complex, which currently used in the Novo-Voronezh NPP to conduct training sessions with operational personnel of nuclear power plants and their training in optimal control algorithms for the power unit in maneuvering regimes. The methodology of adjustment of parameters of offset regulation depending on the neutron-physical characteristics of the core is proposed. The relevance of the conducted researches is related to the fact that for the NNPP-2 and LNPP-2 according to the NPP-2006 project in Russia it is planned to test the daily operating modes of the NPP with the power maneuvering in a wide range of their values. Verification of the operation of power units in such modes and their reliability will improve the competitive ability of NPP equipment with WWER abroad.

Keywords: WWER-1200, offset-power phase diagram, axial offset (AO), automated power controller (APC), control algorithm, water exchange.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.039.51

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕАКТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ТВЕРДЫХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ТОЧЕЧНОГО РЕАКТОРА

© 2018 В.К. Семенов, М.А. Вольман

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, Иваново, Россия

На основе сравнения результатов решения прямой и обратной задачи динамики точечного ядерного реактора произведена оценка точности методики определения коэффициентов реактивности и эффективности твердых поглотителей, апробированной на полномасштабном компьютерном имитаторе энергоблока с реактором ВВЭР-1000. Показано, что оптимизационный метод решения обратной задачи динамики реактора обладает хорошей точностью.

Ключевые слова: эффекты и коэффициенты реактивности, обращенные решения, динамика реактора, численные эксперименты, точечный реактор, метод оптимизации.

Поступила в редакцию 25.06.2018 г.

В процессе эксплуатации ядерного реактора производится экспериментальное уточнение его нейтронно-физических характеристик, в частности, коэффициентов реактивности и эффективности групп твердых поглотителей. Эксперименты проводятся на основе стандартной методики, суть которой состоит в следующем [1, 2]. При постоянном отравлении реактора ксеноном и самарием и неизменной концентрации борной кислоты изменение реактивности реактора при малых возмущениях определяется выражением:

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right) \Delta T_{\text{в}} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)_{\text{АЗ}} \Delta N + \left(\frac{\partial \rho}{\partial p_1}\right) \Delta p_1 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial H}\right) \Delta H = 0. \quad (1)$$

где $\frac{\partial \rho}{\partial T} = \frac{\partial \rho}{\partial T_{\text{в}}} + \frac{\partial \rho}{\partial T_{\text{у}}}$ – суммарный температурный коэффициент реактивности по

температуре топлива $T_{\text{в}}$ и теплоносителя $T_{\text{у}}$;

$\left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)_{\text{АЗ}} = \frac{\partial \rho}{\partial T_{\text{у}}} \frac{1}{kF}$ – мощностной коэффициент реактивности при постоянной

температуре теплоносителя в активной зоне;

N – нейтронная мощность реактора;

k – эффективный коэффициент теплопередачи от топлива к теплоносителю;

F – эффективная поверхность теплообмена;

$\frac{\partial \rho}{\partial p_1}$ – барометрический коэффициент реактивности;

p_1 – давление теплоносителя в первом контуре;

$\frac{\partial \rho}{\partial H}$ – дифференциальная эффективность группы органов регулирования;

H – положение регулирующей группы.

Рассматриваются отдельно возмущение реактора изменением температуры теплоносителя на входе в реактор ΔT_v при постоянных p_1 и H , возмущение изменением давления в первом контуре при неизменном положении регулирующей группы и возмущение изменением положения регулирующей группы при постоянстве давления в первом контуре. В результате получается система трех уравнений с четырьмя неизвестными. Для замыкания системы уравнений выполняется отдельный эксперимент по определению коэффициента $\frac{\partial \rho}{\partial H}$. Осуществить указанные эксперименты при варьировании одних параметров и поддержании других неизменными весьма непросто.

Нами предлагается другая методика определения вышеназванных характеристик, основанная на решении обратной задачи динамики реактора методом оптимизации. [3, 4] Решение обратной задачи динамики реактора позволяет найти входные параметры модели по имеющимся выходным динамическим характеристикам, полученным экспериментально. Примером успешной реализации подобного подхода является известное обращенное решение уравнений кинетики реактора, позволяющее построить реактиметр – прибор, с помощью которого рассчитывается реактивность реактора. Эту математическую модель с определенными мерами и ограничениями удалось применить к реальному объекту [5–7]. Обращенное решение уравнений кинетики нашло применение и в расчётах эффективности аварийной защиты реакторов ВВЭР-1000 [8].

Оценку точности метода проведем на основе численного эксперимента, основанного на решении прямой задачи с известными коэффициентами реактивности и известным законом возмущения реактора по реактивности. На основе полученных решений методом оптимизации решим обратную задачу по нахождению значений введенной реактивности и коэффициентов реактивности. Сравнение полученных значений с входными параметрами этих величин, заданными в прямой задаче, позволит оценить точность предлагаемой методики.

В качестве объекта моделирования будем иметь в виду реактор ВВЭР-1000. Для реактора с сосредоточенными параметрами (точечный реактор) математическая модель может быть представлена следующей системой нелинейных жестких дифференциальных уравнений [5]:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\delta \rho(t) + \alpha_1 (T_u - T_u(0)) + \alpha_2 (T_v - T_v(0)) - \beta}{\tau_m} N + \sum_{j=1}^6 \lambda_j N_j, \quad (2)$$

$$\frac{dN_j}{dt} = \frac{\beta_j}{\tau_m} N - \lambda_j N_j, \quad j = 1, \dots, 6, \quad (3)$$

$$m_u C_u \frac{dT_u}{dt} = N - kF(T_u - T_v), \quad (4)$$

$$m_v C_v \frac{dT_v}{dt} = kF(T_u - T_v) - \gamma_v C_v G(T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}). \quad (5)$$

где N – нейтронная мощность реактора;

N_j – мощность, вносимая j -ой группой запаздывающих нейтронов ($j = 1, \dots, 6$);

β_j и λ_j – соответственно доля запаздывающих нейтронов и постоянная времени распада ядер-предшественников j -ой группы;

$\beta = \sum_j \beta_j$ – суммарная доля запаздывающих нейтронов;

τ_m – приведенное время жизни одного поколения мгновенных нейтронов;
 m_u и c_u – соответственно масса и удельная теплоемкость топливной загрузки;
 k, F, T_u – соответственно коэффициент теплоотдачи, поверхность теплоотдачи и температура топлива;
 $T_b, T_{\text{вых}}$ и $T_{\text{вх}}$ – соответственно средняя температура теплоносителя, температура на выходе и входе в реактор;
 γ_b, C_b, G – соответственно плотность, удельная теплоемкость теплоносителя при постоянном давлении и расход теплоносителя;
 $\delta\rho(t)$ – внешнее возмущение реактора по реактивности;
 α_1 и α_2 – соответственно температурные коэффициенты реактивности по температуре топлива и теплоносителя.

Поскольку уравнения записаны для точечного реактора, то, тем самым, предполагается, что за время переходного процесса пространственное распределение нейтронного поля реактора не успевает заметно измениться. Во-вторых, также считается, что за время протекания вышеназванных процессов не изменяются концентрация борной кислоты и отравление реактора ксеноном и самарием. В последнем уравнении необходимо указать связь между указанными тремя температурами теплоносителя. Как показал проведенный нами анализ, с достаточной степенью точности можно воспользоваться соотношением [9]:

$$T_b = \frac{T_{\text{вых}} + T_{\text{вх}}}{2}. \quad (6)$$

Дополняя уравнения (2–6) соответствующими начальными условиями:

$$N = N_0, N_j = \frac{\beta_j N_0}{\tau \lambda_j}, T_u = T_u(0), T_b(0), T_{\text{вх}} = T_{\text{вх}}(0) \text{ и } \delta\rho(t), \quad (7)$$

можно найти зависимости всех динамических величин от времени при заданном законе изменения реактивности реактора $\delta\rho(t)$.

В качестве примера на рисунках 1–5 приведены расчетные кривые при переводе реактора на более низкий уровень мощности за счет введения отрицательной реактивности $\delta\rho(t) = -1,21 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - \exp(-0,5t))$ за время $t_1 = 20$ с, имитирующей действие твердых поглотителей. Принятые для расчета значения коэффициентов реактивности имели следующие значения: $\alpha_1 = -1,22 \cdot 10^{-5}$ 1/К и $\alpha_2 = -1,00 \cdot 10^{-4}$ 1/К.

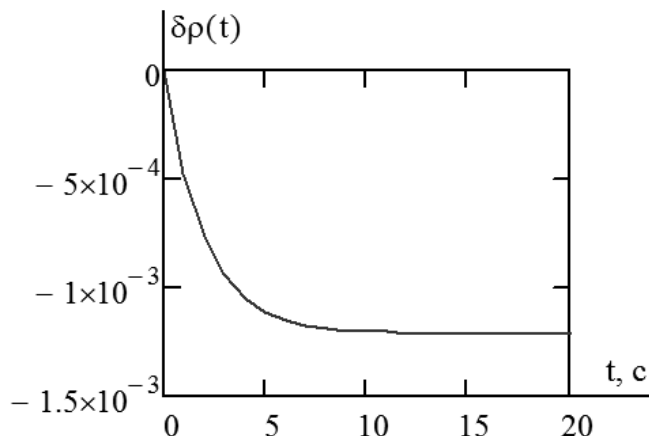


Рисунок 1 – Возмущение реактора введенной реактивностью [The perturbation of the reactor by the introduced reactivity]

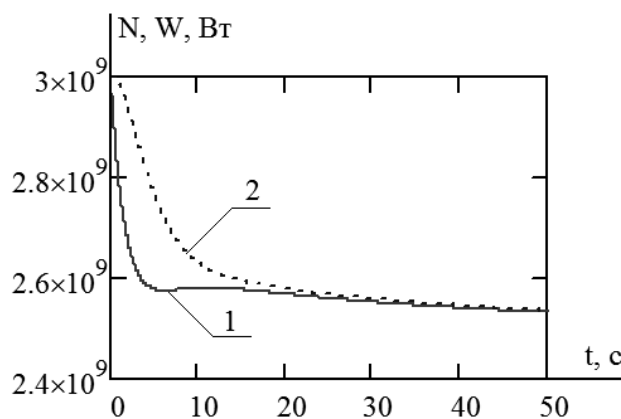


Рисунок 2 – Зависимость мощности реактора от времени на начальной стадии:
1 – нейтронная мощность; 2 – тепловая мощность [Dependence of reactor power on time at the initial stage:
1 - neutron power; 2 - thermal power]

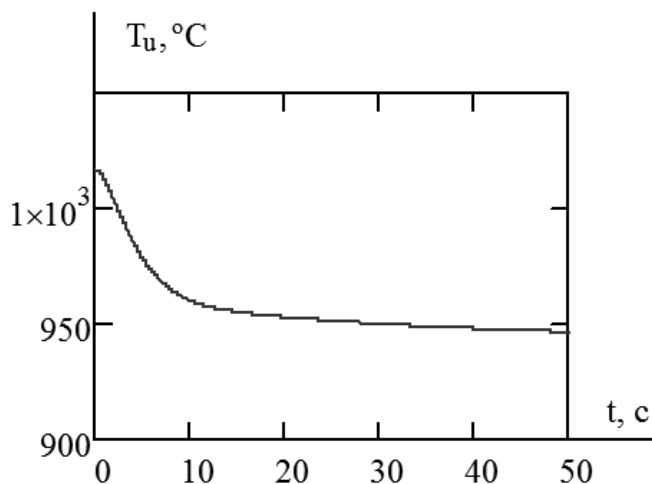


Рисунок 3 – Зависимость температуры топлива от времени на начальной стадии [Fuel temperature versus time in the initial stage]

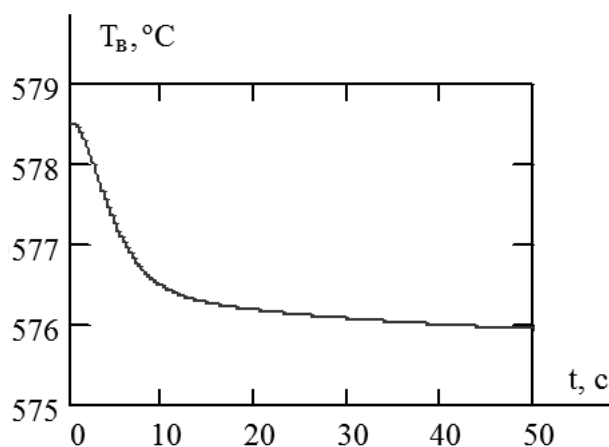


Рисунок 4 – Зависимость температуры теплоносителя от времени на начальной стадии [Temperature dependence of the coolant temperature at the initial stage]

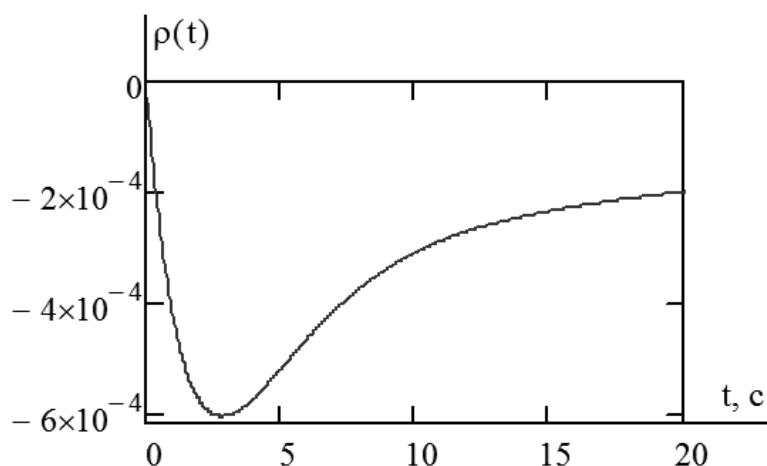


Рисунок 5 – Зависимость реактивности реактора от времени на начальной стадии процесса [Dependence of reactivity of the reactor on time at the initial stage of the process]

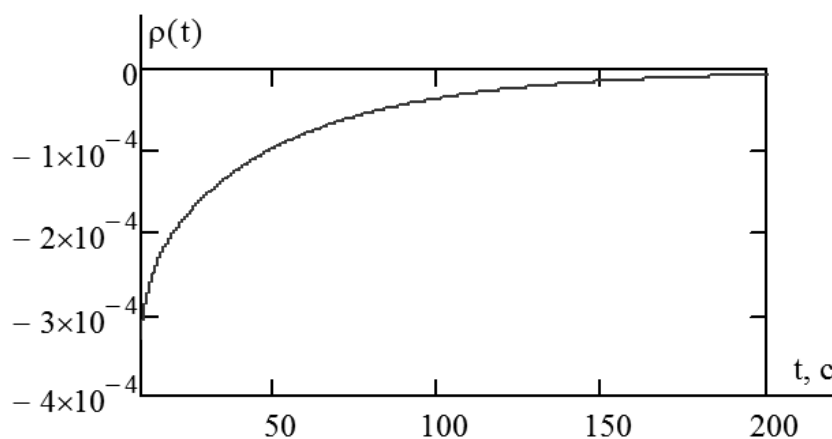


Рисунок 6 – Зависимость реактивности реактора от времени после окончания ввода возмущения [Dependence of reactivity of the reactor on time at the initial stage of the process]

Далее по полученным результатам решим обратную задачу. Вначале найдем максимальное значение введенной отрицательной реактивности. Так как реактор переводится из одного стационарного состояния в другое стационарное состояние, то введенная максимальная реактивность $\delta\rho(t_1)$ компенсируется температурными эффектами реактивности:

$$\delta\rho(t_1) = \alpha_1(T_u(0) - T_u(t_k)) + \alpha_2(T_v(0) - T_v(t_k)). \quad (8)$$

где t_k – время окончания переходного процесса, равное в нашем примере 400 с.

Зависимость полной реактивности реактора от времени, от момента t_1 до окончания переходного процесса t_k , определяется выражением:

$$\Delta\rho(t) = \alpha_1\Delta T_u(t) + \alpha_2\Delta T_v(t), \quad (9)$$

где $\Delta T_u(t) = T_u(t) - T_u(t_k)$, $\Delta T_v(t) = T_v(t) - T_v(t_k)$.

Решая задачу оптимизации, составим функционал:

$$I(\alpha_1, \alpha_2) = \int_{t_1}^{t_k} [\Delta p(t) - \alpha_1 \Delta T_u(t) - \alpha_2 \Delta T_B(t)]^2 dt, \quad (10)$$

минимизируя который по параметрам α , получим систему двух алгебраических уравнений, определяющих искомые коэффициенты реактивности:

$$\int_{t_1}^{t_k} [\Delta p(t) - \alpha_1 \Delta T_u(t) - \alpha_2 \Delta T_B(t)] \Delta T_B(t) dt = 0, \quad (11)$$

$$\int_{t_1}^{t_k} [\Delta p(t) - \alpha_1 \Delta T_u(t) - \alpha_2 \Delta T_B(t)] \Delta T_u(t) dt = 0. \quad (12)$$

Вычислив соответствующие интегралы, и решив уравнения (11) и (12), получили значения $\alpha_1 = -1,22 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ и $\alpha_2 = -1,00 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$, что полностью совпадает со входными параметрами. Подставляя найденные значения коэффициентов реактивности и рассчитанные температуры в формулу (8), получим $\delta p_{\text{макс}} = \delta p(t) = -1,209 \cdot 10^{-3}$, что также с хорошей точностью согласуется со входной реактивностью $-1,21 \cdot 10^{-3}$. Численные эксперименты, выполненные для других значений коэффициентов реактивности и значений $\delta p(t)$ также показывают хорошее согласие результатов решения прямой и обратной задачи.

Различного рода тренажеры в настоящее время нашли широчайшее применение [10–14], причем они могут использоваться не только для обучения персонала существующим методикам физических экспериментов, но и для разработки и апробации новых методик измерений до выхода на реальные объекты. Апробация предлагаемой методики выполнена на полномасштабном аналитическом тренажере атомного блока с реактором ВВЭР-1000, являющегося программным продуктом ООО «Вестерн Сервисес» [15], реализованном на персональном компьютере в программной среде 3KeyMaster и являющегося компьютерной моделью функционирования энергоблока в различных режимах в реальном времени.

При симуляции экспериментов на тренажере при отключенном автоматическом регуляторе мощности возмущение реактора проводилось регулирующей группой на фиксируемую глубину со штатной скоростью 2 см/с. Предварительно за счет борной перекомпенсации регулирующая группа выводилась на верхний конечный выключатель. В дальнейшем концентрация борной кислоты оставалась неизменной, отравление реактора ксеноном за время проведения численных экспериментов не изменялось, и для «чистоты» эксперимента рассматривалась модель неотравленного реактора. В соотношения (8) и (9) были добавлены слагаемые, учитывающие положительный барометрический эффект реактивности. В ходе переходного процесса измерялись интересующие нас временные зависимости: положение регулирующей группы нейтронная мощность, реактивность реактора, температуры теплоносителя и давление теплоносителя в первом контуре. Так как зависимость температуры топлива от времени непосредственно на эксперименте не определяется, то её можно найти из уравнения теплового баланса (4), решение которого выражается в квадратурах:

$$T_u(t) = T_u(0)e^{-\frac{t}{\tau_u}} + \frac{e^{-\frac{t}{\tau_u}}}{m_u c_u} \int_0^t N(t')e^{\frac{t'}{\tau_u}} dt' + \frac{e^{-\frac{t}{\tau_u}}}{\tau_u} \int_0^t T_B(t')e^{\frac{t'}{\tau_u}} dt'. \quad (13)$$

где $\tau_u = \frac{m_u C_u}{kF} = 3,6 \div 4,2 \text{ с}$ – характерное время теплопередачи от топлива к теплоносителю.

В остальном методика обработки результатов экспериментов оставалась в соответствии с вышеизложенным.

Таким образом, оптимизационный метод решения обратной задачи позволил за одну серию экспериментов определить коэффициенты реактивности и введенную реактивность, что позволяет для поэтапного возмущения реактора погружением твердых поглотителей построить их интегральную и дифференциальную характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД ЭО 0151-2004. Методики расчета нейтронно-физических характеристик по данным физических экспериментов на энергоблоках атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000 [Текст]. – Москва : Росэнергоатом, 2005. – 101 с.
2. РД ЭО 0150-2004. Типовые программы и методики проведения физических экспериментов на энергоблоках атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000 [Текст]. – Москва : Росэнергоатом, 2005. – 273 с.
3. *Вольман, М.А.* Имитационное моделирование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в реакторах ВВЭР-1000: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / М.А. Вольман. – Москва, 2017. – 20 с.
4. *Семенов, В.К.* Методика определения коэффициентов реактивности и эффективности групп твердых поглотителей на аналитическом тренажере энергоблока ВВЭР-1000 [Текст] / В.К. Семенов, М.А. Вольман, А.А. Беляков // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2018. – № 1. – С. 19-24.
5. *Казанский, Ю.А.* Кинетика ядерных реакторов. Коэффициенты реактивности. Введение в динамику: учебное пособие [Текст] / Ю.А. Казанский, Я.В. Слекеничс – Москва : МИФИ, 2012. – 300 с.
6. *Кошелев, А.С.* О возможности создания специализированного ОРУК-реактиметра с токовым детектором нейтронов [Текст] / А.С. Кошелев, А.В. Арапов, М.А. Овчинников // Вопросы атомной науки и техники. Серия : Физика ядерных реакторов. – 2015. – № 4. – С. 39-48.
7. *Колесов, В.Ф.* Истоки неточностей в реактивности, определяемой с помощью обращенного решения уравнений кинетики [Текст] // Вопросы атомной науки и техники. Серия : Физика ядерных реакторов. – 2013. – № 3. – С. 30-45.
8. *Зизин, М.Н.* О трактовке обращенного уравнения кинетики и пространственно-временных расчётов эффективности аварийной защиты ВВЭР-1000 [Текст] / М.Н. Зизин, Л.Д. Иванов // Вопросы атомной науки и техники. Серия : Физика ядерных реакторов. – 2012. – № 2. – С. 28-43.
9. *Семенов, В.К.* Обоснование математической модели теплообмена для реактора с сосредоточенными параметрами [Текст] / В.К. Семенов, М.А. Вольман // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 4 (17). – С. 35-42.
10. *Дугинов, О.Б.* SSL DYNCO LAB SYSTEM – Готовые решения в области обучающих тренажерных систем [Текст] / О.Б. Дугинов, А.В. Левченко, Д.С. Самохин // XIII Международная конференция «Безопасность АЭС и подготовка кадров». – Обнинск : ИАТЭ, 2013 – С. 195-198.
11. *Чернов, Е.В.* Применение компьютерных тренажеров в подготовке специалистов для ядерной энергетики [Текст] / Е.В. Чернов, С.Б. Выговский, Д.И. Макаун, В.Е. Ямный // Энергетическая Стратегия. – 2010. – № 5 (17). – С. 58-60.
12. *Лощаков, И.И.* Компьютерный тренажер «АЭС с РБМК-1000» [Текст] / И.И. Лощаков, К.М. Мазурик, Г.А. Ромахова, Г.П. Шаргин // Безопасность АЭС и подготовка кадров. X Международная конференция : Тезисы докладов (Обнинск, 1-4 октября 2007 г.). Часть 1. – Обнинск: ИАТЭ, 2007. – С. 57-58.
13. *Росляков, М.В.* Опыт внедрения тренажера оперативного моделирования аварийных ситуаций «ТОМАС-1А» в учебно-методический процесс кафедры «Атомная энергетика» УГТУ-УПИ [Текст] / М.В. Росляков, Г.П. Титов, С.Е. Щеклеин, А.И. Айзатулин, Е.Ф. Селезнев, И.П. Федоров // Перспективные энергетические технологии. Экология. Экономика, безопасность и подготовка кадров. Сбор. науч. трудов. – Екатеринбург, 2006. – С. 150.
14. *Чернаков, В.А.* Особенности современных моделирующих комплексов сложных технологических объектов (на примере анализатора режимов АЭС с ВВЭР) [Текст] / В.А. Чернаков, М.А. Осадчий // Приборы. – № 7. – 2002. – С. 12.
15. Western Services Corporation [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ws-corp.com>.

REFERENCES

- [1] RD EO 0151-2004. Metodiki rascheta neytronno-fizicheskikh kharakteristik po dannym fizicheskikh eksperimentov na energobloках atomnykh elektrostantsiy s reaktorami VVER-1000 [Calculation Methods of Neutron-Physical Characteristics According to Physical Experiments on Nuclear Power Units with WVER-1000]. Moscow: Rosenergoatom. 2005. 101 p. (in Russian).
- [2] RD EO 0150-2004. Tipovye programmy i metodiki provedeniya fizicheskikh eksperimentov na energobloках atomnykh elektrostantsiy s reaktorami VVER-1000 [Typical Programs and Methods of Physical Experiments on Nuclear Power Units with WVER-1000]. Moscow: Rosenergoatom. 2005. 273 p. (in Russian).
- [3] Volman M.A. Imitacionnoe modelirovanie neytronno-fizicheskikh i teplogidravlicheskh processov v reaktorah VVER-1000 [Simulation Modeling of Neutron-Physical and Thermal-Hydraulic Processes in WVER-1000 Reactors. Thesis Abstract of Ph. D. in Engineering]. Moscow. 2017. 20 p. (in Russian).
- [4] Semenov V.K., Volman M.A., Belyakov A.A. Metodika opredeleniya koeffitsientov reaktivnosti i effektivnosti grupp tverdykh poglotiteley na analiticheskom trenazhere energobloka VVER-1000 [Method for Determination Of Reactivity Coefficients and Efficiency of Solid Absorbers on Computer Simulator WVER-1000]. Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta [Bulletin of Ivanovo State Power University]. 2018. issue 1. P. 19-24 (in Russian).
- [5] Kazanskij Yu.A., Slemenichs Ya.V. Kinetika yadernykh reaktorov. Koeffitsienty reaktivnosti. Vvedenie v dinamiku: Uchebnoe posobie [The Coefficients of Reactivity. Introduction to Dynamics: Training Course]. Moscow: National Research Nuclear University MEPhI. 2012. 300 p. (in Russian).
- [6] Koshelev A.S., Arapov A.V., Ovchinnikov M.A. O vozmozhnosti sozdaniya spetsializirovannogo oruk-reaktimetra s tokovym detektorom neytronov [Possibility of Creation of a Specialized ORUK-Reactimeter with a Current Detector of Neutrons]. Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Fizika yadernykh reaktorov [Questions of Atomic Science and Technology. Series: Physics of Nuclear Reactors]. 2015. issue 4. P. 39-48 (in Russian).
- [7] Kolesov V.F. Istoki netochnostey v reaktivnosti, opredelyaemoy s pomoshch'yu obrashchennogo resheniya uravneniy kinetiki [Background of Uncertainties in Reactivity Determined with the Aid of Inverse Solution of Kinetics Equations]. Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Fizika yadernykh reaktorov [Questions of Atomic Science and Technology. Series: Physics of Nuclear Reactors]. 2013. issue 3. P. 30-45 (in Russian).
- [8] Zizin M.N., Ivanov L.D. O traktovke obrashchennogo uravneniya kinetiki i prostranstvenno-vremennykh raschetov effektivnosti avariynoy zashchity VVER-1000 [About Interpretation of the Inverted Equation of Kinetics and Space-Time Calculations of the VVER-1000 Reactor Scram System Effectiveness]. Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Fizika yadernykh reaktorov [Questions of Atomic Science and Technology. Series: Physics of Nuclear Reactors]. 2012. issue 2. P. 28-43 (in Russian).
- [9] Semenov V.K., Volman M.A. Obosnovanie matematicheskoy modeli teploobmena dlya reaktora s sosredotochennymi parametrami [Argumentation of Heat-Exchange Mathematical Model for Reactor with Lumped Parameters]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2015. issue 4 (17). P. 35-42 (in Russian).
- [10] Duginov O.B., Levchenko A.V., Samokhin D.S. SSL DYNCO LAB SYSTEM – Gotovye resheniya v oblasti obuchayushchikh trenazhernykh system [SSL DYNCO LAB SYSTEM - Ready-Made Solutions in the Field of Training Simulator Systems]. XIII Mezhdunarodnaya konferentsiya «Bezopasnost' AES i podgotovka kadrov» [XIII International Conference "NPP Safety and Training"]. Obninsk: IATE. 2013. P. 195-198 (in Russian).
- [11] Chernov E.V., Vygovskiy S.B., Makaun D.I., Yamnyy V.E. Primenenie komp'yuternykh trenazherov v podgotovke spetsialistov dlya yadernoy energetiki [The Use of Computer Simulators in Training Specialists for Nuclear Power]. Energeticheskaya Strategiya (Energy Strategy). 2010. issue 5 (17). P.58-60 (in Russian).
- [12] Loshchakov I.I., Mazurik K.M., Romakhova G.A., Shargin G.P. Komp'yuternyy trenazher «AES s RBMK-1000» [Computer Simulator "NPP with RBMK-1000"]. X Mezhdunarodnaya konferentsiya «Bezopasnost' AES i podgotovka kadrov» [Safety of Nuclear Power Plants and Training of Personnel. X International Conference: Abstracts]. Obninsk: IATE. 2007. P. 57-58 (in Russian).
- [13] Roslyakov M.V., Titov G.P., Shcheklein S.E., Ayzatulin A.I., Seleznev E.F., Fedorov I.P. Opyt vnedreniya trenazhera operativnogo modelirovaniya avariynykh situatsiy «TOMAS-1A» v uchebno-metodicheskiy protsess kafedry «Atomnaya energetika» UGTU-UPI [Experience in Implementing the Simulator of Operational Modeling of Emergency Situations "TOMAC-1A" in the Educational-

- Methodical Process]. Perspektivnye energeticheskie tekhnologii. Ekologiya. Ekonomika, bezopasnost' i podgotovka kadrov ["Perspective Energy Technologies. Ecology. Economics, Security and Training ". Collection of scientific papers]. Ekaterinburg. 2006. P. 150 (in Russian).
- [14] Chernakov V.A., Osadchiy M.A. Osobennosti sovremennykh modeliruyushchikh kompleksov slozhnykh tekhnologicheskikh ob"ektov (na primere analizatora rezhimov AES s VVER) [Features of Modern Modeling Complexes of Complex Technological Objects]. Priory [Devices]. 2002. issue 7. P. 12 (in Russian).
- [15] Western Services Corporation. Available at: <http://www.ws-corp.com>.

Estimation of the Accuracy of the Method of Reactivity Coefficient Identification and Solid Absorbers Efficiency Based on Reverse Problem Solution of Point Reactor Dynamics

V.K. Semenov¹, M.A. Volman²

Ivanovo State Power Engineering University, 34, Rabfakovskaya st., Ivanovo, Russia 153003

¹*ORCID iD: 0000-0001-9765-2096*

WoS Researcher ID: T-1066-2017

e-mail: Semenov_vk@mail.ru

²*ORCID iD: 0000-0001-6805-6287*

WoS Researcher ID: M-1304-201

e-mail: m_volman@mail.ru

Abstract – The estimation of the method of the reactivity coefficient determining and the absorbers efficiency is evaluated. The results of solving the direct and reverse task of the dynamics of a point reactor are compared. The technique is tested on a full-scale computer simulator of a power unit with a WVER-1000 reactor. It is shown that the optimization method for solving the inverse problem of reactor dynamics has good accuracy.

Keywords: effects and coefficients reactivity, reversed solutions, reactor dynamics, numerical experiments, point reactor, optimization method.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 528.48

**РАСЧЕТ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ КРАНОВ ГРУППЫ «Б»,
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЯХ (АЭС)**

© Ю.И. Пимшин*, В.А. Наугольнов*, Г.А. Наumenко**, И.Ю. Пимшин**

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

***Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, Ростовская обл.,
Россия*

В работе рассмотрена оценка сейсмостойкости кранов группы «Б», эксплуатируемых на блоках атомных станций (АЭС). Приведен пример расчета подвешенного пятитонного крана. Сделан вывод о его соответствии сейсмостойкости региона.

Ключевые слова: техническое состояние, краны мостового типа, сейсмостойкость, расчет параметров, напряжение.

Поступила в редакцию: 15.06.2018

Согласно действующих НП-043-11 «Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов для объектов использования атомной энергии», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 ноября 2011 г. N 672, в разделе «...II. Общие требования к кранам для объектов использования атомной энергии...» [1] даны группы классификации «...6. Краны ОИАЭ по влиянию на обеспечение ядерной и радиационной безопасности ОИАЭ классифицируются на специальные краны и общепромышленные краны.

К специальным кранам относятся:

– краны группы А – краны, перемещающие облученное ядерное топливо, высокообогащенный уран, трансурановые материалы и (или) высокоактивные радиоактивные отходы;

– краны группы Б – краны, не вошедшие в группу А и перемещающие ядерные материалы и радиоактивные вещества (в том числе радиоактивные отходы), выход которых за установленные проектом ОИАЭ границы при нарушениях нормальной эксплуатации ОИАЭ, включая проектные аварии на ОИАЭ, превышает пределы, установленные в соответствии с Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009, СП 2.6.1.2523-09), утвержденными постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. N 47 (зарегистрировано в Минюсте России 14 августа 2009 г., регистрационный номер 14534, опубликовано в "Российской газете", N 171/1, 11 сентября 2009 г.) ...». Далее в разделе «...III. Требования к специальным кранам группы Б...» приведены требования «...16. Специальные краны и их элементы при наличии максимального груза на крюке, соответствующего условиям эксплуатации крана в технологическом процессе ОИАЭ, должны быть устойчивы к внешним воздействиям природного и техногенного происхождения на ОИАЭ (включая сейсмические и ветровые нагрузки)...» [1].

«...Расчет на сейсмостойкость специального крана должен выполняться линейно-спектральным методом с использованием сейсмических спектров ответа и сейсмических коэффициентов динамичности или методом динамического анализа.

Расчет на сейсмостойкость специальных кранов группы Б с электрическими таями (однобалочных мостовых опорных и подвесных, козловых, консольных) допускается проводить статическим методом...» [1].

Для практических расчетов кранов группы Б действует «Руководящий технический материал. Оборудование атомных энергетических установок. Расчет на прочность при сейсмическом воздействии. Ртм 108.020.37-81» утвержден и введен в действие указанием Министерства энергетического машиностроения от 04.06.81 № ЮК-002/4365 [2]. В документе сказано, что «...статический метод расчета на сейсмостойкость – упрощенный метод, согласно которому распределение сейсмических нагрузок, действующих на конструкцию, принимается подобным распределению массы, а величины этих нагрузок определяются при помощи набора коэффициентов...» [2].

ТРЕБОВАНИЯ К РАСЧЕТУ

«2.1 Исходными данными для расчета на сейсмостойкость оборудования ... АЭУ являются: балльности DE и MDE и максимальные уровни ускорений расчетных акселерограмм; воздействия от DE и MDE в виде поэтажных акселерограмм и (или) обобщенных спектров ответа для мест закрепления оборудования по трем взаимно перпендикулярным направлениям (вертикального и двух горизонтальных); нагрузки или внутренние усилия при нормальных условиях эксплуатации, а в необходимых случаях при нарушении нормальных условий эксплуатации и в аварийных ситуациях.

(Здесь сокращения: MDE (МРЗ) – максимальное расчетное землетрясение; DE (ПЗ) – проектное землетрясение).

2.2 Расчет на сейсмостойкость необходимо проводить с учетом одновременного сейсмического воздействия во всех учитываемых направлениях.

2.3 Расчет на сейсмостойкость оборудования ... АЭУ проводится статическим, линейно-спектральным методами, а также методом динамического анализа ...» [3-10].

Примеры расчета оборудования АЭУ на сейсмостойкость приведены в настоящей статье ниже.

ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ

Оценку сейсмостойкости оборудования АЭУ следует выполнять по допускаемым напряжениям, допускаемым перемещениям, допускаемым нагрузкам, критериям циклической прочности и устойчивости.

При оценке сейсмостойкости по допускаемым напряжениям должны учитываться только те эксплуатационные нагрузки или внутренние усилия, которые не релаксируются при возникновении в элементах местной или общей пластической деформации (весовые нагрузки, внутреннее и наружное давление, нагрузки от присоединенных коммуникаций).

Приведенные напряжения, сопоставляемые с допускаемыми, следует определять по теории наибольших касательных напряжений.

Оценку прочности элементов оборудования АЭУ следует выполнять по допускаемым напряжениям, приведенным в таблице 1.

(ss)1 – группа приведенных общих мембранных напряжений с учетом сейсмических воздействий, МПа (кгс/мм^2);

$[s]$ – номинальное допускаемое напряжение, МПа (кгс/мм²).

При расчете оборудования на устойчивость допускаемые напряжения должны приниматься следующими:

$$[sF] = 0,7 \cdot skr \text{ при } skr < Rp0,2; \quad (1)$$

$$[sF] = 0,7 \cdot Rp0,2 \text{ при } skr > Rp0,2 \quad (2)$$

где $[sF]$ – допускаемое напряжение сжатия, МПа (кгс/мм²);

$Rp0,2$ – минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа (кгс/мм²);

skr – критическое напряжение сжатия, МПа (кгс/мм²).

Таблица 1 – Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для оборудования [Load combinations and allowable voltages for equipment]

Категория оборудования	Сочетание нагрузок	Расчетная группа категории напряжений	Допускаемое напряжение
I	NOC + MDE	(ss)1	1,4[s]
		(ss)1	1,8[s]
I	NOC + DE	(ss)1	1,2[s]
		(ss)1	1,6[s]
II	NOC + DE	(ss)1	1,5[s]
		(ss)1	1,9[s]

Величины допускаемых перемещений (прогиб, сдвиг, смещение и т.п.) следует определять в зависимости от условий эксплуатации и требований к жесткости элементов конструкции (предотвращение выбора зазора и соударения элементов, недопустимые перекосы, разуплотнение герметичных стыков и т.п.).

РАСЧЕТ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

При использовании статического метода расчетные сейсмические нагрузки на конструкцию распределяются подобно распределению массы и прикладываются независимо в двух горизонтальных и вертикальном направлениях.

Величины сосредоточенной Q_c или распределенной (q_c) сейсмических нагрузок определяются по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned} Q_c &= Q \cdot k_\delta \cdot k_\epsilon \cdot k_n, \\ q_c &= q \cdot k_\delta \cdot k_\epsilon \cdot k_n, \end{aligned} \quad (3)$$

где Q и q – соответственно сосредоточенная и распределенная весовые нагрузки на оборудование;

k_δ – коэффициент балльности принимается по таблице 2;

k_ϵ – коэффициент высоты размещения конструкции в здании или сооружении, который определяется по формуле:

$$k_\epsilon = 1 + 0,05H, \quad (4)$$

где H – отметка установки оборудования в здании АЭУ или наивысшая отметка крепления трубопровода (в метрах);

k_n – коэффициент интенсивности нагрузки определяется в зависимости от низшей собственной частоты конструкции f_1 (Гц) по следующим условиям:

$$k_n = f_1, \text{ если } f_1 < 2;$$

$$k_n = 2, \text{ если } 10 > f_1 > 2;$$

$$k_n = \left(\frac{20}{f_1} \right), \quad \text{если } 40 > f_1 > 10;$$

$$k_n = 0,5, \quad \text{если } f_1 > 40.$$

Таблица 2 – Значение коэффициента балльности [Value of the score coefficient]

Сейсмичность площадки (в баллах)	9	8	7	6	5
Коэффициент балльности k_b	1,0	0,5	0,25	0,125	0,06

Если собственная частота конструкции не определяется, то $k_n = 2$.

Значение низшей частоты f_1 может быть приближенно определено по формуле:

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{\lambda_{\max}}}, \quad (5)$$

где $\lambda_{\max}$ – максимальная абсолютная величина перемещения (прогиба) конструкции при действии весовых нагрузок Q и q в рассматриваемом направлении сейсмического воздействия;

g – ускорение свободного падения.

При определении вертикальной сейсмической нагрузки значение коэффициента k_b при заданной балльности уменьшается в 2 раза, а коэффициент k_n принимается равным 1.

Приведенные напряжения, получаемые из расчета на действие сейсмических нагрузок отдельно по каждому из учитываемых направлений, суммируются по среднеквадратичной зависимости, а затем алгебраически складываются с приведенными напряжениями от эксплуатационных нагрузок.

Статический метод расчета на сейсмостойкость применим для линейно-упругих систем. Метод дает оценку сейсмостойкости с погрешностью, идущей в сторону повышения запаса прочности и устойчивости.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Расчет на прочность при сейсмических воздействиях на кране мостовом электрическом КМ-5, Зав. №xxx, Рег. № xxx.

Оценка на прочность при сейсмических воздействиях выполняется с целью определения возможности дальнейшей безопасной эксплуатации подъемного сооружения в данном регионе его использования.

Оценка сейсмостойкости оборудования на прочность выполняется по допустимым напряжениям:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad (6)$$

где $\sigma_{\max}$ – максимальное напряжение в металлоконструкциях возникаемое при сейсмовоздействии;

$[\sigma]$ – предельное допустимое напряжение.

Допускаемые напряжения $[\sigma]$ для кранового оборудования определяются в зависимости от сочетания нагрузок, в том числе нормальных условий эксплуатации и

максимально расчетного землетрясения. Как говорилось выше, согласно НП-043-11 п.55 [1] «...Расчет на сейсмостойкость специальных кранов группы Б с электрическими таями (однобалочных мостовых опорных и подвесных, козловых, консольных) допускается проводить статическим методом» [2].

$$[\sigma] = [sF];$$

$$[sF] = 0,7 \cdot R_{p0,2},$$

где $R_{p0,2}$ – предел текучести стали из которой изготовлена пролетная балка, сталь СтЗсп5 – 245000 кН/м².

В таблице 3 приведены общие характеристики крана.

Для крана КМ-5, Рег. № xxx $[\sigma] = (1/1,4) \cdot 245000 = 175000$ кН/м².

При использовании статического метода расчетные сейсмические нагрузки на конструкцию распределяются подобно распределению массы и прикладываются независимо в двух горизонтальных $Y_{(prod)}$, $X_{(non)}$ и вертикальном $Z_{(e)}$ направлениях.

Величины сосредоточенной Q_c или распределенной (q_c) сейсмических нагрузок определяются по (3):

k_δ – коэффициент балльности принимается по таблице 2. Для крана КМ-5, Рег. № xxx $k_\delta = 0,25$;

k_θ – коэффициент высоты размещения конструкции в здании или сооружении, который определяется по формуле $k_\theta = 1 + 0,05H$. Здесь H – отметка установки оборудования в зданиях АЭС (в метрах); $H = +12,0$ м.
 $k_\theta = 1 + 0,05 \cdot 12,0 = 1,6$;

k_u – коэффициент интенсивности нагрузки определяется в зависимости от низшей собственной частоты конструкции f_1 (Гц). В данном случае собственная частота f_1 конструкции не определена, то $k_u = 2$.

$$Q_{c(x)} = 23,242 \cdot 0,25 \cdot 1,6 \cdot 2,0 = 18,593 \text{ кН}$$

$$\sigma_{x \max} = \frac{M_{x \max}}{W_x},$$

$$\text{где } M_{x \max} = \frac{Q \cdot l_n}{4}.$$

$$M_{x \max} = \frac{18,593 \cdot 9,0}{4} = 41,835 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_{x \max} = 41,835 / 0,000472 = 88633,832 \text{ кН/м}^2.$$

При определении вертикальной сейсмической нагрузки значение коэффициента k_δ при заданной балльности уменьшается в 2 раза, а коэффициент k_θ принимается равным 1.

$$Q_{c(z)} = 23,242 \cdot 0,125 \cdot 1,0 \cdot 2,0 = 5,810 \text{ кН},$$

$$\sigma_{z \max} = \frac{M_{z \max}}{W_z}.$$

где W_z – момент сопротивления, определяется по ГОСТ 8239-89 (табл.1);

$$M_{z\max} = \frac{Q_{c(z)} \cdot l_n}{4}.$$

$$M_{z\max} = (5,810 \cdot 9,0)/4 = 13,074 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_{z\max} = 13,074/0,000472 = 27698,358 \text{ кН/м}^2$$

Таблица 3 – Технические характеристики крана и территории его размещения [Technical characteristics of the crane and its location]

1	Тип крана	Кран мостовой подвесной электрический, КМ-5
2	Заводской номер	1979
3	Регистрационный номер	48А
4	Пролет крана, (l_n), м	9,0
5	База крана, (l_0), м	1,5
6	Грузоподъемность, т	5
7	Высота подъема груза м.	12,0
8	Масса крана в рабочем состоянии, Q, т	2,370
9	Максимальная нагрузка колеса на подкрановый путь, кН	
10	Тип металлоконструкции крана (коробчатого сечения, сварная, ферменная, клепаная и т.д.)	горячекатанная, двутаврового сечения
11	Скорости механизмов, м/с.:	
12	передвижения крана	
	– максимальная м/мин	32
	– минимальная м/мин	-
13	передвижения тележки	
	– максимальная м/мин	20
	– минимальная м/мин	-
14	Скорость подъема м/мин	8
15	Направляющие	Двутавровая балка, М-30
16	Паспортные данные о нижнем и верхнем пределах температур рабочего состояния крана	-20 ⁰ С +40 ⁰ С
17	Предельная сейсмоактивность района по шкале MSK-64, бал.	7
18	Предельная ветровая нагрузка, бал.	-

Приведенные напряжения, получаемые из расчета на действие сейсмических нагрузок отдельно по каждому из учитываемых направлений, суммируются по среднеквадратичной зависимости,

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_{z\max}^2 + \sigma_{x\max}^2 + \sigma_{y\max}^2},$$

$$\sigma_n = 92860,946 \text{ кН/м}^2,$$

а затем алгебраически складываются с приведенными напряжениями $\sigma_{э/н}$ от эксплуатационных нагрузок:

$$\sigma_{\max} = \sigma_n + \sigma_{э/н},$$

где $\sigma_{э/н} = \frac{M}{W}.$

$$M = \frac{Q \cdot l_n}{4}.$$

$$M = (23,242 \cdot 9,0)/4 = 52,295 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_{э/н} = 52,295/0,000472 = 110793,432 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{max} = 27698,358 + 110793,432 = 138491,790 \text{ кН/м}^2$$

Условие приведенное (6) выполняется, следовательно, устойчивость крана КМ-5 Рег. № xxx при 7 бальном сейсмическом воздействии по шкале MSK-64 обеспечивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов для объектов использования атомной энергии. НП-043-11. В редакции Приказа Ростехнадзора от 19.11.2013 N 549. – URL : <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293780/4293780109.htm> (дата обращения: 17.05.2018).
2. Руководящий технический материал. Оборудование атомных энергетических установок. Расчет на прочность при сейсмическом воздействии. РТМ 108.020.37-81. Утвержден и введен в действие указанием Министерства энергетического машиностроения от 04.06.81 N ЮК-002/4365. – URL : <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293828/4293828641.htm> (дата обращения: 21.05.2018).
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. НП-031-01. Введены в действие с 1 января 2002 г. – URL : <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294815/4294815342.htm> (дата обращения: 21.05.2018).
4. Васютинский, И.Ю. Геодезические приборы при строительно-монтажных работах [Текст] / И.Ю. Васютинский, Г.Е. Рязанцев, Х.К. Ямбаев. – Москва : Недра, 1982. – 167 с.
5. Ганьшин, В.Н. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей [Текст] / В.Н. Ганьшин, И.М. Репалов. – Москва : Недра, 1980. – 120 с.
6. Григоровский, П.Е. Совершенствование технологии возведения высотных сооружений и зданий из монолитного железобетона с применением лазерных систем [Текст] / П.Е. Григоровский // Автореф. на соиск. уч. степ. к.т.н. по спец. 05.24.01. – Киев : КИСИ, 1991. – 24 с.
7. Головень, Г.Е. Совершенствование приборов и способов переноса осей по высоте в геодезическом обеспечении строительства [Текст] / Г.Е. Головень // Автореф. на соиск. уч. степ. к.т.н. по спец. 05.24.01. – Москва : И-т им. Плеханова, 1982. – 22 с.
8. Карасев, В.И. Методы оптических измерений при монтаже турбоагрегатов [Текст] / В.И. Карасев, Д.С. Монес. – Москва : Энергия, 1973. – 168 с.
9. Корн, Г. Справочник по математике [Текст] / Г. Корн, Т.М. Корн. – Москва : Наука, 1979. – 678 с.
10. Маркузе, Ю.И. Геодезия. Вычисления и уравнивание [Текст] / Ю.И. Маркузе, Е.Г. Бойко, В.В. Голубев. – Москва : Геодезиздат, 1994. – 431 с.

REFERENCES

- [1] Federal'ny'e normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj e`nergii. Pravila ustrojstva i bezopasnoj e`kspluatatsii gruzopod`emny`x kranov dlya ob`ektov ispol'zovaniya atomnoj e`nergii. [Federal Rules and Regulations in the Field of Atomic Energy Use «Rules of Arrangement and Safe Operation of Cranes for Objects of Atomic Energy Use»]. NP-043-11. V redakcii Prikaza Rostexnadzora ot 19.11.2013 No. 549 [NP-043-11. Amended by the Order of Rostekhnadzor dated 19.11.2013 No. 549]. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293780/4293780109.htm> (in Russian).
- [2] Rukovodyashchij tehnikeskij material. Oborudovanie atomnyh energeticheskikh ustanovok raschet na prochnost pri sejsmicheskom vozdejstvii [Equipment of Nuclear Power Installations, Strength

- Calculation under Seismic Excitation]. RTM 108.020.37-81. Utverzhden i vveden v dejstvie ukazaniem Ministerstva energeticheskogo mashinostroeniya ot 04.06.81 N YuK-002/4365 [RTM 108.020.37-81. Approved and put into effect the instruction of the Ministry of Power Engineering, 04.06.81 N Yuk-002/4365]. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293828/4293828641.htm> (in Russian).
- [3] Normy proektirovaniya sejsmostojkih atomnyh stancij [Norms of Designing Earthquake-Resistant Nuclear Power Stations]. NP-031-01. Vvedeny` v dejstvie s 1 yanvarya 2002 g. [NP-031-01. Put into effect since 1 January 2002]. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294815/4294815342.htm> (in Russian).
- [4] Vasyutinsky I.Yu., Ryazantsev G.E., Yambaev H.K. Geodezicheskie pribory pri storoitelno-montazhnyh rabotah [Geodetic Devices at Construction Works]. Moskva, Nedra [Moscow, Subsoil]. 1982. 167 p. (in Russian).
- [5] Ganshin V.N., Repalov I.M. Geodezicheskie raboty pri stroitelstve i ekspluatatsii podkranovyh putej [Geodetic Works at Construction and Operation of Crane Tracks]. Moskva. Nedra [Moscow. Subsoil]. 1980. 120 p. (in Russian).
- [6] Grigorovskij, E.P. Sovershenstvovanie tekhnologii vozvedeniya vysotnyh sooruzhenij i zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona s primeneniem lazernyh sistem [Improvement of the Technology of High-Rise Construction Structures and Buildings Made of Reinforced Concrete with the Use of Laser Systems.]. Avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni k.t.n. [Thesis Abstract of Ph. D. in Engineering]. 05.24.01. Kiev. KISI. 1991. 24 p. (in Russian).
- [7] Goloven G. E. Sovershenstvovanie priborov i sposobov perenosa osej po vysote v geodezicheskom obespechenii stroitelstva [Improvement of Devices and Methods of Transfer of Axes in Height in Geodetic Support of Construction]. Avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni k.t.n. [Thesis Abstract of Ph. D. in Engineering]. 05.24.01. Plekhanov Institute. 1982. 22 p. (in Russian).
- [8] Karasev V.I., Mones D.S. Metody opticheskikh izmerenij pri montazhe turboagregatov [Methods of Optical Measurements during Installation Turbosets]. Moscow. Energy. 1973. 168 p. (in Russian).
- [9] Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike [Handbook of Mathematics]. Moskva. Nauka [Moscow. Science]. 1979. 678 p. (in Russian).
- [10] Marcuse, Y.I., Boyko E.G., Golubev V.V. Geodeziya. Vychisleniya i uravniwanie [Geodesy. Calculations and Equalization]. Moskva. Geodezizdat [Moscow. Geodesic]. 1994. 431 p. (in Russian).

Calculation of Seismic Resistance of Group «B» Cranes Operating at Nuclear Power Plants (NPP)

Y.I. Pimshin ^{*1}, V.A. Naugolnov^{*2}, G.A. Naumenko^{**3}, I.U. Pimshin^{**4}

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

*** Don State Technical University, Gagarin square 1, Rostov-on-Don, Russia, 344000*

¹ ORCID iD: 0000-0001-6610-8725

WoS Researcher ID: J-6791-2017

e-mail: YIPimshin@mephi.ru

² e-mail: VANAUGOLNOV@mephi.ru

³ ORCID iD: 0000-0002-7512-4687

WoS Researcher ID: J-7170-2017

e-mail: geodez@aaanet.ru

⁴ ORCID iD: 0000-0002-8267-3617

WoS Researcher ID: O-8809-2018

e-mail: geodez@aaanet.ru

Abstract – The paper considers the assessment of seismic resistance of cranes of group "B" operated at nuclear power plants (NPP). The example of calculation of the suspended five-ton crane is given. The conclusion about its compliance with seismic resistance of the region is made.

Keywords: technical condition, bridge type cranes, seismic resistance, parameter calculation, voltage.

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

УДК 159.9:62

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА**

© 2018 В.М. Алюшин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Обоснована важность осуществления контроля времени реакции (ВР) оператора управления опасным объектом непосредственно во время его профессиональной деятельности. Показана актуальность применения автоматизированных средств контроля ВР. Анализируются возможности разработанных инструментальных программных средств (ИПС) для контроля ВР. Показана перспективность их применения при создании автоматизированных систем тестирования, а также при оценке уровня приобретенных знаний и навыков.

Ключевые слова: время реакции, инструментальные программные средства, фоновый режим работы

Поступила в редакцию: 02.08.2018

Одной из важных характеристик деятельности оператора управления опасным объектом является его ВР [1, 2]. Данная характеристика относится к интегральным показателям, характеризующим текущее функциональное и психоэмоциональное состояние человека. Применительно к проблеме обеспечения надежной безаварийной работы опасных объектов, к числу которых, в первую очередь, относятся тепловые и атомные станции, данная характеристика обуславливает своевременность реагирования оператора на возникающие события, требующие его незамедлительных действий. Для некоторых сфер экономики допустимые границы изменения ВР закреплены соответствующими отраслевыми нормативными документами. Наиболее показательным в этом плане является, например, скоростной пассажирский транспорт. Так, например, регламентируемое максимально допустимое ВР машиниста должно гарантировать, в ряде случаев, своевременное начало экстренного торможения скоростного поезда при появлении запретительных красных сигналов светофора.

Как правило, измерение ВР осуществляется перед началом профессиональной деятельности, либо при периодических медицинских осмотрах и психофизиологических обследованиях. Мониторинг за изменением величины данной характеристики непосредственно в процессе профессиональной деятельности достаточно затруднителен [3]. В некоторых случаях для определения ВР используются технические средства слежения за направлением взгляда [4, 5]. Создание средств контроля ВР в автоматизированном режиме в настоящее время является актуальной задачей.

Целью исследования является лабораторная апробация инструментальных программных средств, позволяющих осуществить измерение времени реакции (ВР) непосредственно в процессе деятельности оператора.

Проведенный анализ использующихся в настоящее время автоматизированных

систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), применяемыми, в том числе, для управления опасными объектами, показал, что возможность реализации полностью автоматизированного режима измерения ВР непосредственно в процессе профессиональной деятельности операторов в значительной степени зависит от типа АСУ ТП.

АСУ ТП в своем технологическом развитии прошли несколько этапов. В таблице 1 выделены наиболее характерные поколения систем, отличающиеся принципиально различным уровнем использования средств вычислительной техники, обуславливающим, в том числе, особенности построения и возможности применяемых органов управления опасным объектом.

Таблица 1– Основные поколения АСУ ТП [Basic generations of automated process control systems]

Поколение	Уровень использования средств вычислительной техники	Тип органа управления опасным объектом
1	Низкий	Блочные щиты управления
2	Средний	Комбинированные щиты управления
3	Высокий	Виртуальные щиты управления

Наиболее перспективными с точки зрения реализации технологии автоматизированного определения ВР являются комбинированные и так называемые виртуальные щиты управления [6, 7]. Комбинированные щиты управления содержат в своем составе как элементы блочных щитов управления, отображающих основные мнемосхемы управления опасным объектом, так и компьютерные системы управления. Виртуальные щиты управления для отображения текущей информации о состоянии систем управления опасным объектом используют широкоформатные компьютерные мониторы, либо проекционные экраны. Данные устройства дают возможность отобразить требуемую мнемосхему [8, 9], которая может быть полностью аналогична по структуре блочному щиту управления первых поколений АСУ ТП.

Разработанные ИПС для определения ВР предполагают наличие средств вычислительной техники, характерных для рассмотренных выше типов щитов управления.

Такие ИПС ориентированы на работу в фоновом режиме одновременно с профессиональным программным обеспечением. Основными реализованными функциями разработанных инструментальных средств являются:

- выбор элементов использующегося информационного интерфейса и органов управления для анализа временной динамики изменения их состояния;
- определение моментов времени, соответствующих заданным изменениям в выбранных элементах информационного интерфейса;
- определение моментов времени, соответствующих действиям оператора и изменениям в состоянии выбранных органов управления;
- определение точности выполнения оператором управляющих действий;
- накопление и анализ статистики.

На рисунке 1 представлен типичный вид фрагмента рабочего окна (1) компьютеризированного рабочего места оператора, иллюстрирующего возможности разработанных ИПС (2, 3, 4 – выбранные элементы использующегося информационного интерфейса; 5, 6, 7 – выбранные органы управления).

Выделение областей рабочего окна, содержащих контролируемые информационные элементы (2-4) и органы управления (5-7), осуществляется на этапе конфигурации ИПС. Размер (форма и площадь) контролируемых областей рабочего окна также задается на этом этапе.

Разработанные ИПС дают возможность при выполнении оператором

управляющих действий фиксировать не только соответствующие моменты времени, но также и точность их осуществления. Например, для органа управления **6** (кнопка) ИПС позволяют определить величину отклонения курсора мышки от центра этого органа в момент нажатия на клавиши мышки. Статистическая обработка данной информации, а также информации о ВР используется при оценке текущего функционального и психоэмоционального состояния оператора.

Было проведено экспериментальное исследование эффективности разработанных ИПС при проведении учебных и учебно-тренировочных занятий на компьютерных стендах различной интенсивности.

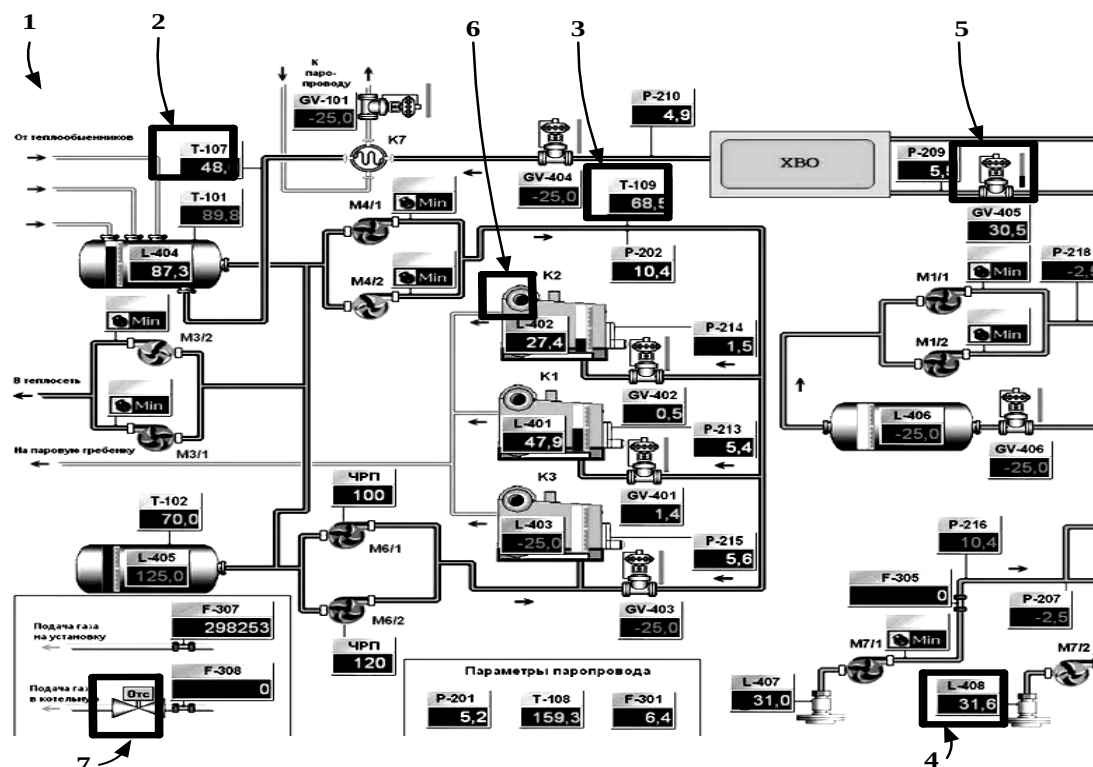


Рисунок 1 – Типичный вид рабочего окна с мнемосхемой [A typical view of the working window with a mnemonic diagram]

На рисунке 2 показано характерное изменение ВР человека в процессе его деятельности в нормальной рабочей обстановке (t – ВР в относительных единицах, $N(t)$ – число ответных реакций человека с ВР, равным t).

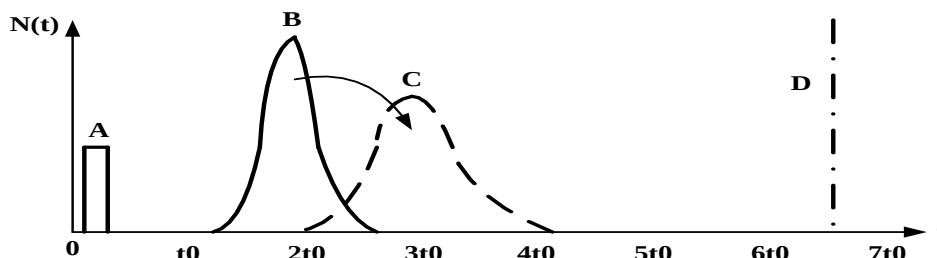


Рисунок 2 – Изменение ВР в процессе нормальной профессиональной деятельности [Change of reaction time in the normal professional activity]

Моменты времени возникновения важной информации на мнемосхеме, требующей незамедлительных ответных действий, соответствуют на рисунке 2 точке А (начало координат). Временной масштаб t_0 имеет характерный диапазон изменения

0,1-0,5 с в зависимости от сложности ответной сенсомоторной реакции. Гистограмма распределения ВР в начале занятий имеет вид А. В конце, как правило, восьмичасовых занятий гистограмма приобретает вид С. При этом, как правило, максимальные значения ВР не превышают предельно-допустимых значений D, устанавливаемых соответствующими отраслевыми нормативными документами.

На рисунке 3 показано характерное изменение ВР при напряженной работе. Разработанные ИПС дают возможность своевременно выявлять ситуации (Е), при которых ВР начинает превышать допустимые значения D.

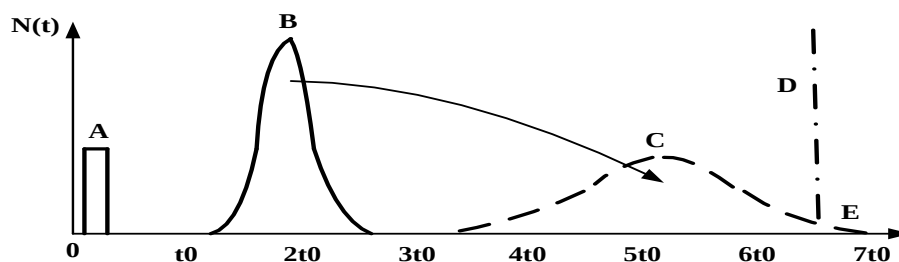


Рисунок 3 – Изменение ВР в процессе напряженной деятельности [Change of the reaction time in the strenuous activity process]

Представляется перспективным применение данных ИПС при создании автоматизированных средств тестирования персонала [10]. В этом случае разработанные ИПС дают возможность при формировании результатов тестирования учитывать не только итоги выполнения тестовых заданий (ответы на тестовые вопросы), но и данные о затраченных временных ресурсах и о текущем психоэмоциональном состоянии тестируемого с привязкой к конкретным выполняемым разделам тестового задания.

Применение данных средств в учебном процессе при автоматизированной оценке уровня приобретенных знаний и навыков позволяет более объективно подойти к проблеме квалификационного отбора. В этом случае ИПС дают возможность учесть временную динамику решения тестовых задач.

Необходимо отметить, что автоматизированное определение ВР имеет большое значение для оценки текущего психоэмоционального состояния пациента при проведении медицинских обследований [11].

Проведенные лабораторные испытания разработанных ИПС подтвердили их универсальность и высокую надежность.

Таким образом, разработанные ИПС позволяют на новом технологическом уровне подойти к решению проблемы мониторинга за такой важной характеристикой, как ВР оператора управления опасным объектом. Их использование на практике дает возможность повысить объективность и достоверность психологического тестирования, а также эффективность учебного процесса.

Областями возможного использования таких средств являются также компьютеризированные рабочие места операторов, пульта управления с микропроцессорным управлением, информационно-измерительные и управляющие пульты на основе планшетных компьютеров.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 16-18-00069 «Снижение риска возникновения и уменьшение последствий катастроф техногенного происхождения за счет минимизации влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алюшин, М.В.* Методика измерения времени реакции оператора управления [Текст] / М.В. Алюшин, В.М. Алюшин // Вопросы психологии. – 2015. – № 5. – С. 157-165.
2. *Алюшин, М.В.* Экспериментальное исследование времени реакции человека в условиях действия акустических помех [Текст] / М.В. Алюшин, В.М. Алюшин // Вопросы психологии. – 2016. – № 1. – С. 163-168.
3. *Алюшин, М.В.* Прямые и косвенные методы измерения времени реакции оператора управления АЭС [Текст] / М.В. Алюшин, А.М. Алюшин, М.Э. Аткина // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 1. – С. 93-101.
4. *Saez de Urabain, I.R., Johnson, M.H., Smith, T.J.* GraFIX: A semiautomatic approach for parsing low- and high-quality eye-tracking data. Behavior Research Methods. Springerlink.com. 2014. V. 47. № 1, P. 53-72. Available at: <https://link.springer.com/article/10.3758%2Fs13428-014-0456-0>
5. *Salvucci, D.D., Goldberg, J.H.* Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols // Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium: ETRA 2000. – New York: ACM Press. 2000. P. 71-78. Available at: <https://www.cs.drexel.edu/~salvucci/publications/Salvucci-ETRA00.pdf>
6. *Клименко, С.В.* Использование систем виртуального окружения для визуализации информации в сфере управления электроэнергетическими системами [Текст] / С.В. Клименко, М.В. Брагуга // Вестник ИГЭУ. – 2008. – Вып. 4. – С. 1-7.
7. *Prasolova-Forland, E.* Virtual spaces as artifacts: implications for the design of educational CVEs. Proc. Of Cyberworlds. Singapore. 2003. December 3-5. P. 418-422.
8. Стандарт организации профессиональной подготовки, переподготовки, повышения квалификации персонала // СОЕЭСПП12005. – Москва : РАО «ЕЭСРоссии», 2006.
9. ГОСТ 21480-76. Система «человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования.
10. *Алюшин, М.В.* Автоматизация психологических обследований сотрудников правоохранительных органов [Текст] / М.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина, Г.В. Шутко, Е.Ш. Гибадулин // Вопросы психологии. – 2017. – № 3. – С. 92-101.
11. *Алюшин, М.В.* Ядерная медицина: мониторинг психоэмоционального состояния пациента [Текст] / М.В. Алюшин, А.И. Жаворонко, Л.В. Колобашкина, Е.В. Скачков // Вопросы психологии. – 2017. – № 2. – С. 134-140.

REFERENCES

- [1] Alyushin M.V., Alyushin V.M. Metodika izmereniya vremeni reakcii operatora upravleniya [A Technique for Measuring Time of Response in a Control Operator]. Voprosy Psikhologii [Psychology Issues]. 2015. Issue 5. P. 157-165 (in Russian).
- [2] Alyushin M.V., Alyushin V.M. Eksperimental'noe issledovanie vremeni reakcii cheloveka v usloviyakh dejstviya akusticheskikh pomekh [Experimental study of human reaction time under the action of acoustic noise]. Voprosy Psikhologii [Psychology Issues]. 2016. Issue 1. P. 163-168 (in Russian).
- [3] Alyushin M.V., Alyushin A.M., Atkina M.E. Pryamye i kosvennye metody izmereniya vremeni reakcii operatora upravleniya AEHS [Direct and Indirect Methods of the NPP Management Operator Reaction Time Measuring]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. issue 1 (22). P. 93-101 (in Russian).
- [4] Saez de Urabain I.R., Johnson M.H., Smith T.J. GraFIX: A Semiautomatic Approach for Parsing Low- and High-Quality Eye-Tracking Data. Behavior Research Methods. 2015. Vol. 47. Issue 1. P. 53-72. Available at: <https://link.springer.com/article/10.3758%2Fs13428-014-0456-0>
- [5] Salvucci D.D., Goldberg J.H. Identifying Fixations and Saccades in Eye-Tracking Protocols, Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium: ETRA 2000. New York: ACM Press. 2000. P. 71-78. Available at: <https://www.cs.drexel.edu/~salvucci/publications/Salvucci-ETRA00.pdf>
- [6] Klimenko S.V., Braguta M.V. Ispol'zovanie sistem virtual'nogo okruzheniya dlya vizualizatsii informatsii v sfere upravleniya ehlektroehnergeticheskimi sistemami [Using the Virtual Environment System for Information Visualization in the Field of Power Engineering Systems Management]. Vestnik IGEHU [IGEUE Bulletin]. 2008. Issue 4. P. 1-7 (in Russian).
- [7] Prasolova-Forland E. Virtual Spaces as Artifacts: Implications for the Design of Educational CVEs, International Journal of Distance Education Technologies (IJDET). 2004. Vol. 2. Issue 4. P. 94-115.
- [8] Standart organizatsii professional'noj podgotovki, perepodgotovki, povysheniya kvalifikatsii

- personala, SOEEHSPP12005 [Standard of Organization of Vocational Training, Retraining, Advanced Training of Personnel, SOEESPP12005]. Moscow: RAO UES of Russia. 2006 (in Russian).
- [9] GOST 21480-76. Sistema «chelovek-mashina». Mnemoskhemy. Obshchie ehrgonomicheskie trebovaniya [GOST 21480-76. The "Man-Machine" System. Mnemonic Diagrams. General Ergonomic Requirements] (in Russian).
- [10] Alyushin M.V., Kolobashkina L.V., Shutko G.V., Gibadulin E.S. Avtomatizaciya psihologicheskikh obsledovaniy sotrudnikov pravoohranitel'nyh organov [Automation of Psychological Examinations of Law Enforcement Officials], Voprosy Psikhologii [Voprosy Psikhologii]. 2017. Issue 3. P. 92-101 (in Russian).
- [11] Alyushin M.V., Javoronko A.I., Kolobashkina L.V., Skachkov E.V. Yadernaya medicina: monitoring psihoehmotsional'nogo sostoyaniya pacienta [Nuclear medicine: monitoring of the patient's mental and emotional state]. Voprosy Psikhologii [Psychology Issues]. 2017. Issue 2. P. 134-140 (in Russian).

Instrumental Software Tools for Measuring the Reaction Time of a Person

V.M. Alyushin

National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye Shosse, 31, Moscow, Russia 115409

ORCID iD: 0000-0002-3816-6239

WoS Researcher ID: R-7963-2016

e-mail: VMAlushin@mephi.ru

Abstract – The importance of monitoring the reaction time (RT) of the dangerous object managing operator directly during his professional activity is substantiated. The relevance of the use of RT automated controls is shown. The capabilities of the developed instrumental software tools for RT control are analyzed. The perspectivity of the instrumental software tools application is shown when creating automated testing systems, as well as assessing the level of acquired knowledge and skills.

Keywords: reaction time, instrument software, background mode of operation.

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

УДК 316.7:621.039.58

**СИТУАТИВНО-ЛИЧНОСТНЫЕ ФАКТОРЫ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРИВЕРЖЕННОСТИ КУЛЬТУРЕ
БЕЗОПАСНОСТИ СТУДЕНТОВ-АТОМЩИКОВ
ВИТИ НИЯУ МИФИ**

© 2018 В.А. Руденко, Н.И. Лобковская, Ю.А. Евдошкина

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

В данной статье авторы исследуют ситуативно-личностные факторы организационной и профессиональной приверженности культуре безопасности студентов, обучающихся по специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». В работе применены методы социологического опроса и анализа данных. Полученные данные позволяют говорить о наличии у студентов качеств, необходимых для формирования приверженности безопасности на индивидуальном уровне. Представленные результаты исследования мотивационной сферы студентов отражают важность формирования профессионального целеполагания как основы профессиональной приверженности и актуализируют реализацию принципов культуры безопасности как базовых корпоративных ценностей атомной отрасли.

Ключевые слова: культура безопасности, организационная и профессиональная приверженность, целеполагание, мотивационно-коммуникативная компетенция.

Поступила в редакцию 07.06.2018

Термин «культура безопасности» впервые был использован в «Итоговом докладе INSAG (Международной консультативной группы по ядерной безопасности) о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии на Чернобыльской АЭС», опубликованном в 1991 году. По определению INSAG – 4: Культура безопасности – «это такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности атомных станций, как обладающим высшим приоритетам, уделяется внимание, определяемое их значимостью» [1]. В отечественных нормативных документах (ОПБ-88/97) культура безопасности, до недавнего времени, определялась как «квалификационная и психологическая подготовленность всех лиц, при которой обеспечение безопасности атомных электрических станций является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к самосознанию ответственности и к самоконтролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность» [2]. До начала разработки проекта новых Общих положений обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ АС) [3] была проделана подготовительная работа, включившая выполнение сравнительного анализа требований российских нормативных документов с требованиями стандартов МАГАТЭ. Выполненные сравнения показали, что российские требования к безопасности атомной станции, в основном, соответствуют требованиям указанных стандартов МАГАТЭ. Вместе с тем, были выявлены области, в которых российские

нормативные документы следовало откорректировать для достижения более полной гармонизации со стандартами МАГАТЭ. Таким образом, было расширено содержание понятия «культура безопасности», оно теперь в существенно большей степени соответствует тому, как это понятие раскрывается в международных документах, например в INSAG-4.

Международная консультативная группа по ядерной безопасности пришла к выводу, что главным фактором в становлении ядерной энергетики, как основного производителя энергии, должен стать исключительно высокий уровень ее безопасности, повышению и совершенствованию которого должны способствовать устремления и усилия всех, кто работает в этой области. Большинство проблем, которые возникают на производстве, так или иначе связаны с ошибками человека. Поэтому помимо выполнения строго регламентированных указаний, работник атомной отрасли должен стать приверженным принципам культуры безопасности, начало которых лежит в мотивационно-коммуникативной составляющей профессиональной приверженности студентов соответствующих специальностей. Элементы культуры безопасности культивируются на протяжении всей жизни человека, но её профессиональный вектор начинает закладываться и конкретизироваться в высшей школе при усвоении специальных и общекультурных знаний и навыков.

Само по себе должное осуществление обязанностей, будучи важным элементом культуры безопасности, является недостаточным, если осуществляется механически. Чтобы обязанности исполнялись ответственно, с опорой на специальные знания и здравый смысл, необходимо формировать профессиональную приверженность как безусловную преданность принципам безопасности, важную для дальнейшего осмысления и принятия корпоративных правил поведения. Она становится одной из фундаментальных составляющих культуры безопасности и формируется на трех уровнях. На высшем – стратегическом – уровне приверженности определяются принципы и цели политики в области безопасности. В атомной отрасли, связанной с повышенными рисками, безопасность закрепляется на законодательном уровне и способствует формированию условий, в которых возможны максимально качественное выполнение сотрудником своих обязанностей, наиболее эффективный контроль и оценка деятельности. На среднем – корпоративном – уровне приверженности реализуется политика приоритета безопасности, предусматривающая четкое распределение ответственности, которая закрепляется в соответствующих официальных документах и положениях. Важной составляющей данного уровня является набор кадров, налаживание обратной связи с сотрудниками, формирование благоприятствующего приверженности психологического климата внутри коллектива, обеспечение возможности поддержания и своевременного повышения квалификации всем работникам атомной отрасли. На базовом – индивидуальном – уровне приверженности работников, служебное поведение которых является реакцией на рабочую атмосферу, созданную верхними уровнями, в конечном счете, и определяет безопасность производства. У руководителей и персонала на ранних этапах становления профессиональной деятельности должно вырабатываться нацеленное на безопасность мышление. Такая приверженность формирует внутреннюю позицию, защищающую от излишней уверенности в себе и чрезмерного довольствования достигнутыми результатами, потребность в качественном исполнении обязанностей даже в отсутствие контроля, персональную ответственность и корпоративную лояльность.

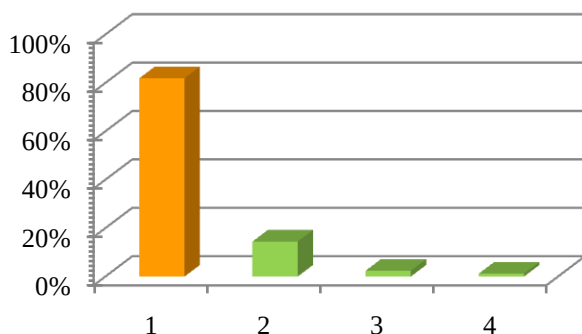
В рамках отраслевого образовательного учреждения можно выявить все три уровня приверженности, однако наиболее важным и вместе с тем доступным для формирования и изучения представляется базовый – индивидуальный. Говорить о

приверженности безопасности на индивидуальном уровне можно только при наличии внутренней потребности в безопасности и самоконтроля при выполнении любых видов деятельности. Такую внутреннюю потребность определяют ситуативно-личностные факторы мотивационно-коммуникативной составляющей организационной и профессиональной приверженности. Как и целеполагание, этот процесс порождения и оформления и структурирования новых идей рассматривается в мотивационно-коммуникативной компетенции в соотношении с действием [4]. Автор А.К. Маркова выделяет развитие способности к целеполаганию, а значит и к культивированию организационной и профессиональной приверженности, в качестве важнейшей составляющей процесса превращения человека из специалиста в субъект деятельности, связывая процесс профессионализации с все более сознательным выбором человеком целей собственной деятельности. Как и целеполагание, организационная и профессиональная приверженность является механизмом, который позволяет связывать результаты осмысления личностью своих ценностей, мотивов, профессиональных качеств с конкретными целями профессионального развития, являясь, таким образом, механизмом регулятивного компонента профессионального самосознания, выражающимся в готовности к действиям. Действия, в свою очередь, должны выражаться в обеспечении безопасности в соответствии с концепцией культуры безопасности.

Предшествующие исследования по теме, в том числе и ситуативно-личностных факторов мотивационно-коммуникативной составляющей поведения и социального самочувствия студентов-атомщиков ВИТИ НИЯУ МИФИ фиксируют намерение работать по специальности у 91% опрошенных старшекурсников: «Если сравнивать суммарный показатель интереса к будущей профессии и желания получить высокооплачиваемую работу в 55% случаев 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...» [5]. У студентов, «ориентированных на работу в атомной отрасли, желание самостоятельности, независимости, потребность быть креативным сочетается с характеристикой культуры безопасности на индивидуальном уровне: строгого соблюдения нормативной документации; качественного ведения документации, своевременное и полное информирование о своих действиях» [6]. Данные результаты подтверждают, что рассмотренные в процессе исследования осознанность, ответственность, критичность, самоконтроль, расположенность к регламентированности являются выражением мотивационно-коммуникативной составляющей организационной и профессиональной приверженности культуре безопасности студентов (целеполагание как глубинный процесс в этом конструкте также сосредоточенно на развитии приверженности [7]). В результате к концу обучения у студента формируются правильное понимание культуры безопасности профессии и цели, которые трансформируются в приверженность, конкретизируются и улучшаются при трудоустройстве.

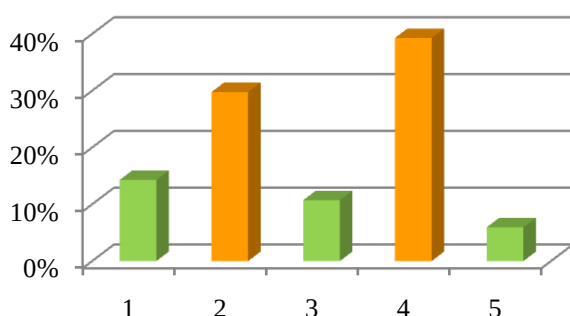
Ситуативно-личностные факторы организационной и профессиональной приверженности культуре безопасности в студенческой среде могут быть выявлены по следующим критериям: интерес студента к своей специальности, желание продолжать трудовую деятельность в соответствии с выбранной специальностью, наиболее значимые качества в будущей профессии и возможность к саморазвитию и др. Для первичного исследования были определены характеристики, показывающие изменения понимания студентами учебной мотивации и профессиональных ценностей, осознание себя, как будущего инженера, и ориентированность на профессиональное саморазвитие. На основе поставленной задачи была разработана анкета из

девятнадцать вопросов, касающихся цели поступления в институт, причины выбора данной специальности, значимых качеств инженера, необходимости и желания соблюдать корпоративные правила поведения и т.д. Методом анкетирования опрашивались студенты с первого по четвертый курс, обучающиеся по специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». На рисунке 1 отражены результаты анкетирования по вопросам о смысловом наполнении слова «инженер» и выборе института для овладения профессией.



- 1 – Ответственный специалист с высшим техническим образованием.
- 2 – Изобретатель, творческий человек.
- 3 – Любой выпускник технического института.
- 4 – Затрудняюсь ответить.

а)



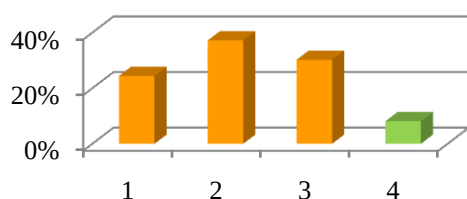
- 1 – Получить диплом о ВО.
- 2 – Стать инженером.
- 3 – В дальнейшем заниматься наукой.
- 4 – Получить высокооплачиваемую работу в будущем.
- 5 – Другое.

б)

Рисунок 1 – Студенты 1-4 курсов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» ВИТИ НИЯУ МИФИ а) о понятии «инженер»: б) о цели поступления в институт
[The 1st- and 4th- year students of "Nuclear Stations: Design, Operation and Engineering" specialty of VETI NRNU MEPhI a) about the "engineer" concept : b) about the institute entering purpose]

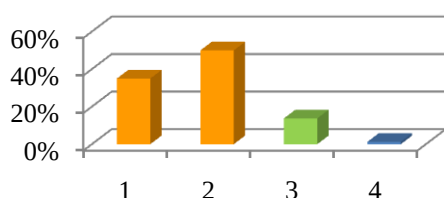
Согласно гистограммам рисунка 1 большинство опрошенных студентов связывают звание инженера с высоким уровнем ответственности и высокооплачиваемой работой, что говорит о нравственной готовности к овладению соответствующими компетенциями и возрастающем престиже инженерной профессии. Можно сказать, что у студентов складывается правильное понимание сути своего профессионального будущего. Более 70% опрошенных намерены стать инженерами, возможно, заниматься наукой и получать хорошую заработную плату за свою работу (причем это взаимодополняющие факторы); они понимают, насколько важной и ответственной будет их профессиональная деятельность. Наличие подобной цели указывает на осознанность выбора, приверженность студентов профессии на уровне самосознания, представления о культуре безопасности на этапе обучения.

Результаты по следующему блоку вопросов о понимании профессиональных преимуществ, интересе к профессии и намерении в будущем работать по выбранной специальности отражены на рисунке 2.



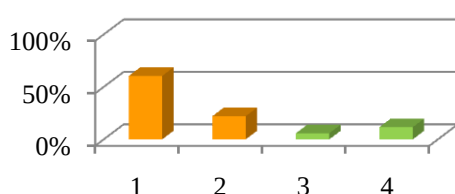
- 1 – Стабильность и социальные гарантии.
 2 – Карьерный рост и повышение квалификации.
 3 – Высокая заработная плата.
 4 – Престижность профессии.

а)



- 1 – Интерес к специальности сформирован и стабилен.
 2 – Интерес к специальности в основном сформирован.
 3 – Интерес скорее не сформирован.
 4 – Нет интереса.

б)



- 1 – Собираюсь работать по специальности
 2 – Собираюсь работать в атомной отрасли
 3 – Нет, собираюсь работать в другой сфере
 4 – Не определился

в)

Рисунок 2 – Студенты 1-4 курсов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» ВИТИ НИЯУ МИФИ а) о значимых преимуществах профессиональной деятельности; б) об интересе к выбранной специальности; в) о намерении работать по выбранной специальности [The 1st- and 4th- year students of "Nuclear Stations: Design, Operation and Engineering" specialty of VETI NRNU MEPhI a) about professional activity significant advantages; b) about interest in the chosen specialty; c) about the intention to work in the chosen specialty]

Приведенные на рисунке 2 данные свидетельствуют о том, что большинство студентов не намерены менять свои цели в процессе обучения и собираются продолжить трудовую деятельность на предприятиях атомной отрасли; ставят приоритетными задачами повышение квалификации и карьерный рост. В процессе становления указанных целей у студентов сформировалось представление о дальнейшей трудовой деятельности. Желание повышать квалификацию связано с социальной потребностью человека быть в курсе происходящих событий и соответствовать требованиям, предъявляемым сотруднику атомной отрасли. Неотъемлемой частью высокой профессиональной квалификации является приверженность культуре безопасности. Наличие у студентов цели стать инженером-атомщиком указывает на желание развивать в соответствии со спецификой профессиональной деятельности личностные качества. Реализуя поставленные цели, к концу обучения студенты становятся приверженцами безопасности. В свою очередь, анализировать приверженность на индивидуальном уровне предлагается по трём основным пунктам: критическая позиция (осознанность), строгое соблюдение требований (регламентированность), ведение документации и своевременное информирование о своих действиях (коммуникативность) [8-10].

На втором этапе для проверки индивидуального уровня организационной составляющей профессиональной приверженности культуре безопасности проведен опрос среди студентов той же категории. Составлены вопросы, при помощи которых в учебном процессе можно отследить все три составляющие базового уровня приверженности. Например, осознанность проверялась при помощи таких качеств, как возможность аргументировать свои действия, нахождение конкретной, нужной

информации из общей массы, возможность вступления в дискуссию; регламентированность отслеживалась через соблюдение установленных в институте норм; коммуникативность выявлялась посредством фиксирования навыков взаимодействия студента с преподавателем в процессе обучения, возможности правильно высказывать и отстаивать свою точку зрения. Полученные результаты, показывающие уровень приверженности студентов культуре безопасности к концу обучения можно интерпретировать следующим образом.

Критическая позиция исполнителя по отношению к безопасности направлена, прежде всего, на себя, на осознанное и продуманное выполнение как отдельных операций, так и обязанностей в целом. Здесь должен реализовываться принцип STARK, косвенное понимание и соблюдение которого было проверено у студентов направления АЭС. Аббревиатура STARK расшифровывается следующим образом: S – остановись, T – подумай (изучи и проанализируй задание), A – действуй (убедись, что ты выполняешь задание правильно), R – проанализируй (правильно ли ты выполнил то, что требовалось?), K – сообщи (доложи руководству о выполнении задания). Для оценки сформированности критической позиции у студентов использовались выше указанные критерии и были получены результаты, представленные на рисунке 3.

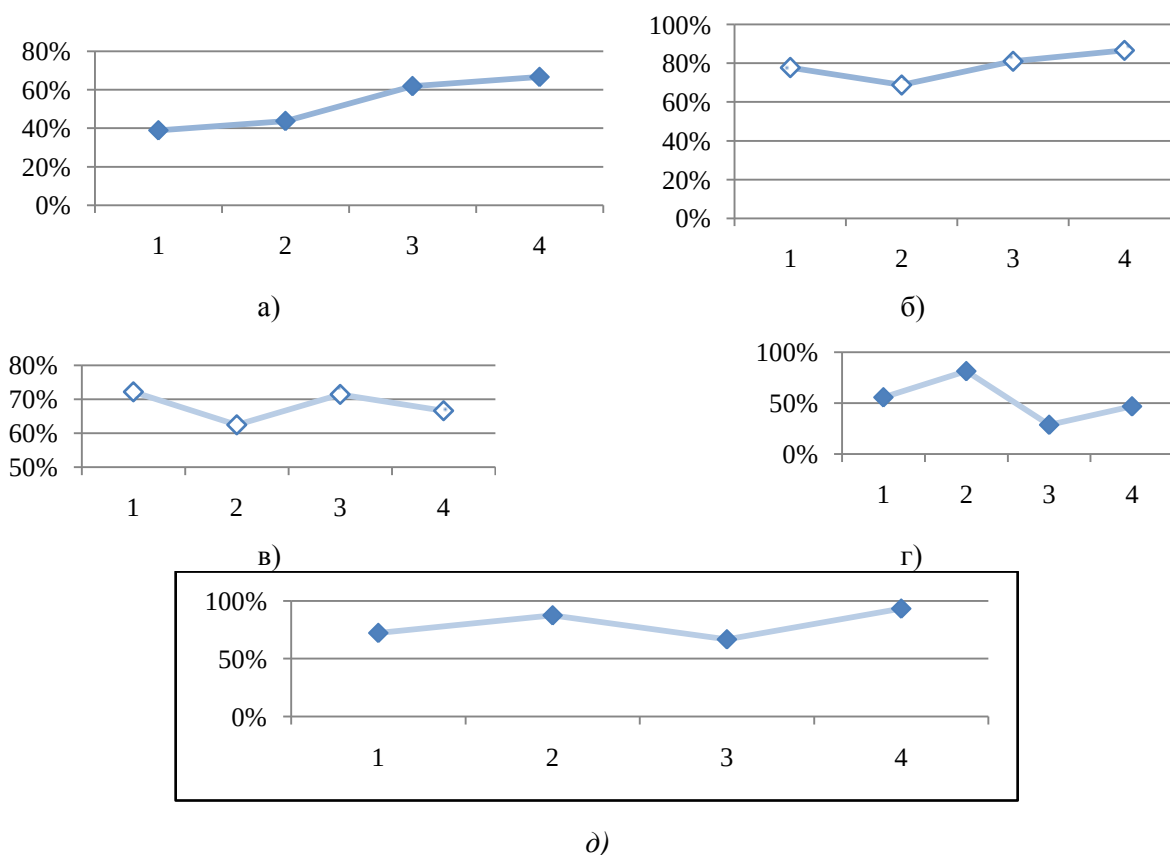


Рисунок 3 – Студенты 1-4 курсов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» ВИТИ НИЯУ МИФИ а) об информировании преподавателей о возникающих трудностях в процессе самостоятельной работы; б) об аргументации на занятиях собственной точки зрения; в) о сравнении неясных и спорных вопросов с источниками, помимо рекомендованных преподавателем; г) о том, сообщают ли заранее в деканат о неявке на пары; д) об информировании преподавателя о вынужденном пропуске занятий [The 1st- and 4th- year students of "Nuclear Stations: Design, Operation and Engineering" specialty of VETI NRNU MEPhI a) of informing teachers about emerging difficulties in the independent work; b) of the their own point of view argumentation in the classes ; c) about comparison of unclear and contentious issues with sources besides those recommended by the teacher; d) whether they are notified in advance to the dean's office of non-attendance; e) of informing the teacher about the forced admission of the lessons]

Собранные данные позволяют говорить, что к концу обучения после распределения заданий и самостоятельного анализа материала студенты реже, но более аргументированно формулируют вопросы, сравнивая полученную информацию с дополнительными источниками. У них вырабатывается понимание обязанностей, осознание ответственности за выполненную работу и желание сделать её как можно лучше. К концу обучения у студентов усиливается взаимосвязь с преподавателем. Они считают необходимым сообщать о форс-мажорных обстоятельствах непосредственно преподавателю, а затем в деканат. Студенты выбирают субъект-субъектные отношения, при которых им придется взаимодействовать (работать, перенимать знания и опыт, сдавать экзамены) с конкретным человеком, деканат в данном случае выступает как посредник. Подобная расстановка приоритетов говорит о контроле процесса обучения, зрелой оценке происходящего и действиях, соответствующих ситуации.

В процессе обучения преподаватель комментирует, поясняет, приводит примеры, необходимые для понимания материала, но они не всегда предназначены для конспектирования. Такая динамическая составляющая учебного процесса обусловлена гибкой индивидуальной оценкой преподавателем понимания и усвоения студентами материала, глубиной вовлеченности студентов в изучаемую тему. На рисунке 4 показаны результаты на вопрос о конспектировании лекционного материала студентами.

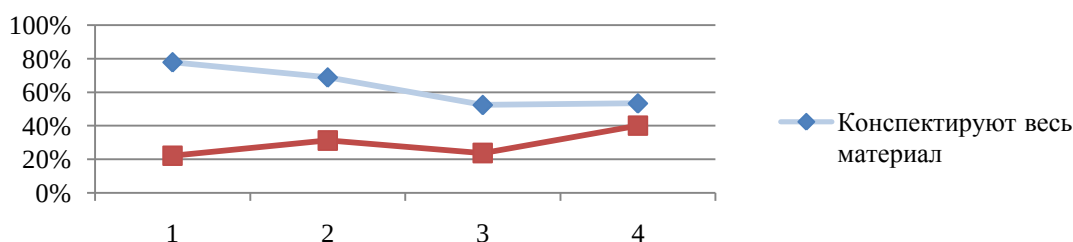


Рисунок 4 – Студенты 1-4 курсов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» ВИТИ НИЯУ МИФИ о конспектировании лекционного материала [The 1st- and 4th- year students of "Nuclear Stations: Design, Operation and Engineering" specialty of VETI NRNU MEPhI about making notes of the lecture]

К четвёртому курсу студенты учатся лучше отбирать и конспектировать только необходимые им тезисы для понимания основного содержания материала. Об этом свидетельствует избирательное отношение к конспектированию у 40% опрашиваемых, что объясняется умением держать осознанность в течение занятия и академическим опытом студентов.

На рисунке 5 показаны результаты контроля студентами своей работы.

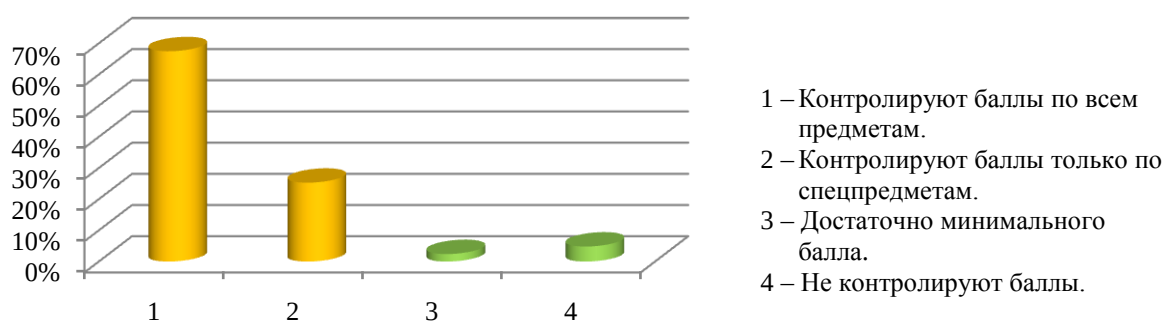


Рисунок 5 – Студенты 1-4 курсов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» ВИТИ НИЯУ МИФИ о контроле баллов по предметам [The 1st- and 4th- year students of "Nuclear Stations: Design, Operation and Engineering" specialty of VETI NRNU MEPhI about their results monitoring]

Тот факт, что практически все опрошиваемые студенты следят за своими баллами, говорит о понимании важности уровня качества своих знаний. А это качество отражается именно в баллах. В совокупности полученные данные позволяют утверждать, что мотивационно-коммуникативная составляющая профессиональной приверженности студентов, активно формируемая в процессе обучения, способствует развитию критической позиции на основе принципа STARK, который конкретизирует полученные навыки и в дальнейшем развивает качества, способствующие осознанному соблюдению культуры безопасности при выполнении своих обязанностей. Регламентированность или строгое соблюдение норм и правил, установленных в заведении, закладывается у студентов с первого курса. Данные, полученные в результате анкетирования, представлены на рисунке 6.

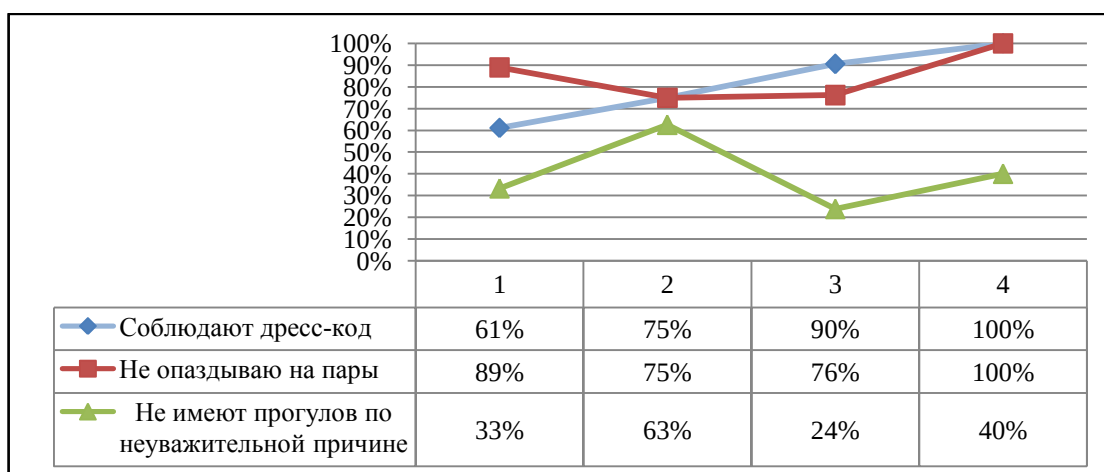


Рисунок 6 – Студенты 1-4 курсов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» ВИТИ НИЯУ МИФИ о соблюдении требований организационной культуры [The 1st- and 4th- year students of "Nuclear Stations: Design, Operation and Engineering" specialty of VETI NRNU MEPhI about adherence to the organizational culture requirements]

Из графиков видно, что все опрошенные студенты к концу обучения стараются соблюдать дресс-код и не опаздывать на пары, что говорит об их желании соответствовать нормам, установленным в институте, и росте поведенческой ответственности – одного из маркеров успешной вертикальной коммуникации. По линии тренда наблюдается незначительное увеличение количества студентов, не имеющих прогулов выше допустимой нормы. Студенты строго подходят к оценке пропусков занятий, относя к неуважительным причинам (наряду с неготовностью к занятию и желанием иногда быть «не как все») и неподтвержденное медицинской справкой плохое самочувствие, и непредвиденные объективные и субъективные обстоятельства. Тем не менее, к четвертому курсу наблюдается усиление обратной связи с преподавателями, студенты чаще информируют именно их о возможных пропусках занятий. Полученные данные свидетельствуют, что все студенты информированы/знают о действующих нормах и правилах, встраивая их в собственную систему приоритетов в профессиональной и личной жизни, уделяя тем или иным аспектам большее или меньшее внимание.

Помимо критического мышления и регламентированности приверженность безопасности на индивидуальном уровне включает в себя коммуникативность, которая в академической среде выражается в дискуссионной составляющей, упорядоченном конспектировании получаемой информации, способности к активной рефлексии в процессе обучения. Согласно данным на рисунках 3а, б и 4 можно утверждать, что

студенты умеют правильно и четко формулировать вопросы согласно возникающим трудностям, грамотно подходят к конспектированию лекционного материала, тем самым укрепляя мотивационно-коммуникативную составляющую профессиональной приверженности.

На рисунке 7 показаны каналы обратной связи на занятии.

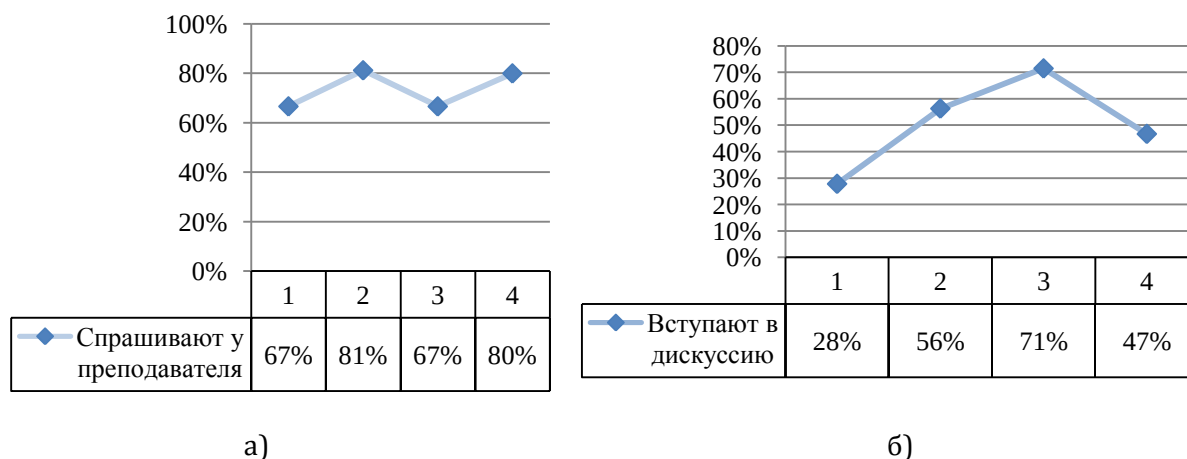


Рисунок 7 – Студенты 1-4 курсов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» ВИТИ НИЯУ МИФИ а) о вопросах преподавателю, если на лекции что-то было не понятно; б) о тематическом дискутировании на занятиях [The 1st- and 4th- year students of "Nuclear Stations: Design, Operation and Engineering" specialty of VETI NRNU MEPhI a) questions to the teacher, if something was not clear in the lecture; б) on thematic discussion in the classroom]

Корреляция данных на рисунках 3б и 7 свидетельствует о том, что студенты не только стараются успеть законспектировать лекционный материал, но активно перерабатывают его, вникают в суть услышанного, встраивают новые компетенции в формирующуюся модель мотивационно-коммуникативного поведения. С учетом погрешности измерения ситуативно-личностных факторов мотивационно-коммуникативной составляющей организационной и профессиональной приверженности студентов, обусловленной негативными эффектами группового мышления (чрезмерный оптимизм группы; иногда принятые группой решения конфликтуют с оперативной информацией; группа оказывает давление на любого человека, который сомневается в ее мнении; члены группы не хотят расходиться во взглядах с групповым консенсусом, тем самым снимают с себя ответственность и проявляют безынициативность; группа считает, что каждый ее член в полном согласии со всеми другими, поскольку люди с отличными взглядами не высказываются и т.п.), в совокупности полученные данные позволяют говорить о наличии у студентов качеств, необходимых для формирования приверженности безопасности на индивидуальном уровне еще до трудоустройства на предприятия атомной отрасли. Представленные результаты исследования мотивационной сферы студентов, а именно ситуативно-личностных факторов организационной и профессиональной приверженности, отражают важность формирования профессионального целеполагания как основы профессиональной приверженности и актуализируют реализацию принципов культуры безопасности как базовых корпоративных ценностей атомной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safety Culture. Доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности (INSAG-4) [Электронный ресурс]. – Вена : МАГАТЭ, 1991. – URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub882r_web.pdf (дата обращения: 01.06.2018).

2. ОПБ АС-88/97. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций [Электронный ресурс]. – Москва : НТЦ ЯРБ, 1998. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200048646> (дата обращения: 22.05.2018).
3. НП 001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций [Электронный ресурс] – Москва : ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2016. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420329007> (дата обращения: 01.06.2018).
4. Кардовская, Е.К. Рефлексия и целеполагание как механизмы развития профессионального самосознания у студентов [Электронный ресурс] / Е.К. Кардовская. – URL: http://teoria-practica.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/2011/4/psix%D0%BE%D0%BEgiy%D0%B0/kardovskaya.pdf (дата обращения: 01.06.2018).
5. Лобковская, Н.И. Социальное самочувствие студентов специальности «Атомные электрические станции» ВИТИ НИЯУ МИФИ [Текст] / Н.И. Лобковская // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 4 (5) – С. 95.
6. Руденко, В.А. Мотивационная составляющая личности в культуре безопасности [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2 (11) – С. 140.
7. Лобковская, Н.И. Профессиональное целеполагание как составляющая культуры безопасности будущего специалиста-атомщика [Электронный ресурс] / Н.И. Лобковская, Ю.А. Евдошкина // Современное образование. – 2017. – № 1. – С. 32-38. – URL: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (дата обращения: 01.06.2018).
8. Райков, С.В. Интеграция культуры безопасности в систему управления безопасностью Госкорпорации «Росатом»: презентация [Рукопись в Microsoft PowerPoint] / С.В. Райков. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2013.
9. Руденко В.А. Культура безопасности в системе ценностей Госкорпорации «Росатом» [Текст] / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 1 (18) – С. 118-122.
10. Евдошкина, Ю.А. Практико-ориентированная технология формирования культуры безопасности выпускников, ориентированных на работу в атомной отрасли [Текст] / Ю.А. Евдошкина, В.А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4 (25). – С. 122-129.

REFERENCES

- [1] Safety Culture. Doklad mezhdunarodnoj konsul'tativnoj gruppy` po yadernoj bezopasnosti (INSAG-4) [Safety Culture. Report of International Advisory Group on Nuclear Safety (INSAG-4)]. Viena, MAGATE [Vienna, IAEA]. 1991. Available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub882r_web.pdf (in Russian).
- [2] ОПБ АС-88/97. Obshhie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomny`x stancij [General Provisions of Nuclear Power Plant Safety]. Moskva : NTCz YaRB [Moscow : NTTS YARB]. 1998. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200048646> (in Russian).
- [3] NP 001-15. Obshhie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomny`x stancij [NP 001-15. General Provisions of Nuclear Power Plant Safety]. Moskva : FBU «NTCz YaRB» [Moscow : FBU "SEC NRS"]. 2016. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420329007> (in Russian).
- [4] Kardovskaya E.K. Refleksiya i celepolaganie kak mexanizmy` razvitiya professional'nogo samosoznaniya u studentov [Reflection and Goal-Setting as Mechanisms of Development of Professional Self-Consciousness of Students]. Available at: http://teoria-practica.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/2011/4/psix%D0%BE%D0%BEgiy%D0%B0/kardovskaya.pdf (in Russian).
- [5] Lobkovskaya N.I. Social'noe samochuvstvie studentov special'nosti «Atomny`e e`lektricheskie stancii» VITI NIYaU MIFI [Social Well-Being of Students of "Nuclear Power Station" VETI NRNU MEPhI]. Global'naya yadernaya bezopasnost` [Global Nuclear Safety]. 2012. № 4 (5) – P. 95 (in Russian).
- [6] Rudenko V.A., Vasilenko N.P. Motivacionnaya sostavlyayushhaya lichnosti v kul'ture bezopasnosti [Motivational Component of Personality in the safety culture]. Global'naya yadernaya bezopasnost [Gglobal nuclear safety]. 2014. № 2 (11). P. 140 (in Russian).
- [7] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional'noe celepolaganie kak sostavlyayushhaya kul'tury` bezopasnosti budushhego specialista-atomshhika [Professional Goal-Setting as a Component of the Safety Culture of a Future Nuclear Specialist]. Sovremennoe obrazovanie [Modern Education]. 2017. № 1. P. 32-38. Available at: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (in Russian).
- [8] Rajkov S.V. Integraciya kul'tury` bezopasnosti v sistemu upravleniya bezopasnost`yu Goskorporacii «Rosatom»: prezentaciya. Rukopis` v Microsoft PowerPoint [Integration of safety Culture into «Rosatom»: prezentaciya. Rukopis` v Microsoft PowerPoint] [Integration of safety Culture into

- Rosatom State Corporation Safety Management System: Presentation. Manuscript in Microsoft PowerPoint]. Moskva : NIYaU MIF [Moscow : National Research Nuclear University MEPhI]. 2013 (in Russian).
- [9] Rudenko V.A. Vasilenko N.P. Kul'tura bezopasnosti v sisteme cennostej Goskorporacii «Rosatom» [Safety culture in the system of the State Corporation Rosatom Values]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2016. № 1 (18). P. 118-122 (in Russian).
- [10] Evdoshkina Yu.A., Rudenko V.A. Praktiko-orientirovannaya tekhnologiya formirovaniya kul'tury bezopasnosti vy`pusknikov, orientirovanny`x na rabotu v atomnoj otrasli [Practice-Oriented Technology of Creating a Safety Culture of Graduates Oriented to Work in the Nuclear Industry]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global nuclear security]. 2017. № 4 (25). P. 122-129 (in Russian).

Situative and Personal Factors of Organizational and Professional Commitment to Safety Culture of VETI NRNU "MEPhI" Nuclear Energy Department Students

V.A. Rudenko¹, N.I. Lobkovskaya², Y.A. Evdoshkina³

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

¹ORCID iD: 0000-0002-6698-5469

WoS Researcher ID: B-7730-2016

e-mail: VARudenko@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0002-0297-5800

WoS Researcher ID: O-3879-2018

e-mail: NILobkovskaya@mephi.ru

³ORCID iD: 0000-0002-6704-0643

WoS Researcher ID: G-8379-2017

e-mail: YAEvdoshkina@mephi.ru

Abstract –This article investigate the situational and personal factors of organizational and professional commitment to the safety culture of students of "Nuclear Power Plants: Design, Operation and Engineering" specialty. The paper uses the methods of sociological survey and data analysis. The findings suggest that students have the qualities necessary to form a commitment to safety at the individual level. The presented results of the study of the student motivational sphere reflect the importance of professional goal-setting formation as the basis of professional commitment and actualize the implementation of the safety culture principles as the basic corporate values of the nuclear industry.

Keywords: safety culture, organizational and professional commitment, goal-setting, motivational and communicative competence.

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

УДК 343(075.8)

**НЕЗАКОННОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО В ОБЛАСТИ
ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КАК УГРОЗА БЕЗОПАСНОСТИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

© 2018 М.В. Галда, И.В. Бушуев, М.В. Петров

Волгодонский филиал Федерального государственного казенного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В статье рассматриваются проблемные вопросы, связанные с осуществлением незаконной предпринимательской деятельности на объектах ядерной энергетики. Авторы данной работы проводят анализ причин совершения преступлений на объектах повышенной опасности, рассматривают меры по предупреждению указанной категории преступлений.

Ключевые слова: незаконная предпринимательская деятельность, атомная энергия, атомная электростанция, лицензирование.

Поступила в редакцию 27.07.2018 г.

Россия входит в пятерку мировых атомных держав и остается лидером в развитии атомной энергетики. Сегодня невозможно представить жизнь без «мирного атома», который обеспечивает энергонезависимость, энергобезопасность любой страны. В энергетической сфере сегодня нет видов энергии, способных конкурировать с атомной энергетикой. Однако мнения о безопасности эксплуатации атомных установок разделены. Сторонники атомной энергетики говорят о том, что атомная энергия имеет ряд преимуществ перед другими энергетическими источниками. Например, атомные электростанции являются экологичными, т.к. в отличие от тепловых (ТЭЦ) и гидроэлектростанций (ГЭС), не имеют отходов, газовых выбросов и т.п. Их оппоненты противопоставляют энергии атома более экологичные виды энергии, вырабатываемые при помощи солнечного излучения или ветра, а так же приводят примеры атомных катастроф в Чернобыле, на «Фокусиме-1». В то же время, мощности гелиостанций и ветряных электростанций, не позволяют обеспечить растущую потребность людей в дешевой электроэнергии. Это приводит к тому, что многие страны мира отдают предпочтения атомной энергетике, несмотря на потенциальные угрозы, которые связаны с эксплуатацией атомных станций. При обсуждении вопросов использования атомной энергии аспекты безопасности всегда выходят на первый план. Повышение уровня безопасности в атомной отрасли подразумевает стремление избежать несчастных случаев, которые могут причинить вред здоровью, окружающей среде и экономическим ценностям. Именно поэтому решение проблемы безопасного использования атомной энергии не имеет национальных границ и является задачей мирового уровня.

К сожалению, как показывает практика, преступность не обошла и такую перспективную, но и потенциально опасную отрасль, как атомная энергетика. Причем

речь идет не только об угрозах, формируемых в технических системах, сбой в которых более всего беспокоят общественность. В данной статье авторы затрагивают проблему обеспечения безопасности экономической системы объектов ядерной энергетики.

Так, уровень безопасности атомной станции формируется еще на стадии ее строительства. Соблюдение технологий возведения блоков АЭС, использование качественных материалов и комплектующих, позволяет свести к минимуму риск аварии при эксплуатации АЭС. Однако недобросовестные подрядные, субподрядные организации, участвующие в строительстве АЭС, в погоне за сверхприбылью, пытаются сократить свои затраты, используя менее качественные материалы, зачастую выходя за рамки закона, не задумываясь о последствиях таких манипуляций. Негативные результаты подобных действий рассмотрены в работах отечественных и зарубежных авторов [9-14].

Безусловно, значительный вклад в безопасность АЭС вносят правоохранительные органы, в обязанности которых входит выявление, предупреждение и пресечение такого рода преступлений. Как показывает практика, наиболее распространенным видом преступления, совершаемым на стадии строительства АЭС является – незаконное предпринимательство.

В соответствии с Постановлением Пленума Верховного Суда РФ от 18.11.2004 N 23 при решении вопроса о наличии в действиях лица признаков осуществления предпринимательской деятельности без специального разрешения (лицензии) в случаях, когда такое разрешение обязательно, следует исходить из того, что отдельные виды деятельности, перечень которых определяется федеральным законом, могут осуществляться только на основании специального разрешения (лицензии) [7].

Федеральный закон от 21.11.1995 «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ закрепил регулирование всех видов деятельности в области использования атомной энергии, включая строительство и ввод в эксплуатацию ядерных установок. Впервые на законодательном уровне определяется содержание лицензии и перечень лицензируемых видов деятельности, к которым относится и сооружение, эксплуатация ядерных установок [4].

Лицензирование деятельности в области использования атомной энергии осуществляется Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и ее территориальными органами (Ростехнадзор). Постановление Правительства РФ от 29 марта 2013 г. № 280 «О лицензировании деятельности в области использования атомной энергии» устанавливает порядок лицензирования деятельности в области использования атомной энергии в соответствии со статьей 26 Федерального закона «Об использовании атомной энергии» [6].

По данным Информационного центра ГУ МВД России по Ростовской области с 2012 г. по 2014 г., т.е. в период активной фазы строительства энергоблоков № 3, № 4 Ростовской атомной электростанции правоохранительными органами в отношении должностных лиц субподрядных организаций возбуждено и расследовано 7 уголовных дел по признакам состава преступления, предусмотренного ст.171 УК РФ – незаконное предпринимательство (ч.1 ст. 171 УК РФ – 2 уголовных дела, п. «б» ч.2 ст. 171 УК РФ – 5 уголовных дела). В 2012 году возбуждено – 4 уголовных дела данной категории, в 2013 году – 2 уголовных дела, в 2014 году – 1 уголовное дело, в 2015-2017 г.г. уголовные дела не возбуждались.

Уголовные дела по ст. 171 УК РФ возбуждались по признакам осуществления предпринимательской деятельности без лицензии в случаях, когда такая лицензия обязательна, если это деяние сопряжено с извлечением дохода в крупном размере (свыше 1 млн. 500 тыс. руб.), и по п. «б» ч.2 – с извлечением дохода в особо крупном размере (свыше 6 млн. руб.) [2].

В последствие три уголовных дела рассмотрены в суде первой инстанции, виновные лица осуждены (назначено наказание в виде штрафа), три уголовных дела прекращены по нереабилитирующим основаниям, вследствие акта об амнистии, одно уголовное дело прекращено по основанию, предусмотренному п.2 ч.1 ст. 24 УПК РФ – отсутствие состава преступления.

Анализ причин совершения такого рода преступлений, на объектах повышенной опасности, показал, что подрядными организациями были заключены договоры субподряда с организациями, не имеющими лицензии Ростехнадзора. Безусловно, обязанность получения лицензии лежит целиком на должностных лицах субподрядных организаций. В то же время, по мнению авторов, должностные лица подрядных организаций являются соучастниками преступления, т.к. при заключении договора должны были убедиться в наличии у субподрядной организации лицензии, дающей право на сооружение ядерных установок. И, следовательно, должны нести ответственность, которую российское законодательство пока не предусматривает для должностных лиц подрядных организаций.

На правоохранительных органах лежит обязанность пресечения преступной деятельности, в том числе и незаконного предпринимательства. Однако практика демонстрирует такие проблемы, как невозможность приостановить работы выполняемые организацией, не имеющей соответствующей лицензии, на объектах возводимого энергоблока. Это препятствие обусловлено и недопустимым экономическим ущербом, и определенными техногенными рисками. Так, например, субподрядная организация выполняла работы по водопонижению и водоотведению грунтовых вод при строительстве энергоблока одной из атомных станций без вышеупомянутого разрешения. Прекращение данного вида работ могло обернуться последствиями, несоизмеримыми совершенному деянию, т.к. грунтовыми водами была бы разрушена вся инфраструктура, нарушен технологический процесс возведения блока атомной электростанции, государству был бы причинен ущерб в сотни миллионов рублей.

Эффективность противодействия преступной экономической деятельности на объектах атомной энергетики напрямую зависит от системного взаимодействия между всеми стейкхолдерами. Положительным примером может послужить взаимодействие правоохранительных органов и должностных лиц Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» (далее – Ростовская АЭС). На данном объекте удалось фактически искоренить такой вид преступления как незаконное предпринимательство благодаря взаимодействию правоохранительных органов (МВД, ФСБ, прокуратуры), Ростехнадзора и Ростовской АЭС, когда общими усилиями пресечены попытки заключить договора на выполнение работ с организациями, не имеющими лицензии Ростехнадзора. Органом предварительного следствия в адрес руководителей организаций, допустивших привлечение к проведению работ организации, не имеющие лицензии Ростехнадзора на право ведения работ по сооружению блоков АЭС, направлялись представления об устранении условий, способствовавших совершению преступления (рис. 1). Только одна организация дважды допустила подобного рода нарушения, что повлекло отзыв лицензии. В связи с отзывом лицензии, организация не смогла продолжить выполнение работ на Ростовской АЭС.

Кроме того, постоянный контроль объема и качества выполненных работ каждой подрядной, субподрядной организацией позволил, в конечном итоге, успешно ввести в эксплуатацию энергоблоки № 3, № 4 Ростовской атомной электростанции.

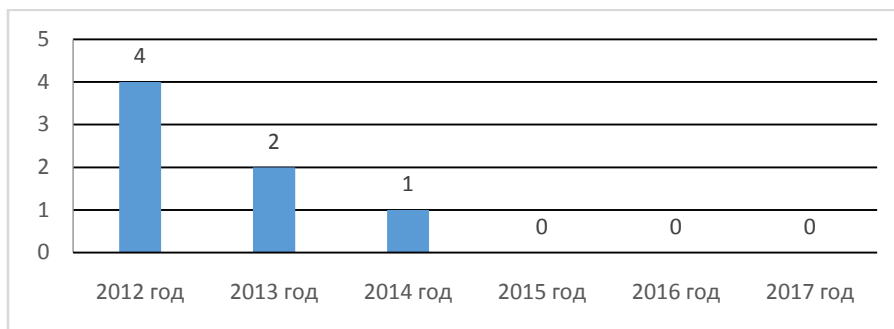


Рисунок 1 – Представления об устранении условий, способствовавших совершению преступлений на Ростовской АЭС в 2012-2017 гг. [Representations on the elimination of conditions that contributed to the commission of crimes at the Rostov NPP in 2012-2017]

Преступления, совершаемые на объектах атомной энергетики, вызывают большой общественный резонанс, т.к. негативно влияют на безопасность данных объектов, а это, безусловно, заботит каждого человека. В возведении блоков атомных станций должны принимать участие только профессиональные организации, имеющие лицензии на выполнение данного вида работ. С целью борьбы с незаконным предпринимательством в области атомной энергетики нами предлагается ужесточение наказания за такое преступление. Также предлагается ввести ответственность за пособничество в незаконном предпринимательстве, в отношении лиц, допустивших организации, не имеющие лицензии, к работам по возведению блоков АЭС, т.к. такие лица по роду своей деятельности знают об отсутствии лицензии и, заключая договор с такой организацией, способствуют ей в незаконном получении прибыли. Это согласуется с задачами организации функционирования системы внутреннего контроля на предприятиях, осуществляющих строительство и эксплуатацию АЭС [9]. Эта система призвана блокировать негативные последствия, связанные с нарушением правил и нормативно-правовых актов сотрудниками предприятий.

Именно поэтому тесное взаимодействие корпоративного менеджмента с правоохранительными органами позволит свести к минимуму не менее опасные для обеспечения жизнедеятельности человека, чем технические, экономические риски функционирования объектов атомной энергетики. Это в полной мере согласуется с требованиями и рекомендациями МАГАТЭ по деловой этике, не допускающих коррупции и взяточничества, нелегальной продажи и неправомерных действий, использования некачественных материалов и технологий.

Таким образом, необходимо обеспечивать приоритет безопасности перед стремлением к прибыли. Дальнейшая систематизация взаимодействия и своевременные коррективы в законодательстве позволят решить эту задачу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ) // Собрание законодательства РФ, 04.08.2014, N 31, ст. 4398.
2. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 N 63-ФЗ (ред. от 03.07.2018) // Собрание законодательства РФ, 17.06.1996, N 25, ст. 2954.
3. Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации от 18.12.2001 N 174-ФЗ (ред. от 19.07.2018) // Парламентская газета, N 241-242, 22.12.2001.
4. Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» // Собрание законодательства РФ, 27.11.1995, N 48, ст. 4552.

5. Федеральный закон «О лицензировании отдельных видов деятельности» от 04.05.2011 N 99-ФЗ (последняя редакция) // Российская газета, N 97, 06.05.2011.
6. Постановление Правительства РФ от 29.03.2013 № 280 «О лицензировании деятельности в области использования атомной энергии» (вместе с «Положением о лицензировании деятельности в области использования атомной энергии») // Собрание законодательства РФ, 08.04.2013, N 14, ст. 1700.
7. Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 18 ноября 2004 г. № 23 «О судебной практике по делам о незаконном предпринимательстве» [Электронный ресурс] – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/1253895/> (дата обращения: 08.05.2018).
8. Захаров, О. Ю. Обеспечение комплексной безопасности предпринимательской деятельности [Текст] / О.Ю. Захаров. – Москва : Книжкин дом, 2017. – 320 с.
9. Anoop Singh, Sonali Jain-Chandra, and Adil Mohommad, Inclusive Growth, Institutions, and the Underground Economy. IMF Working Paper. 2012. 12/47. February 1.
10. Dzarasov, R. Insider Control and Investment Behaviour of Russian Corporations. PhD. Thesis in Economics. Stoke-on-Trent. UK. 2007. P.78.
11. Golovko M., Kuznetsova V. Compliance risks of industrial enterprises as a result of inefficiency of the institutional environment of the macro-region / Proceedings of the International Scientific Conference «Competitive, Sustainable and Secure Development of the Regional Economy: Response to Global Challenges» (CSSDRE 2018). URL: <https://www.atlantispress.com/proceedings/cssdre-18/25896314> doi:10.2991/cssdre-18.2018.9
12. Johnson S., Kaufmann D., McMillan J., Woodruff C. (2000), Why Do Firms Hide? Bribes and Unofficial Activity After Communism. Journal of Public Economics. Vol. 76. June 2000. P. 495 – 520.
13. Nosova S.S., Mackulyak I.D., Lyubimtseva S.V., Askerov P.F., Shkalaberda L.I., Aliev, U.T. New management model of modern Russian economy: Regional aspect // International Review of Management and Marketing. Volume 6. Issue 6. 2016. P. 21-26.
14. Головкин, М.В. Проблемы преодоления инсайдерского контроля в рамках Госкорпораций (на примере ГК «РОСАТОМ») // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 2 (7).

REFERENCES

- [1] Konstituciya Rossijskoj Federacii (prinyata vsenarodny`m golosovaniem 12.12.1993) (s uchetom popravok, vnesenny`x Zakonami RF o popravkax k Konstitucii RF ot 30.12.2008 N 6-FKZ, ot 30.12.2008 N 7-FKZ, ot 05.02.2014 N 2-FKZ, ot 21.07.2014 N 11-FKZ) [The Constitution of the Russian Federation (adopted by popular vote on 12.12.1993) (taking into account the amendments introduced by the Laws of the Russian Federation on Amendments to the Constitution of the Russian Federation of December 30, 2008 No. 6-FKZ, dated 30.12.2008 N 7-FKZ, dated 05.02.2014 N 2 -FKZ, from July 21, 2014 N 11-FKZ)]. Sbornie zakonodatel'stva RF, 04.08.2014, N 31, st. 4398 [Collection of legislation of the Russian Federation, 04.08.2014, N 31, art. 4398] (in Russian).
- [2] Uголовny`j kodeks Rossijskoj Federacii ot 13.06.1996 N 63-FZ (red. ot 03.07.2018) [The Criminal Code of the Russian Federation of 13.06.1996 N 63-FZ (as amended on 03.07.2018)]. Sbornie zakonodatel'stva RF, 17.06.1996, N 25, st. 2954 [Collection of Legislation of the Russian Federation, 17.06.1996, No. 25, art. 2954] (in Russian).
- [3] Uголовно-процессуальny`j kodeks Rossijskoj Federacii ot 18.12.2001 N 174-FZ (red. ot 19.07.2018) [The Code of Criminal Procedure of the Russian Federation of December 18, 2001 N 174-FZ (as amended on July 19, 2013)]. Parlamentskaya gazeta, N 241-242, 22.12.2001 [Parliamentary Newspaper, No. 241-242, December 22, 2001.] (in Russian).
- [4] Federal'ny`j zakon ot 21.11.1995 № 170-FZ «Ob ispol'zovanii atomnoj e`nergii» [Federal Law of 21.11.1995 No. 170-FZ "Use of Atomic Energy"]. Sbornie zakonodatel'stva RF, 27.11.1995, N 48, st. 4552 [Collection of legislation of the Russian Federation, 27.11.1995, N 48, art. 4552] (in Russian).
- [5] Federal'ny`j zakon «O licenzirovanii otdel'ny`x vidov deyatel`nosti» ot 04.05.2011 N 99-FZ (poslednyaya redakciya) [Federal Law "Licensing of Certain Types of Activities" of 04.05.2011 N 99-FZ (last version)]. Rossijskaya gazeta, N 97, 06.05.2011 [Russian Newspaper, No. 97, 06/05/2011] (in Russian).
- [6] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 29.03.2013 № 280 «O licenzirovanii deyatel`nosti v oblasti ispol'zovaniya atomnoj e`nergii» (vmeste s «Polozheniem o licenzirovanii deyatel`nosti v oblasti ispol'zovaniya atomnoj e`nergii») [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 280 dated 29.03.2013 "Licensing Activities in the Field of the Use of Atomic Energy" (together with the "Regulations on Licensing Activities in the Field of the Use of Atomic Energy ")]. Sbornie

- zakonodatel'stva RF, 08.04.2013, N 14, st. 1700 [Collection of legislation of the Russian Federation, 08.04.2013, N 14, art. 1700.] (in Russian).
- [7] Postanovlenie Plenuma Verxovnogo Suda RF ot 18 noyabrya 2004 g. № 23 «O sudebnoj praktike po delam o nezakonnom predprinimatel'stve» [Resolution of the Plenum of the Supreme Court of the Russian Federation of November 18, 2004 No. 23 "On Judicial Practice in Cases of Illegal Business"]. Available at: URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/1253895/> (in Russian).
- [8] Zaxarov O.Yu. Obespechenie kompleksnoj bezopasnosti predprinimatel'skoj deyatel'nosti [Ensuring Integrated Business Security]. Moskva. Knizhkin dom [Moscow. Knizhkin dom]. 2017. 320 p. (in Russian).
- [9] Anoop Singh, Sonali Jain-Chandra, and Adil Mohammad, Inclusive Growth, Institutions, and the Underground Economy. IMF Working Paper, 2012. 12/47, February 1.
- [10] Dzarasov, R. Insider Control and Investment Behaviour of Russian Corporations. PhD. Thesis in Economics. Stoke-on-Trent. UK. 2007. P. 78
- [11] Golovko M., Kuznetsova V. Compliance risks of industrial enterprises as a result of inefficiency of the institutional environment of the macro-region / Proceedings of the International Scientific Conference «Competitive, Sustainable and Secure Development of the Regional Economy: Response to Global Challenges» (CSSDRE 2018). URL: <https://www.atlantispress.com/proceedings/cssdre-18/25896314> doi:10.2991/cssdre-18.2018.9
- [12] Johnson S., Kaufmann D., McMillan J., Woodruff C. (2000), Why Do Firms Hide? Bribes and Unofficial Activity After Communism, Journal of Public Economics. Vol. 76. June 2000. P. 495-520.
- [13] Nosova S.S., Mackulyak I.D., Lyubimtseva S.V., Askerov P.F., Shkalaberda L.I., Aliev, U.T. New management model of modern Russian economy: Regional aspect. International Review of Management and Marketing. Volume 6. Issue 6. 2016. P. 21-26.
- [14] Golovko M.V. Problemy preodoleniya insajderskogo kontrolya v ramkax Goskorporacij (na primere GK «ROSATOM») [The problem of Overcoming the Insider Control within State-Owned Corporations (on the example of SC "ROSATOM")]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global nuclear safety]. 2013. № 2 (7) (in Russian).

Illegal Business in the Field of Nuclear Energy as a Threat to the Safety of Nuclear Power Plant Operation

M.V. Galda¹, I.V. Bushuyev², M.V. Petrov³

Volgodonsk branch of the Federal state educational institution of higher education «Rostov law Institute of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation», Rostov region, Stepnaya St., 40. Volgodonsk, Rostov region, Russia, 347360

¹ORCID iD: 0000-0001-9137-2819

WoS Researcher ID: P-2581-2018

e-mail: mikhail.galda@mail.ru

²ORCID iD: 0000-0001-7401-9810

WoS Researcher ID: P-2560-2018

e-mail: bushuev.igor.2017@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0003-2787-3349

WoS Researcher ID: P-1604-2018

e-mail: petrovmaxim1980@yandex.ru

Abstract – The article deals with the problematic issues related to the implementation of illegal business activities at nuclear power facilities. The authors of this work analyze the causes of crimes at high-risk sites, consider measures to prevent this category of crimes.

Keywords: illegal business activity, nuclear energy, nuclear power plant, licensing.

**На 71-ом году ушел из жизни профессор, доктор технических наук
Сас Анатолий Васильевич**

Лауреат премии Ленинского комсомола, специалист в области управления сварочными процессами и автономного обучения инженеров сварщиков. Автор более 50-ти научных трудов.

Сас Анатолий Васильевич родился в 1947 году в г. Екатеринбурге. Как человек, поистине до глубины души любивший физику и математику еще со школьных лет, поступил в МВТУ им. Баумана. И успешно окончил его по специальности «Системы автоматического управления». Затем, как и полагается, служба в рядах Советской Армии. По возвращении занялся наукой, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Мир научных исследований настолько увлек Анатолия Васильевича, что спустя несколько лет он защитил докторскую диссертацию. И сам стал готовить молодых ученых. На его научно-педагогическом счету 5 кандидатов наук. Работал Анатолий Васильевич при этом в Российском государственном университете нефти и газа. Читал лекции по дисциплинам "Математические модели и применение ЭВМ" и "Автоматизация сварочных процессов". Руководил учебным центром «Парк-профессионал».



В течение нескольких лет, в дополнение к основной своей деятельности, работал профессором кафедры «Информационные и управляющие системы» Волгодонского инженерно-технического института Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». С коллективом кафедры его связывали тесные дружеские отношения. Анатолий Васильевич являлся постоянным участником проводимой в ВИТИ НИЯУ МИФИ ежегодной Международной научно-практической конференции «Безопасность ядерной энергетики», автором журнала «Глобальная ядерная безопасность». Сам выступал с докладами и студентам помогал участвовать в столь значимом мероприятии, способствуя тем самым преемственности поколений и развитию научного знания.

Анатолий Васильевич, как по-настоящему талантливый человек, талантлив был во всем. Увлекался спортом – легко достиг уровня кандидата в мастера спорта по бегу, любил писать стихи – Анатолий Васильевич является автором Гимна сварщиков и автором целого поэтического сборника.

При этом очень добрый, отзывчивый, глубоко порядочный и интеллигентный. Настоящий ученый, человек с большой буквы, он очень любил свою работу, своих студентов, семью, он очень любил жизнь...

Руководство, профессорско-преподавательский коллектив, студенты, сотрудники ВИТИ НИЯУ МИФИ и все, кто имел честь учиться у него и работать с ним, выражают искренние соболезнования родным и близким профессора Саса Анатолия Васильевича.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА 3. 2018

Абраамян Ш.А.	49	Козырев М.Е.	30
Алалем Е.А.	7	Кривин В.В.	43
Аль Малкави Р.Т.	49	Ксенофонов А.И.	7
Алюшин В.М.	81	Лобковская Н.И.	87
Бушуев И.В.	98	Наугольников В.А.	73
Вольман М.А.	64	Науменко Г.А.	73
Выговский С.Б.	49	Петров М.В.	98
Галда М.В.	98	Пимшин И.Ю.	73
Гончарук А.В.	17	Пимшин Ю.И.	37, 73
Гу Ц.	30	Руденко В.А.	87
Евдошкина Ю.А.	87	Рыбачук А.М.	30
Елохин А.П.	7	Семенов В.К.	64
Забазнов Ю.С.	37	Терехов К.Г.	23
Заяров Ю.В.	37	Толстов В.А.	43
Ишигов И.О.	43	Хачатрян А.Г.	49

AUTHOR INDEX OF VOL. 3, 2018

Abraamyan Sh.A.	49	Kozyrev M.E.	30
Alalem E.A.	7	Krivin V.V.	43
Al Malkawi R.T.	49	Ksenofontov A.I.	7
Alyushin V.M.	81	Lobkovskaya N.I.	87
Bushuyev I.V.	98	Naugolnov V.A.	73
Volman M.A.	64	Naumenko G.A.	73
Vygovskiy S.B.	49	Petrov M.V.	98
Galda M.V.	98	Pimshin I.U.	73
Goncharuk A.V.	17	Pimshin Y.I.	37, 73
Gu J.	30	Rudenko V.A.	87
Evdoshkina Y.A.	87	Rybachuk A.M.	30
Elokhin A.P.	7	Semenov V.K.	64
Zabaznov Y.S.	37	Terehov K.G.	23
Zayrov Y.V.	37	Tolstov V.A.	43
Ishigov I.O.	43	Khachatryan A.G.	49

NOTES FOR AUTHORS

(Dear authors, the editors of the magazine draw your attention to some changes in the rules of the article preparation)

The full text of article intended for publication has to be followed by representation of establishment in which work is made, and is signed by authors. The file has to contain the expert resolution on publication possibility. One file consists of one paper which has the following:

- UDC index;
- the title, the abstract and keywords in Russian and English;
- the list of references in Russian and English;
- information about the authors in Russian and English (a surname, a name, a middle name, a work place, a position, an academic degree, a rank, postal address, and E-mail address, contact phone; specify who to be corresponded with;

A file with information about place of employment in Russian and English, including the postal address and index (if there are several authors, specify the place of employment of each author);

- ORCID и Researcher index of each author (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>)

An article should be processed in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format, 12 point font Times New Roman; print - 1 interval. Page parameters: all sides are 2,5 cm. Please do not use signs of forced transfer and additional gaps. The volume of article has to be no more than 15 pages of the typewritten text, including tables, drawings (no more than 10) and the list of references (10-15 sources). If the text of the article is less than 2500 type characters, it may not be considered. It is necessary to check the articles through the program antiplagiat, allowable borrowing and self-citation - no more than 20%.

The article should contain only the most necessary formulas, it is desirable to abandon the intermediate calculations. The equation editor of Equation 3.0 is recommended to record the formulas. All formulas are aligned to the center of the page, numbered in parentheses on the right and referred to in the text of the article. Inclusion of tables in the article should be appropriate. Tables should be numbered and headings in Russian and English (10 pf). It is desirable that the tables do not exceed one page of text. Figures should be black and white, numbered, figure captions in Russian and English (10 pf), have links in the text and be accompanied by justifications and conclusions. The units of measurement should be given in accordance with the International System (SI).

References are given at the end of article in order they mention. References are highlighted with square brackets. References to foreign sources are given in the original language and are accompanied, in case of translation into Russian, with indication of the translation. The bibliography has to be issued according to state standard specification 7.1-2003 "Bibliographic record and the bibliographic description. General requirements and rules of drawing up". Textbooks, reference books, guidelines and recommendations are not included in the list of references. References are provided separately (see the guidelines in "The list of references standard in English").

To accept an article in the journal you should provide the following materials: an article file in Word format, the same file in pdf format, separate files of all pictures in the bmp, jpeg or gif formats.

The bibliography has to be issued according to **Scopus** standard specification.

THE LIST OF REFERENCES STANDARD IN ENGLISH

For journals:

- [1] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredy deystviya v sisteme proektirovaniya tehnologii demontazha oborudovaniya pri vyvode iz ekspluatatsii bloka AES [The analysis and representation of the action environment in system of technology design of equipment dismantle during NPP unit taking out of operation] [Global nuclear safety]. 2014. № 1(10). P. 25-31 (in Russian).
- [2] Lobkovskaya N.I., Evdoshkina Yu.A. Professional'noe celepolaganie kak sostavlyayushhaya kul'tury bezopasnosti budushhego specialista-atomshhika [Professional Goal-Setting as a Component of the Safety Culture of a Future Nuclear Specialist]. Sovremennoe obrazovanie [Modern Education]. 2017. № 1. P. 32-38. Available at: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (in Russian).

Indicate article DOI if it in the presence.

For books:

- [3] Mogilev V.A., Novikov S.A., Faykov Yu.I. Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlya issledovaniya mekhanicheskoy stoykosti konstruktsy. [Explosive experiment techniques for research of mechanical firmness of designs]. Sarov. FGUP "RFYaTs-VNIIEF" [Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics]. 2007. 215 p. (in Russian).

For web-resources:

- [4] Strategia razvitiia transportnogo kompleksa Rostovskoj oblasti do 2030 goda [Development strategy of a transport complex of the Rostov region till 2030]. Officialnij sait Ministerstva transporta Rostovskoj oblasti [Official site of the Transport Ministry of Rostov region]. 2015. Available at: <http://mindortrans.donland.ru/Default.aspx?pageid=107384> (in Russian).

For foreign references:

- [5] Gulyaev M., Bogorovskaia S., Shapkina T. The Atmospheric air condition in Rostov Oblast and its effect on the population health // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. CA. USA. B&M Publishing. 2014. P. 56-60.

For materials of conferences:

- [6] Gerasimov S.I., Kuzmin V.A. Issledovaniye osobennostey initsirovaniya svetochuvstvitelny vzryvchatykh sostavov nekogerentnym izlucheniem [Research of features of initiation are photosensitive explosive structures incoherent radiation] [Works of the International conference "16 Haritonov's scientific readings"]. Sarov. FGUP "RFYaTs-VNIIEF" [Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics]. 2014. P. 90-93 (in Russian).

For materials of conferences (foreign references):

- [7] Ishikawa M. et al. Reactor decommissioning in Japan: Philosophy and first programme. «N power performance and safety. Conference proceedings. Vienna, 28 September – 2 october 1987. V. 5. Nuclear Fuel Cycle». IAEA. Vienna. 1988. P. 121-124.

Editorial office address (for sending printed correspondence):

347360, Russia, Rostov region, Volgodonsk, Lenin Street, 73/94

Editorial office of "Global Nuclear Safety" journal

E-mail: oni-viti@mephi.ru

Tel: 8(8639)222717

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(уважаемые авторы, редакция журнала обращает ваше внимание на некоторые изменения правил оформления статей)

Полный текст статьи, предназначенной для опубликования, должен сопровождаться представлением от учреждения, в котором выполнена работа, и подписан авторами. Комплект должен содержать экспертное заключение о возможности опубликования. В одном файле помещается одна статья, частью которой являются:

- индекс УДК;
- название, аннотация и ключевые слова статьи на русском и английском языках;
- список литературы на русском и английском языках;
- сведения об авторе(ах) на русском и английском языках: ФИО, место работы, должность, ученая степень, звание, домашний, служебный и электронный адреса, телефон; указать, с кем вести переписку;
- сведения об организации(ях) авторов на русском и английском языках, включая почтовый адрес с индексом (если авторов несколько, указать данные об организации каждого автора);
- индексы ORCID и Researcher для каждого автора (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>)

Статья должна быть оформлена в Microsoft Office 97-2003 Word 7.0, через 1 интервал, шрифтом Times New Roman, размером 12 пт. Поля со всех сторон – 2,5 см. Не следует использовать знаки принудительного переноса и дополнительных пробелов. Объем статьи – не более 15 страниц машинописного текста, включая таблицы и рисунки (рекомендуется не более 10), список литературы (10-17 источников). Если в тексте статьи менее 2500 знаков, статья может не рассматриваться. Необходима проверка статей через программу антиплагиата, допустимые заимствования и самоцитирование – не более 20%.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться. Для записи формул рекомендуется применять редактор Equation 3.0. Все формулы выравниваются по центру страницы, нумеруются в круглых скобках по правому краю и должны упоминаться в тексте статьи. Включение таблиц в статью должно быть целесообразным. Таблицы должны иметь нумерацию и заголовки на русском и английском языках (10 пт). Желательно, чтобы таблицы не превышали одной страницы текста. Рисунки должны быть черно-белыми, с нумерацией, подписями на русском и английском языках (10 пт), иметь ссылки в тексте и сопровождаться обоснованиями и выводами. Единицы измерения следует давать в соответствии с Международной системой (СИ).

Список литературы приводится в конце статьи в порядке упоминания в тексте номера источника в квадратных скобках. Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, с указанием на перевод. Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТу 7.1-2003 «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Учебники, учебные пособия, методические указания и рекомендации не включаются в список литературы. References предоставляются отдельно (правила оформления см. в разделе The list of references standard in English).

Для принятия статьи в номер журнала необходимо предоставить следующие материалы: файл со статьей в формате Word, этот же файл в формате pdf, отдельными файлами все рисунки из статьи в форматах bmp, jpeg или gif.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Для книг с одним автором:

Кесслер, Г. Ядерная энергетика [Текст] / Г. Кесслер ; пер. с англ. : Ю.И. Митяев. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 264 с.

Для книг с двумя и более авторами:

Емельянов, И.Я. Управление и безопасность ядерных энергетических реакторов [Текст] / И.Я. Емельянов, П.А. Гаврилов, Б.Н. Селивестров. – Москва : Атомиздат, 1975. – 280 с.

Для журналов с одним автором:

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

Для журналов с двумя и более авторами:

Евдошкина, Ю.А. Практико-ориентированная технология формирования культуры безопасности выпускников, ориентированных на работу в атомной отрасли [Текст] / Ю.А. Евдошкина, В.А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4 (25). – С. 122-129.

Для диссертаций:

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

Для депонированных работ:

Кондраш, А.Н. Пропаганда книг [Текст] / А.Н. Кондраш. – Москва, 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. – Москва : Магма, 1993. – С. 19-25.

Для патентов:

Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК7 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.

Для авторских свидетельств:

А. с. 1007970 СССР, МКИЗ 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. – №2. – URL: <http://voennoepravo.ru/node/2149> (дата обращения: 01.08.2018).

Адрес редакции журнала (для отправки печатной корреспонденции):

347360, Россия, Ростовская область, г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94. Редакция журнала «Глобальная ядерная безопасность».

E-mail: oni-viti@mephi.ru

Тел.: 8(8639)222717

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2018, 3(28)

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

Сдано в набор 14.09.2018 г.

Компьютерная верстка Вишнева М.М.

Подписано к печати 20.09.2018 г.

Бумага «SvetoCору» 80 г/м². Объем 21,1 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ