

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2022, 1(42)

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*)

Abdel-Monem Mohamed El-Batahy, Doctor of Technical sciences, Professor (*Egypt*)

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*)

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

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

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

A.A. Salnikov, PhD Technical sciences (*Russia*)

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

V.P. Povarov, Doctor of Technical sciences (*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

2022, 1(42)

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 (№ 759)

Группы научных специальностей:

05.14.00 – Энергетика;

05.26.00 – Безопасность деятельности человека;

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)

Дэнис Флори, заместитель генерального директора МАГАТЭ (Австрия)

Лю Дамин, проф. Китайского института ядерной энергетики (Китай)

Нэнси Фрагояннис, старший советник Комиссии по ядерному регулированию США (США)

Абдель-Монем Мохамед Эл-Батахи, д-р техн. наук, проф. (Египет)

Бухач Анджей, 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. Гоок, 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. Пимшин, 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)

А.В. Паламарчук, к-т техн. наук (Россия)

А.А. Сальников, к-т техн. наук (Россия)

В.Е. Шукинунов, д-р техн. наук, проф. (Россия)

В.П. Поваров, д-р техн. наук, проф (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

2022, 1(42)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Methods of Assessing Radioactive Contamination of Underlying Surface Using Unmanned Dosimeter System

I.A. Rodionov, A.P. Elokhin 6

Impurity Diffusion at Instantaneous Outburst from a Point Source in Worst-Case Emergency Scenario Realization

O.A. Gubeladze, A.R. Gubeladze 24

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

Modernization of TV-Mast of MPS-V-428 Refueling Machine for the Tianwan NPP First Unit

A.V. Sementsov, M.I. Malakhov, K.A. Duvarov 31

Temperature Influence on Plastic Properties of Porous Material during Sample Settling

V.V. Sinelshchikov, S.A. Tomilin 41

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Estimates of Flow Rate of Pure Condensate when WWER-1200 Reactor Plant is Brought to the Minimum Controlled Power Level after the Emergency Protection Triggering

A.I. Al-Shamayleh, D.A. Solovyov, A.A. Semenov, N.V. Shchukin, A.L. Lobarev, D.A. Plotnikov, V.S. Potapov 46

Concept of Creating an Integrated Automated Thermal Imaging Control System

D.V. Shvets, E.A. Abidova, M.V. Kalashnikov, P.V. Povarov, E.V. Vorobev 60

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

Developing Industry Competences in Higher Education as a Factor in Ensuring Safety of Nuclear Industry Enterprises

M.V. Golovko, A.A. Lapkis, A.N. Setrakov 67

Independent Assessment of Future Nuclear Power Specialist Qualifications as a Factor of Nuclear Power Plant Safety

V.A. Rudenko, N.F. Privalova 75

Author Index of vol. 1, 2022 86

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 1(41), 2022

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Методы оценки радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при использовании беспилотного дозиметрического комплекса
И.А. Родионов, А.П. Елохин 6
- Диффузия примеси при мгновенном выбросе из точечного источника в случае реализации пессимистического сценария развития аварийной ситуации
О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе 24
-
-

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

- Модернизация телевизионной штанги машины перегрузочной МПС-В-428 на первом блоке Тяньваньской АЭС
А.В. Семенцов, М.И. Малахов, К.А. Дуваров 31
- Влияние температуры на пластические свойства пористого материала при осадке образцов
В.В. Синельщиков, С.А. Томилин 41
-
-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

- Оценки расхода чистого конденсата при выводе РУ типа ВВЭР-1200 на минимально контролируемый уровень мощности после срабатывания аварийной защиты
А.И. Аль-Шамайлах, Д.А. Соловьёв, А.А. Семенов, Н.В. Щукин, А.Л. Лобарев, Д.А. Плотников, В.С. Потапов 46
- Концепция создания комплексной автоматизированной системы тепловизионного контроля
Д.В. Швец, Е.А. Абидова, М.В. Калашиников, П.В. Поваров, Е.В. Воробьев 60
-
-

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

- Развитие отраслевых компетенций в вузе как фактор обеспечения безопасности предприятий атомной отрасли
М.В. Головкин, А.А. Лапкин, А.Н. Сетраков 67

Независимая оценка квалификации будущих специалистов в области атомной
энергетики как фактор безопасности атомных станций

В.А. Руденко, Н.Ф. Привалова 75

Авторский указатель номера 1(42), 2022 86

Сдано в набор 9.03.2022 г.

Подписано к печати 16.03.2022 г.

Формат 84 x 108/16

Объем. 5,95 печ.л.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ИПС ВИТИ НИЯУ МИФИ

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 539.1.074:502.175

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
БЕСПИЛОТНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

© 2022 И.А. Родионов, А.П. Елохин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), Москва, Россия

В работе рассматриваются методы оценки радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, основанные на двух сценариях. В первом анализ загрязнения осуществляется в рамках геофизической модели приземного слоя атмосферы, а перенос радиоактивной примеси, при котором и возникает загрязнение подстилающей поверхности, рассчитывается в рамках модели турбулентной диффузии. Второй сценарий состоит в анализе радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, имеющего случайный характер, обусловленный техногенными причинами, а его осуществление проводится с помощью беспилотного дозиметрического комплекса (БДК). Последнее позволяет существенно уменьшить прямое участие человека в радиационной разведке территории. Внимание в работе уделено программе полета беспилотных летательных аппаратов (высота, маршрут и т.д.), составу дозиметрического комплекса, математическому обеспечению БДК, математическим моделям оценки метеопараметров атмосферы, лежащих в основе модели приземного слоя и распространения радиоактивной примеси в атмосфере.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, радиоактивное загрязнение, окружающая среда, подстилающая поверхность, беспилотный летательный аппарат, беспилотный дозиметрический комплекс.

Поступила в редакцию 10.12.2021

После доработки 25.02.2022

Принята к публикации 04.03.2022

Практика применения традиционных методов прогнозирования, при наличии фиксированных (проектных) источников радиационной опасности (выбросы из вентиляционных труб, брызгальных бассейнов и т.д.), в целом показала свою эффективность [1]. Однако, накопленный опыт аварий на различных объектах использования атомной энергии (ОИАЭ) (НПО «МАЯК», Чернобыльская АЭС, АЭС Фукусима и т.д.) показал необходимость в развитии (модернизации) и/или дополнения имеющихся систем новым – дистанционным (бесконтактным) методом радиационного контроля окружающей среды [2].

Так, авария на АЭС Фукусима выявила определенный недостаток традиционных методов регистрации излучения с помощью автоматической системы контроля радиационной обстановки (АСКРО). В момент выброса радиоактивных веществ [3], у лиц, принимающих решение об эвакуации и оценке опасности, не было полного объема данных, как количественной информации, так и информации о географическом распределении радионуклидной примеси [4], [5] и [6], поскольку посты контроля в результате цунами были повреждены (23 из 24) [3].

В подобного рода ситуациях, когда возникает необходимость оценить степень радиационного загрязнения площадки или объекта, существует два способа действий: традиционный – метод отбора проб, с непосредственным участием человека, производящего радиационную оценку местности, и перспективный – бесконтактный, с использованием, например, беспилотного дозиметрического комплекса (БДК), применение которого позволило бы уменьшить риск облучения персонала,

осуществляющего поисковые и разведывательные работы, дозовыми нагрузками, превышающими предельно допустимые значения.

При использовании традиционного способа, возникают своего рода трудности – наличие мест или областей, нахождение на которых подвергает человека большой дозовой нагрузке, что ставит невозможность находиться на ней достаточное количество времени для проведения измерений. Данное обстоятельство, а также отсутствие подробной картограммы местности и расположения радиационных аномалий («горячих точек»), существенно затрудняет планирование процедур ликвидации последствий радиационной аварии [7].

Однако, в случае возникновения несанкционированного выброса в атмосферу на (ОИАЭ), т.е. при известной геометрии расположения источника выбросов, на первое место выходит сценарий, в рамках которого оценка радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности и воздушного бассейна осуществляется путем использования геофизических моделей переноса воздушных масс, среди которых наиболее простой выглядит модель приземного слоя атмосферы Лайхтмана Д.Л. [8]. Пространственное распределение радиоактивной примеси рассчитывается путем использования уравнения турбулентной диффузии с метеопараметрами, найденными при решении уравнений, описывающих указанные геофизические модели. Эти метеопараметры определяют основной характер зависимости переноса радиоактивной примеси в окружающей среде.

Основная часть

При проектировании Атомной станции в заданном регионе предварительно проводят ряд исследований характеристик этого региона с целью минимизации последствий в случае возникновения каких-либо чрезвычайных ситуаций. К таким исследованиям относятся и метеорологические исследования. Эти исследования в течение нескольких лет проводят в выбранном регионе, расставляя по его периметру метеомачты с метеодатчиками, наблюдая и регистрируя скорость ветра и характер его изменения, осадки, давление, температуру воздушной среды и подстилающей поверхности и т.д. [9-11]. Результаты этих исследований сводят в таблицу (см. табл.), для анализа которой и используют ту или иную геофизическую модель переноса воздушных масс, позволяющую выбрать наиболее характерные метеоусловия присущие данному региону.

Таблица 1 – Усредненные метеорологические данные района АЭС в Иордании [9] [Averaged metrological data of NPP area in Jordan]

Сезон	Время	Температура на высоте 1,5 м (°С)	Температура на высоте 10 м (°С)	Направление ветра на высоте 10 м (град)	Скорость ветра на высоте 10 м (м/с)	Температура на высоте 58 м (°С)	Направление ветра на высоте 58 м (град)	Скорость ветра на высоте 58 м (м/с)	Среднее значение давления (кПа)	* Температура на высоте 0 м (°С)
Лето	20:00	24,73	24,83	242,77	3,73	24,75	267,67	6,25	939	24,71
Осень	20:00	16,88	17,64	221,46	2,32	18,58	234,72	3,99	944	16,73
Зима	20:00	9,95	11,23	221,15	2,28	12,21	219,48	3,09	946	9,69
Весна	20:00	19,52	19,48	274,51	3,03	19,39	276,31	4,79	942	19,53

*Параметр рассчитан методом квадратичной экстраполяции: $y = ax^2 + bx + c$.

Выбирая из таблицы 1 наиболее характерные для данного региона параметры (скорость ветра, температуру) и время их наблюдения, можно существенно упростить ее анализ и, используя модель приземного слоя атмосферы, получить параметры, определяющие состояние воздушной среды, которое называют состоянием устойчивости атмосферы. Такими параметрами в рамках модели приземного слоя атмосферы являются масштаб приземного слоя L (масштаб Монина-Обухова) и динамическая скорость воздушного потока V_* .

Математическая модель оценки метеопараметров, определяющих состояние устойчивости атмосферы в рамках модели приземного слоя

В основе модели приземного слоя атмосферы лежат измерения скорости ветра $u(z)$, потенциальной температуры $\theta(z)$ $\theta(z) = T(z) \left(1000/P(z)\right)^{0,29}$, где $T(z)$ – измеряемая температура °К, $P(z)$ – атмосферное давление мбар) и, строго говоря, влажности воздушного потока, измеряемые на двух уровнях, различающихся по высоте z (см. табл.). Кроме того, дополнительно еще необходимо измерять температуру уровня земли T_0 , принимая, что скорость ветра на уровне земли всегда равна нулю. Разность скоростей ветра $Du = u(z_2) - u(z_1)$ и температур $D\theta = \theta(z_2) - \theta(z_1)$ при априори заданном параметре L , в рамках модели приземного слоя атмосферы, применяют для определения динамической скорости v_* , используя следующие соотношения [8-11]:

$v'_* = \chi \cdot Du/Du_n$; $v''_* = \chi \sqrt{(gL/T_0)(D\theta/D\theta_n)}$, где $\chi = 0,4$ – постоянная Кармана; g – ускорение свободного падения; $u_n, \theta_n, Du_n, D\theta_n$ – безразмерные скорость ветра, температура и их разность соответственно, зависящие от безразмерной высоты $z_n = z/L$, т.е. от параметра приземного слоя L . Поскольку v'_* и v''_* представляют собой одну и ту же величину, то, очевидно, что при некотором L^* их разность или относительная погрешность ε будет близка к нулю, если известны выражения для $u_n(z_n), \theta_n(z_n)$:

$$\lim_{L \rightarrow L^*} \left\{ \left(\frac{Du}{Du_n} \right)^2 - \left| \frac{g}{T_0} L \frac{D\theta}{D\theta_n} \right| \right\} = 0; \quad \lim_{L \rightarrow L^*} \varepsilon = \left\{ \frac{(Du/Du_n)^2 - |(gL/T_0)(D\theta/D\theta_n)|}{(Du/Du_n)^2} \right\} 100\% = 0. \quad (1)$$

Когда эти условия выполняются (при решении этой задачи в ряде случаев находят просто минимум ε), то это означает, что искомые параметры: масштаб приземного слоя L^* и динамическая скорость v_* найдены. Это позволяет найти выражения для безразмерных величин продольной скорости воздушного потока $u_n(z_n)$, температуры $\theta_n(z_n)$ и других его характеристик, которые находят в рамках модели приземного слоя атмосферы, определяя промежуточный параметр y как функцию z_n из уравнения Феррари¹ [8]:

$$z_n = 2/y - 2y^3/3 - 4/3, \quad (2)$$

аналитическое решение, которого имеет вид [9, 10].

$$y = \begin{cases} \frac{-\sqrt{A+B} + \sqrt{(A+B) - 4 \left[\frac{A+B}{2} - \sqrt{\left(\frac{A+B}{2} \right)^2 + 3} \right]}}{2}; & z_n \geq -4/3; \\ \frac{\sqrt{A+B} + \sqrt{(A+B) - 4 \left[\frac{A+B}{2} - \sqrt{\left(\frac{A+B}{2} \right)^2 + 3} \right]}}{2}; & z_n \leq -4/3, \end{cases} \quad (3)$$

¹ Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. 1974, (с.43). 832 с.

$$\text{где: } A = \sqrt[3]{\frac{(2+1,5z_n)^2}{2} + \sqrt{64 + \frac{(2+1,5z_n)^4}{4}}}; B = \sqrt[3]{\frac{(2+1,5z_n)^2}{2} - \sqrt{64 + \frac{(2+1,5z_n)^4}{4}}}.$$

Величины $u_n(z_n)$, $\theta_n(z_n)$ и другие безразмерные характеристики в модели приземного слоя атмосферы определяются следующей системой уравнений [8]:

$$u_n = 2/y + 2\arctg(y) + \ln \frac{|1-y|}{1+y} + c_1; \quad (4)$$

$$k_n = 1 - y^4; \quad (5)$$

$$b_n = y^2; \quad (6)$$

$$\theta_n = \int_{z_0}^{z_n} \frac{dz_n}{\alpha_T k_n}, \quad (7)$$

где c_1 – постоянная, определяемая при граничном условии на уровне шероховатости z_0 , т.е. $u(z)|_{z=z_0} = 0$; $k_n(z_n)$ – безразмерный коэффициент турбулентной диффузии; $b_n(z_n)$ – энергия турбулентных пульсаций, играющая значительную роль при поперечном рассеянии радиоактивной примеси в атмосфере; $\alpha_T(z_n) = k_T/k$ – отношение коэффициентов турбулентности для тепла и количества движения [8]. При найденных указанных выше u_n , θ_n , b_n , k_n их размерные значения определяются выражениями:

$$u(z) = u_n v_*' / \chi; \quad k(z) = k_n \chi L v_*'; \quad b(z) = v_*'^2 c^{-1/2} b_n = 4,6625 v_*'^2 b_n \quad (8)$$

Решение задачи (1) – (8) проводилось в работах [9 – 11] для соответствующих метеорологических условий регионов стран, в которых предполагалось строительство АЭС.

Решение указанной задачи начинается с выбора параметра приземного слоя атмосферы L , для нахождения которого задаются некоторым значением $L_{\max} \sim 100$ м и варьируют его, например, $L_i = DL \cdot i$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$; $DL = L_{\max}/N$, $N \sim 100$ до тех пор, пока разность или относительная погрешность, приведенная в формуле (1), не будет минимальной. Найденное значение L^* , при котором ε минимальна, и определит искомый параметр L : $L^* = DL \cdot i^*$. Далее пересчитав z_n при заданных z_1 и z_2 , т.е., таким образом, пересчитав $D\theta_n$; Du_n , находят динамическую скорость $v_*' = \chi Du / Du_n$. В рамках модели приземного слоя атмосферы величина L может иметь разные знаки ($L > 0$, $L < 0$), что отвечает ее устойчивому или неустойчивому состояниям соответственно, поэтому в общем случае текущее значение параметра L_i определяют следующим образом: $L_i = DL(2N+1-i)$. При таком определении $L_i > 0$ для $i < 2N+1$ и $L_i < 0$ для $i > 2N+1$. Область $i = 2N+1$ отличается на графиках от искомой области и в расчет не принимается (см. рис.1).

Приведенные результаты расчета наглядно демонстрируют, характер зависимости метеорологических параметров $u(z)$; $k(z)$; $b(z)$, полученных в рамках модели приземного слоя атмосферы и определяющих перенос примеси в воздушной среде, от состояния устойчивости атмосферы. Результаты решения для устойчивого ($L_i = 39$ м, $v_*' = 0,376$ м/с) и неустойчивого ($L_i = -5$ м, $v_*' = 0,763$ м/с) состояний атмосферы приводятся на рисунках 1–8.

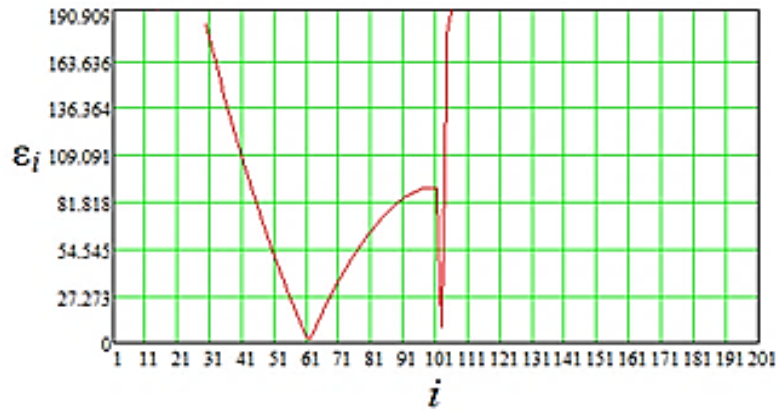


Рисунок 1 – Зависимость относительной погрешности $\varepsilon_i(i)$ при устойчивом состоянии атмосферы. Осень, 20.00 [Relative error dependence $\varepsilon_i(i)$ under steady state atmospheric conditions. Autumn, 20.00]

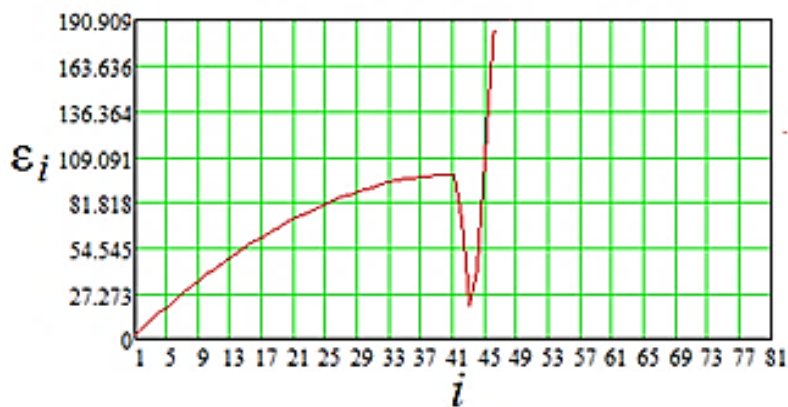


Рисунок 2 – Зависимость относительной погрешности $\varepsilon_i(i)$ при неустойчивом состоянии атмосферы. Весна, 20.00 [Relative error dependence $\varepsilon_i(i)$ under unstable atmospheric conditions. Spring, 20.00]

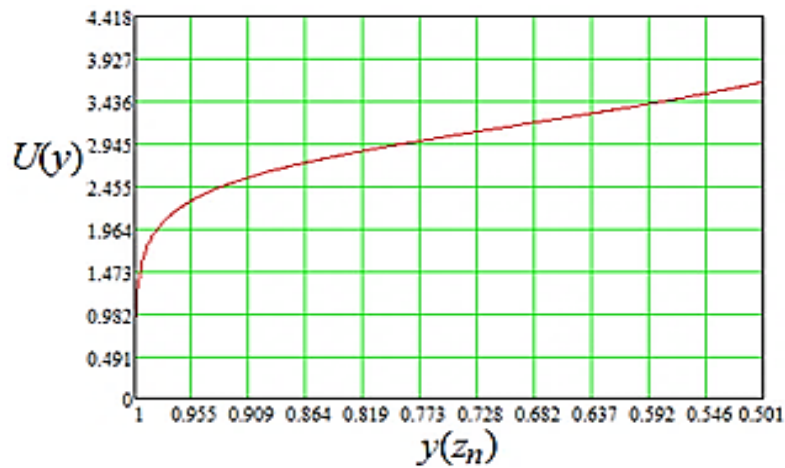


Рисунок 3 – Зависимость скорости ветра $U(y)$ как функции высоты при устойчивом состоянии атмосферы. Осень, 20.00 [Dependence of wind speed $U(y)$ as a function of altitude at steady state atmospheric conditions. Autumn, 20.00]

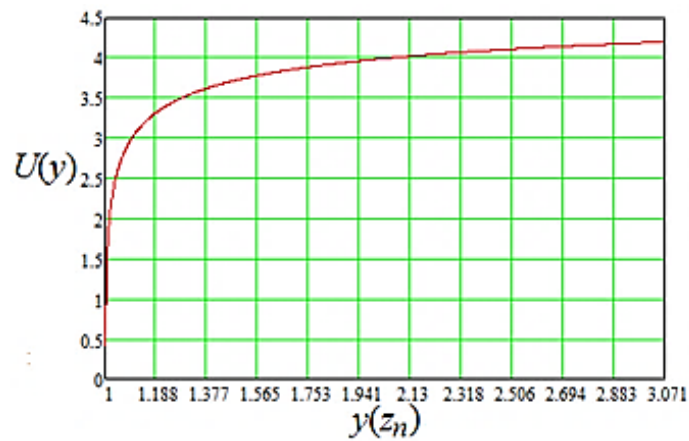


Рисунок 4 – Зависимость скорости ветра $U(y)$ как функции высоты при неустойчивом состоянии атмосферы. Весна, 20.00 [Dependence of wind speed $U(y)$ as a function of altitude under unstable atmospheric conditions. Spring, 20.00]

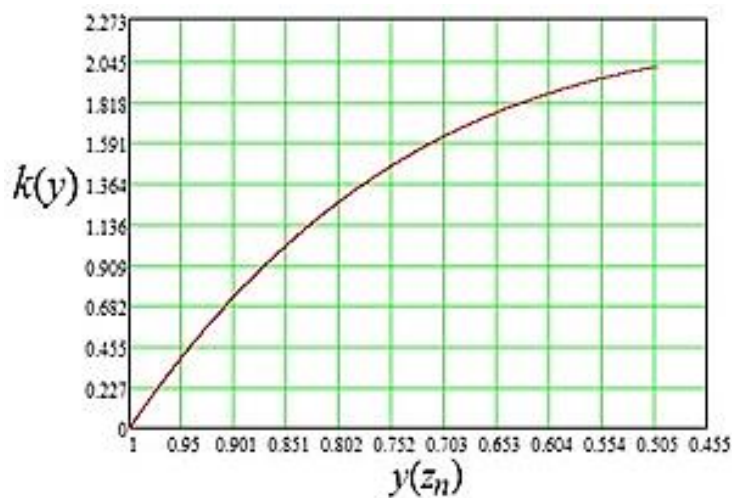


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента турбулентной диффузии $k(y)$ как функции высоты при устойчивом состоянии атмосферы. Осень, 20.00 [Dependence of the turbulent diffusion coefficient $k(y)$ as a function of altitude at steady state atmospheric conditions. Autumn, 20.00]

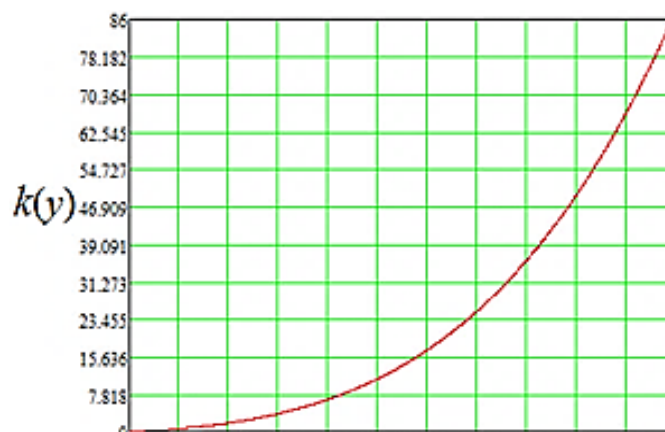


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента турбулентной диффузии $k(y)$ как функции высоты при неустойчивом состоянии атмосферы. Весна, 20.00 $Li = -5$ м, $v^* = 0,763$ м/с [Dependence of the turbulent diffusion coefficient $k(y)$ as a function of altitude under unstable atmospheric conditions. Spring, 20.00 $Li = 5$ м, $v^* = 0,763$ м/с]

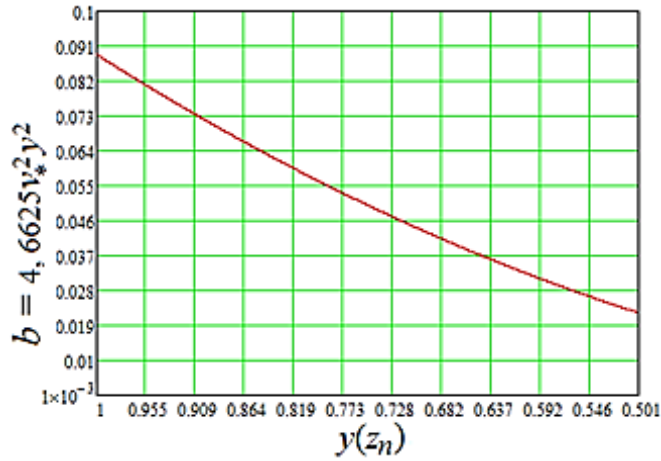


Рисунок 7 – Зависимость энергии турбулентных пульсаций $b(y)$ как функции высоты при устойчивом состоянии атмосферы. Осень, 20.00 [Dependence of turbulent pulsation energy $b(y)$ as a function of altitude at steady state atmosphere. Autumn, 20.00]

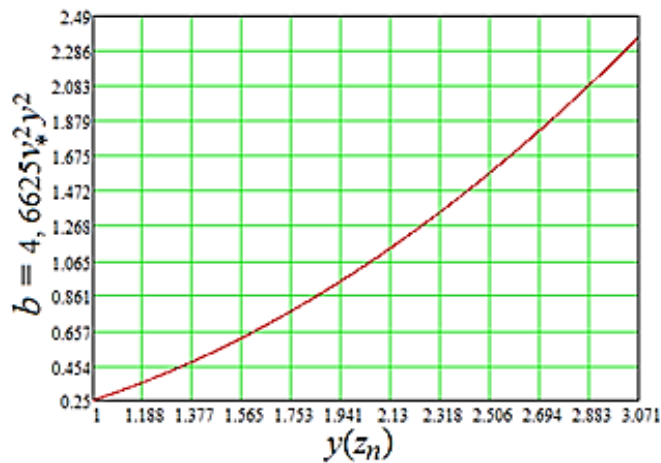


Рисунок 8 – Зависимость энергии турбулентных пульсаций $b(y)$ как функции высоты при неустойчивом состоянии атмосферы. Весна, 20.00 [Dependence of turbulent pulsation energy $b(y)$ as a function of altitude under unstable atmospheric conditions. Spring, 20.00]

Математическая модель переноса радиоактивной примеси в атмосфере.

В рамках стационарной модели турбулентной диффузии (при поперечной скорости воздушного потока равной нулю) объемная активность определяется решением уравнения, в котором поперечное рассеяние примеси осуществляется по закону Гаусса [8]:

$$q(x, y, z) = \frac{S(x, z)}{\sqrt{2\pi}\sigma_y(x)} \exp(-y^2/2\sigma_y^2), \quad (9)$$

где $\sigma_y(x)$ — среднеквадратичное отклонение; функция $S(x, z)$ определяется выражением:

$$S(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(x, y, z) dy = 2 \int_0^{+\infty} q(x, y, z) dy \quad (10)$$

Таким образом, для объемной концентрации газоаэрозольной примеси получают уравнение:

$$u \frac{\partial S}{\partial x} - w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(z) \frac{\partial S}{\partial z} \right] - \sigma S + \phi, \quad (11)$$

где $\varphi(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) dy = M\delta(x)\delta(z-h_{\text{эф}})$; $f = M\delta(x)\delta(y)\delta(z-h_{\text{эф}})$ – источник газоаэрозольной примеси, загрязняющий окружающую среду; M – мощность выброса (Бк/с) радиоактивной примеси из источника; $h_{\text{эф}}$ – эффективная высота выброса, представляющая собой сумму геометрической высоты источника H_0 и приращения Δh , обусловленного подъемом струи радиоактивной примеси в атмосфере за счет начальной ее скорости и температуры, если последняя выше температуры окружающей среды ($h_{\text{эф}} = H_0 + \Delta h$); σ – постоянная релаксации радиоактивной газоаэрозольной примеси, представляющая собой постоянную вымывания примеси из атмосферы σ_0 (с^{-1}), так что $\sigma = \sigma_0$; w – гравитационная скорость осаждения примеси. В рамках рассматриваемой модели переноса величину $\sigma_y^2(x)$ представляют в виде: $\sigma_y^2(x) = \bar{b}x^2/\bar{u}^2 (1 + \alpha x \bar{b}/\bar{k}\bar{u})^*$, где $\bar{u}, \bar{k}, \bar{b}$ – значения указанных выше параметров, усредненных по приземному слою высотой $H_{\text{пр}} \approx 100$ м, $\alpha = 0,015$.

$$\bar{u} = \frac{1}{H_{\text{пр}}} \int_0^{H_{\text{пр}}} u(z) dz; \bar{k} = \frac{1}{H_{\text{пр}}} \int_0^{H_{\text{пр}}} k(z) dz; \bar{b} = \frac{1}{H_{\text{пр}}} \int_0^{H_{\text{пр}}} b(z) dz.$$

Граничные условия определяются выражениями:

$$S(x, z)|_{x=0} = 0; \quad (12)$$

$$S(x, z)|_{x \rightarrow \infty} = 0; \quad (13)$$

$$S(x, z)|_{z \rightarrow \infty} = 0; \quad (14)$$

$$k \frac{\partial S}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = (\beta - w) S \Big|_{z=z_0}, \quad (15)$$

где: β – скорость сухого осаждения газоаэрозольной примеси на подстилающую поверхность; z_0 – уровень шероховатости подстилающей поверхности.

Таким образом, при найденных в рамках модели приземного слоя атмосферы функциональных зависимостях параметров переноса воздушного потока, в математической модели турбулентной диффузии в атмосфере можно рассмотреть и перенос радиоактивной примеси, полагая в первом приближении, что она имеет один и тот же дисперсных характер. Аналитическое решение задачи (11) – (15) с постоянными коэффициентами описывается выражением (16), а объемная активность газоаэрозольной радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере, непосредственно вычисляется по формуле (9).

* В рамках других моделей, описывающих перенос примеси в атмосфере эта зависимость может иметь другой вид (см, например, «Приказ Ростехнадзора» от 11.11.2015 № 458 «Об утверждении руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух»)

$$S(x, z) = \frac{M}{2} \exp\left(-\left[\frac{\sigma_0 x}{\bar{u}} + \frac{w^2 x}{4k\bar{u}} + \frac{w(z-h_{\phi})}{2k}\right]\right) \left\{ \frac{\exp(-[z+h_{\phi}]^2 \bar{u}/4kx) + \exp(-[z-h_{\phi}]^2 \bar{u}/4kx)}{\sqrt{\pi k \bar{u} x}} - \frac{(2\beta-w)}{k\bar{u}} \exp\left[-\frac{(2\beta-w)(z+h_{\phi})}{2k} + \left(\frac{2\beta-w}{2k}\right)^2 \frac{kx}{\bar{u}}\right] \times \left[\times \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{2\beta-w}{2k}\right) \sqrt{kx/\bar{u}} + \frac{(z+h_{\phi})}{2\sqrt{kx/\bar{u}}}\right] \right] \right\}, \quad (16)$$

Наибольший интерес полученное решение представляет при анализе осевого и поперечного распределений объемной активности радиоактивной примеси в атмосфере на небольшой высоте от подстилающей поверхности $\sim 0,5-1,5$ м. на различных расстояниях от источника выбросов. Выбирая такую высоту, можно быть уверенным, что найденная расчетная концентрация радиоактивной примеси через некоторое время точно окажется на подстилающей поверхности, создавая, таким образом, поверхностную активность.

Характер осевого и поперечного распределений, при распространении радиоактивной примеси в зависимости от типа состояния устойчивости атмосферы, представлен на рисунках 9, 10 [11].

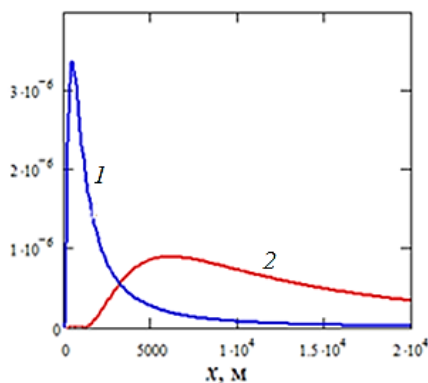


Рисунок 9 – Осевое распределение объемной активности при неустойчивом (1) и устойчивом (2) состояниях атмосферы [Axial distribution of volumetric activity in unstable (1) and stable (2) atmospheric states]

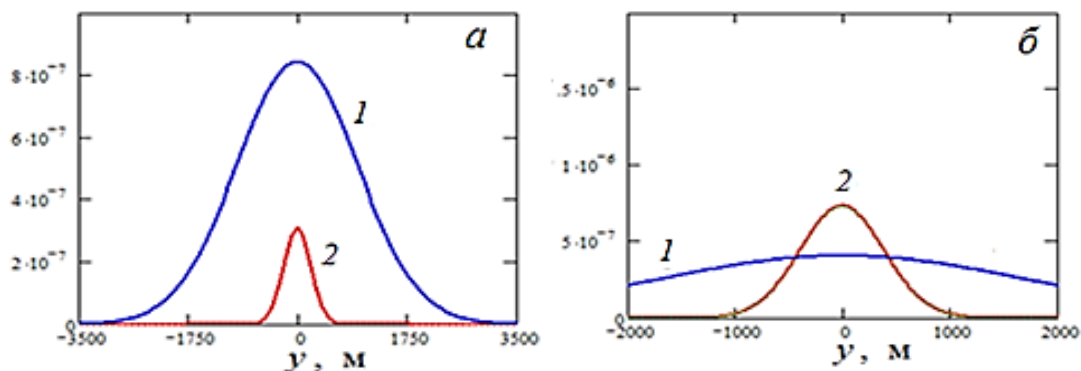


Рисунок 10 – Поперечное распределение объемной активности при неустойчивом (1) и устойчивом (2) состояниях атмосферы на расстоянии 2500 м метров (а) и 4000 метров (б) при $z = 1,5$ м [Cross-sectional distribution of volumetric activity in unstable (1) and stable (2) atmospheric conditions at 2500 m (a) and 4000 m (b) at $z = 1.5$ m]

Из осевого распределения примеси следует, что в зависимости от состояния устойчивости атмосферы максимум кривых распределения смещается вдоль оси (см. рис. 9). При одинаковом выбросе, максимум объемной активности при неустойчивом

состоянии оказывается ближе к источнику, а ее значение в максимуме больше, чем при устойчивом (см. рис. 10), что обусловлено сносом примеси в направлении ветра при состоянии устойчивости атмосферы. С ростом расстояния x от источника картина существенно изменяется: при неустойчивом состоянии объемная активность резко падает, за счет поперечного (гауссового) рассеяния (см. рис. 10 *а, б*), поэтому ее амплитудное значение на больших расстояниях от источника будет значительно меньше, чем при устойчивом.

Особенности переноса примеси при том и другом состояниях атмосферы, формируют и радиоактивное загрязнение подстилающей поверхности, характер распределения изолиний которых приведен на рисунках 11 и 12 [11].

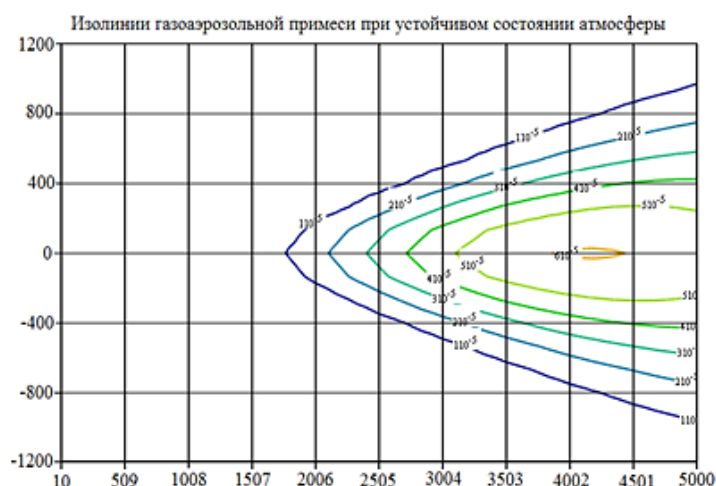


Рисунок 11 – Изолинии поверхностного загрязнения подстилающей поверхности для устойчивого состояния атмосферы [Isolines of underlying surface pollution for the steady atmosphere state]

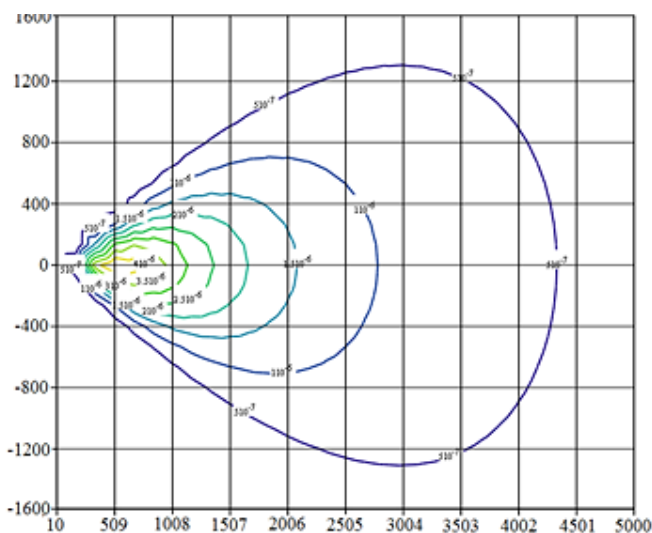


Рисунок 12 – Уровни поверхностного загрязнения подстилающей поверхности для неустойчивого состояния атмосферы [Underlying surface pollution levels for unstable atmospheric conditions]

Из приведенных распределений видно, что в зависимости от типа состояния устойчивости, атмосферы характер радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности существенно изменяется, что и накладывает определенные требования к первому сценарию, в рамках которого рассматривается последовательность действий, направленных на проведение анализа радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, при несанкционированном выбросе радиоактивной примеси в атмосферу:

1. Определение метеорологических параметров атмосферы;
2. Проведение расчетов в рамках существующих в организации моделей переноса примеси в атмосфере и их программного обеспечения.

При этом следует иметь ввиду то, что расчетные методы хорошо себя зарекомендовали при анализе радиоактивного загрязнения на расстояниях от источника, которые характеризуются постоянным или слабо изменяющимся уровнем шероховатости, поскольку изменение последнего приводит к существенному возмущению скорости воздушного потока в нижних слоях атмосферы [12]. Но поскольку ситуация со слабо изменяющимся уровнем шероховатости на больших расстояниях маловероятна, то расчетные данные на больших расстояниях дают большую погрешность, уменьшить которую можно, вводя лишь поправочный коэффициент $k_{\text{п}}$, полученный путем отношения $k_{\text{п}} = D'_{\text{изм}}/D'_{\text{рас}}$ (измеренной мощности дозы $D'_{\text{изм}}$ к расчетной ее величине $D'_{\text{рас}}$) и, таким образом, скорректировать результаты расчета, умножая их на этот коэффициент. Для этих целей целесообразно использовать БДК, поскольку такого типа аппарат может провести оценку мощности дозы, как от загрязненной подстилающей поверхности, так и в области воздушного бассейна в любой точке, координаты которой ему заданы.

Система измерений радиационной обстановки с помощью БДК

Основной состав БДК – это носитель (квадрокоптер, вертолет и т.д.) (рис. 13) беспилотный летательный аппарат (БПЛА), содержащий дозиметрическую аппаратуру (детектор мощности дозы γ -излучения, γ -спектрометр). Дополнительно также на БПЛА может устанавливаться аппаратура для вспомогательных функций: определение координат местоположения – датчики (GPS и/или ГЛОНАСС), детектор высоты или воздушного давления для определения высоты полета, видеокамера, и др. При эксплуатации БПЛА на первое место встает его конструктивная особенность – ограниченность времени полета, обусловленная запасом топлива или работоспособностью электрической батареи (для квадрокоптеров), которое значительно отличается для различных БПЛА, как и их стоимость, и составляет от 25 минут до 5 часов, например, (INDELA-SKY)². С увеличением полезной нагрузки время полета сокращается из-за возможной нехватки топлива. Таким образом, при данных ограничениях возникает задача выбора оптимальной траектории полета, решение которой позволит провести подробный анализ обширной территории, затратив на это наименьшее количество времени и топлива [13].



Рисунок 13 – БПЛА «INDELA-SKY», КБ ИНДЕЛА (Белоруссия) (1), Система «INDELA OGD-20HIR» (2), состоящая из четырех встроенных модулей (тепловизор, цветная камера, лазерный дальномер, инерциальный модуль). является базовой полезной нагрузкой для БПЛА «INDELA-I.N. SKY» при решении традиционных задач разведки, наблюдения и мониторинга. [“INDELA-SKY” UAV, INDELA KB (Belarus) (1), Sistema “INDELA OGD-20HIR” (2), consisting of four integrated modules (thermal imager, colour camera, laser rangefinder, inertial module). is the basic payload for the UAV “INDELA-I.N. SKY” for traditional reconnaissance, surveillance and monitoring tasks]

² Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) INDELA-I.N. SKY. КБ «ИНДЕЛА» Белоруссия. ТТД: Двигатель роторно-поршневого типа. Основные характеристики: длина 3052 мм, высота 1346 мм, база шасси 1180 мм, Диаметр НВ (винта) 3168 мм. Максимальный взлетный вес 140 кг, запас топлива 25 кг, часовой расход топлива 5 – 8 кг/ч. Вес полезной нагрузки 25 кг. Крейсерская скорость полета у земли 70 км/ч. Статический потолок без учета влияния близости земли 1500 м. Продолжительность полета (высота 100 – 500 м) 4 – 5 ч.

На данный момент выполнено множество экспериментов с БДК различного вида.

Основное внимание исследователей уделялось его аппаратуре, используемой при решении различных задач. Например, для оценки степени загрязненности территории радиоактивной примесью может оказаться достаточным применение чувствительного радиометра или датчика мощности дозы. Если речь идет о составе радионуклидов, загрязняющих подстилающую поверхность, тогда на БПЛА необходимо установить аппаратуру, измеряющую спектр γ -излучения, по энергии которого и определяют искомые характеристики. Задача усложняется в зависимости от поставленной цели: просто дать оценку радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, интересующей исследователя территории или дать исчерпывающую информацию о пригодности этой территории для дальнейшего ее использования в хозяйственной деятельности. Решение последней задачи требует применения БДК, оснащенного различной дозиметрической аппаратурой и устройством передачи информации в режиме реального времени (по радиоканалу) в аналитический центр для ее дальнейшей обработки [9].

Так для исследования естественной аномалии, обусловленной высоким содержанием природных радионуклидов, в работе [14] использовался сцинтилляционный кристалл германата висмута (BGO)³, разрешающая способность которого по γ -излучению с энергией 662 кэВ (^{137}Cs) составляет $\sim 9,0 - 9,8\%$. Этот сцинтиллятор оказывается эффективнее NaI(Tl) за счет отсутствия гигроскопичности и высокой плотности ($7,13 \text{ г/см}^3$), в результате чего основной вклад в поглощение рентгеновских фотонов с энергией в диапазоне 50 – 200 кэВ в BGO вносит фотоэффект (вклад комптон-эффекта и рэлеевского рассеяния при $E_\gamma < 100 \text{ кэВ}$ мал по сравнению с фотоэффектом). К другим наиболее эффективным сцинтилляторам отечественной разработки (институтом физики твердого тела РАН) можно отнести сцинтиллятор на основе кристалла $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$, энергетическое разрешение которого по энергии γ -излучения ^{137}Cs составляет $\sim 3\%$, плотность – в 1,44 раза больше плотности NaI(Tl), время высвечивания в 12,5 раза меньше высвечивания кристалла NaI(Tl) и составляет 16 нс, а световой выход в 1,7 раз выше, чем у NaI(Tl). К недостаткам следует отнести гигроскопичность и радиоактивность, обусловленную содержанием в природном Лантане изотопа $^{138}\text{La}_{57}$ ($T_{1/2} = 1,35 \cdot 10^{11}$ лет, $E_{\gamma 1} = 1,4354 \text{ МэВ}$, с квантовым выходом $\nu_1 = 67,9\%$ и $E_{\gamma 2} = 0,7879 \text{ МэВ}$, $\nu_2 = 32,1\%$), вклад γ -излучения которого может внести определенную погрешность при низкофо-новых измерениях исследуемых сред или материалов.

На фоне приведенных характеристик кристаллов, рассмотренных выше γ -спектрометров, радиационные характеристики ксенонового γ -спектрометра с рабочим телом в виде инертного газа ксенона, наполняющего ионизационную камеру при давлениях в 30 – 40 атм., выглядит в значительно лучшем свете. Действительно, ксеноновый γ -спектрометр – ксеноновый γ -детектор (КГД) при своей работе не требует низкотемпературного охлаждения, в отличие от германиевых полупроводниковых детекторов, имеет достаточно высокое энергетическое разрешение по энергии γ -излучения ^{137}Cs (1,7 – 2%), что обусловлено большим атомным номером ксенона $Z = 54$ и, как указывалось, высокой его плотностью газа в рабочей камере [15]. Этот детектор может работать в температурном диапазоне – 20 – + 180°C; обладает высокой радиационной стойкостью по потоку нейтронов $\sim 10^{12} \text{ н/см}^2$. Эффективность регистрации γ -излучения может быть существенно повышена за счет увеличения объема камеры, но это, с другой стороны, можно отнести и к его недостаткам.

Следует отметить, что возможность регистрации КГД спектрального состава γ -излучения радиоактивной примеси, распространяющегося в атмосфере или

³ Германат висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) — сцинтилляционный материал, широко применяемый в виде кристаллов в ядерной физике, физике высоких энергий, геофизике, низкофоновой спектрометрии, в ядерной медицине и в других областях.

загрязняющей подстилающую поверхность, совместно с измерением мощности дозы, дают полную возможность получить оценки радионуклидного состава, загрязняющего ту или иную среду, оценить дозовые нагрузки на персонал и население и привести другие радиационные характеристики, определяющие экологическую и радиационную безопасность окружающей среды.

Получив определенное представление о сценариях оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды в результате радиационной аварии на ОИАЭ, математической модели оценки ее радиоактивного загрязнения, и о расчетных методах, а также о специальных средствах ее радиационного контроля, представляющих собой беспилотные радиоуправляемые аппараты, оснащенные спектрометрическим и дозиметрическим оборудованием, предназначенным дистанционно (без непосредственного контакта человека с радиоактивными материалами) осуществлять радиационный контроль, рассмотрим вопрос оптимизации маршрутов следования БПЛА с выделением «горячих» точек. Следует отметить, что на данный момент вопросам, связанным с оптимизацией маршрута следования БДК, не уделялось достаточного внимания. С этой целью, будем рассматривать сценарий второго вида, о котором говорилось ранее. Суть сценария состоит в том, что радиоактивное загрязнение подстилающей поверхности в этом случае может носить случайный характер, что не дает возможности применить приведенный ранее математический аппарат для оценки такого рода радиоактивных пятен, которые, для примера, приведены на рисунке 14 и выделены цифрами.

В этом случае оценку радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при использовании БДК целесообразно провести в два этапа. На первом, для получения общей картины, необходимо поднять аппарат как можно выше, но без потери чувствительности γ -детекторов, и зафиксировать координаты этих «пятен». На втором – проложить всевозможные маршруты для БДК между «пятнами», полагая таковым только прямые линии, соединяющие «пятна», таким образом, что любой путь, состоящий из множества отрезков, представлял бы собой линию конечной длины:

$$L_j = \sum_{i=1}^{N_j} l_{i,j},$$
 где $l_{i,j}$ – прямолинейные отрезки пути, сумма которых будет определять их

общую длину L_j ; N_j – целое число, определяющее количество элементарных отрезков. Такой путь решения задачи представлен на рисунке 14 в виде двух (выделены синим и красным) вариантов выбора пути: $L_1 = l_{0,1} + l_{1,2} + l_{2,3} + l_{3,4} + l_{4,5} + l_{5,6} + l_{6,0}$; $L_2 = l_{0,1} + l_{1,6} + l_{6,5} + l_{5,4} + l_{4,3} + l_{3,2} + l_{2,0}$. Поскольку координатная сетка задана, то и расстояния $l_{i,j}$ этих маршрутов легко найти. Тогда при известной средней скорости полета БПЛА V_{cp} нетрудно найти время, которое будет затрачено при полете на каждом из путей $T_j = L_j/V_{cp}$, а при заданном расходе топлива на час пути (K , кг/ч) общая масса топлива, израсходованного на пути L_j определится произведением: $M_j = K \cdot T_j$, где $j = 1, 2, \dots, M$, $M \gg 1$. Выбирая из найденной совокупности M_j наименьшее, определим и оптимальный путь следования, по которому следует задавать полетное задание. Очевидно, что с ростом числа радиационных пятен на подстилающей поверхности второй сценарий ее сканирования будет наиболее целесообразным, поскольку число связей между пятнами возрастет. При этом средняя или оптимальная высота сканирования h_D , на которой более детально можно провести измерения радиационных характеристик при радиоактивном загрязнении подстилающей поверхности, в этом случае может составлять 60 м, согласно рекомендациям работ [2, 9]. Таким образом, выбирая минимальное значение M_j , находят оптимальное решение транспортной задачи, позволяющей минимизировать финансовые затраты на приобретение топлива и время, необходимое для принятия решений при ликвидации последствий радиационной аварии.

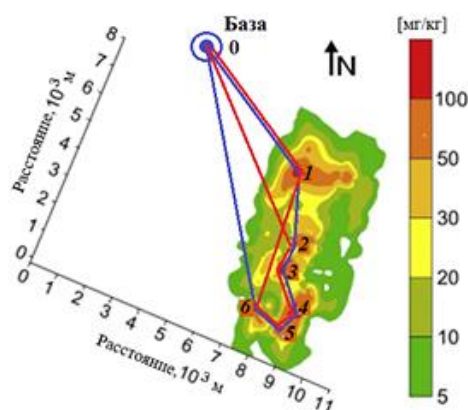


Рисунок 14 – Иллюстрация маршрута следования БДК в рамках задачи оптимизации маршрута с учетом экономии топлива [Illustration of the UDC route within the framework of the route optimisation task taking into account fuel savings]

Иной метод выбора маршрута, приведенный на рисунке 15, был предложен в работе [7] на территории Японии. В качестве маршрута следования была выбрана «змейка» (серо-белая линия на рис. 15). Данный маршрут, очевидно, также является предварительным, поскольку позволяет охватить, достаточно большую территорию, при сканировании ее радиоактивного загрязнения, однако при выборе данного пути следования не учитывались такие параметры ДК, как его чувствительность, радиус сканирования и оптимальная высота полета. Именно, поэтому предложенный метод не может претендовать на оптимальный.

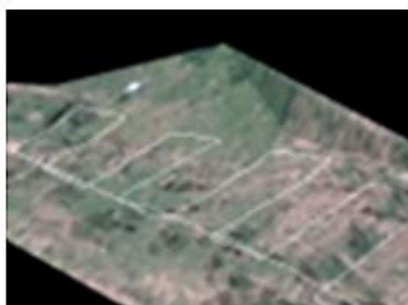


Рисунок 15 – Маршрут следования БДК «змейкой». Япония. Радиационный контроль в регионе АЭС Фукусима-1 [The route of the UDC serpentine pattern. Japan. Radiation control in the Fukushima-1 nuclear power plant region]

В работах [7, 14, 16], в качестве высоты полета зачастую принималась значение 9-12 метров, что является не всегда применимой высотой, поскольку на пути следования БДК могут встречаться препятствия выше этого значения. Стоит отметить, что в работе [14] в том числе производились измерения и на высоте 40 метров, однако, как отмечали авторы, показания ДК, выполненного на основе ВГО, в этом случае были близки к фоновым значениям. Последнее, скорее всего, свидетельствовало о низкой величине активности подстилающей поверхности. В таких случаях, естественно, просто необходимо уменьшить высоту полета сканирования подстилающей поверхности.

При сканировании подстилающей поверхности, в первую очередь, возникает вопрос об обосновании высоты сканирования и погрешности, обусловленной ограниченностью радиуса сканирования. В работах [2, 9, 17], в которых БДК представлен в виде комплекса, содержащего ксеноновый γ -спектрометр и γ -детектор типа УДМГ, для решения этих вопросов предлагают следующие рекомендации: оптимальная высота полета h_D составляет 40 – 60 метров; радиус сканирования БДК

связан с высотой h_D соотношением $R = 3h_D$ и требованием равномерного распределения поверхностного загрязнения на площади $S = \pi R^2$. Последнее удается удовлетворить с погрешностью 13%, что оказывается меньше погрешности дозиметрии (15 – 20%). С учетом этих рекомендаций предлагаемый маршрут «змейка» может быть модернизирован таким образом, чтобы расстояние l между двумя ближайшими прямыми путями следования составляли не более $2R$ (см. рис. 16).

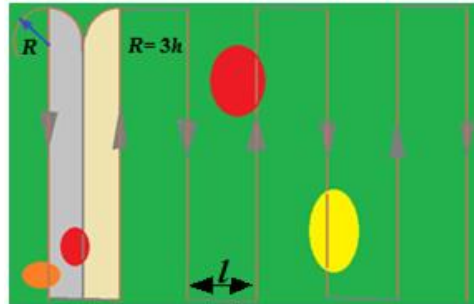


Рисунок 16 – Маршрут «змейка» при радиоактивном загрязнении подстилающей поверхности, имеющем случайный характер и обусловленный техногенными причинами [Serpentine route for accidental, man-made radioactive contamination of the underlying surface]

Оценка радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности на основе показаний БДК

Как было показано в [7, 14], показания БДК страдают существенным недостатком – отсутствием зависимости от высоты сканирования, что ограничивает возможность указанных измерений для непосредственных оценок поверхностной активности радиоактивного загрязнения. Решение этой проблемы было предложено в работах [2, 9, 17] и основано на достаточно простом принципе сравнения измеряемой мощности дозы, создаваемой радиоактивным загрязнением подстилающей поверхности, и ее расчетной величиной, представленной в виде аналитической формулы, содержащей высоту сканирования h_D , и поверхностную активность $\chi(x_0, y_0)$, зависящую от точки наблюдения, в виде постоянной величины, где x_0, y_0 – координаты точки наблюдения. Требование равномерного распределения поверхностной активности в круге диаметром $2R$ дает возможность получить простую формулу для концентрации радионуклида, которая на выделенной площадке определяется выражением:

$$\chi(x_0, y_0, E_i) = \frac{D'_{tot}(x_0, y_0) \cdot p_i}{\Phi(E_i, p_i) \left\{ \int_{h_{\Phi}}^{\infty} \frac{\exp[-\mu(E_i)U]}{U} dU - \int_{h_{\Phi} \sqrt{m^2+1}}^{\infty} \frac{\exp[-\mu(E_i)U]}{U} dU + \frac{a_i}{1-b_i} \exp\left[\mu(E_i)h_{\Phi}(b_i-1)\sqrt{m^2+1}\right] \right\}}$$

где: $\Phi(E_i, p_i) = 2\pi \cdot 1,458 \cdot 10^5 \sum_{i=1}^N \gamma(E_i) E_i \nu(E_i) \beta(E_i) \psi(E_i) p_i$; $D'_{tot}(x_0, y_0, h_D)$ – мощность дозы γ -излучения, регистрируемая γ -детектором на высоте h_D ; p_i – вес радионуклида, определяемый выражением:

$$p_i = \left[\alpha(E_i) A(E_i) \Delta(E_i) / \nu_i \right] / \sum_{i=1}^N \left[\alpha(E_i) A(E_i) \Delta(E_i) / \nu_i \right],$$

$\alpha(E_i)$ – коэффициент, характеризующий энергетическую зависимость ксенонового спектрометра, определяемый экспериментально по монолиниям γ -излучения $A(E_i)$;

$\Delta(E_i)$ – амплитуда и полуширина пика, измеряемая на его полувывоте, обработанного спектра; $\nu(E_i)$ – квантовый выход энергии γ -излучения радионуклида; $\gamma(E_i)$, $\mu(E_i)$ – коэффициенты поглощения и линейного ослабления γ -излучения; $\beta(E_i)$ – энергетическая чувствительность γ -детектора, определяемая экспериментально; m – необязательно целое число; a_i , b_i – безразмерные параметры формулы Бергера, зависящие от энергии гамма-излучения [18]; $\psi(E_i)$ – поправочный коэффициент.

Заключение

Таким образом в работе представлен анализ методов радиационного контроля подстилающей поверхности при ее радиоактивном загрязнении. Анализ проводится в рамках двух сценариев, один из которых основывается на условиях радиоактивного загрязнения, обусловленного радиационной аварией на ОИАЭ, что позволяет использовать аппарат и оборудование системы радиационного контроля этого объекта, включая оборудование системы АСКРО, ее метеорологическое оборудование (приборы измерения метеопараметров атмосферы, метеомачту и др.) и программное (физико-математическое) обеспечение, которое дает возможность получить исчерпывающую информацию классов устойчивости атмосферы во время возникновения и развития радиационной аварии, позволяющую, в конечном итоге, получить картину расчетов изолиний радиоактивного загрязнения на карте местности и оценки дозовых нагрузок на персонал и население. Последнее обеспечивает руководителей ОИАЭ информацией для принятия решений с целью ликвидации и минимизации последствий радиационной аварии на объекте.

В рамках другого сценария радиационной аварии, обусловленной техногенными причинами ее происхождения и развития, имеющими случайный характер, рассматривалось решение задачи в два этапа с привлечением БПЛА, оборудованных дозиметрической и спектрометрической аппаратурой. На первом этапе определялись координаты радиоактивных пятен с использованием систем ГЛОНАС и/или GPS, а на втором уже осуществлялся их анализ с привлечением БДК и математического (программного) обеспечения, служащего приложением к подобным системам. В работе показано, что в рамках второго сценария необходимо проводить оптимизацию пути следования при выборе маршрута полета, что приводит к необходимости использовать аппарат задач линейного программирования при оптимизации топлива, используемого БПЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сосновский, Р.И.* Эффективность гибридного мониторинга радиационного загрязнения атмосферы / Р.И. Сосновский, И.М. Левин, Д.Ф. Рау // Атомная энергия. – 1991. – Т. 71, вып. 3. – С. 244-249.
2. *Елохин, А.П.* Метод бесконтактной оценки радиоактивного загрязнения подстилающей в поверхности в следе радиоактивного выброса / А.П. Елохин, М.В. Жилина, П.А. Пархома // Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2010. – Специальный выпуск. – С. 137-145.
3. Stohl, A., Seibert, P., Wotawa, G., Arnold, D., Burkhardt, J.F., Eckhardt, S., Tapia, C., Vargas, A., Yasunari, T.J., 2012. Atmos. Chem. Phys. 12, 2313-2343.
4. Omoto, A., 2013. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section a: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment.
5. Nuclear Accident Independent Investigation Commission, 2012. The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. NAIIC, Tokyo.
6. Povinec, P.P., Hirose, K., Aoyama, M., 2013. Fukushima Accident. Elsevier, Boston.
7. Yuki Sato, Shingo Ozawa, Yuta Terasaka, Kojiro Minemoto, Satoshi Tamura, Kazutoshi Shingu, Makoto Nemoto & Tatsuo Torii. Remote detection of radioactive hotspot using a Compton camera mounted on a moving multi-copter drone above a contaminated area in Fukushima. Journal of nuclear science and technology. 2020, VOL. 57, NO. 6, 734-744.
8. *Лайтман, Д.Л.* Физика пограничного слоя атмосферы / Д.Л. Лайтман. – Ленинград : Гидромет, 1970. – 340 с.

9. Елохин, А.П. Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды: монография / А.П. Елохин. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 520 с.
10. Алалем, Е.А. Метеорологические характеристики района АЭС в Иордании / Е.А. Алалем, А.П. Елохин, А.И. Ксенофонтов, П.И. Федоров // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 3(24). – С. 19-34.
11. Елохин, А.П. Метеорологические характеристики района АЭС «Бушер» в Иране / А.П. Елохин, Е.А. Алалем, А. И. Ксенофонтов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4(25). – С. 23-47.
12. Елохин, А.П. Влияние изменения шероховатости подстилающей поверхности на формирование следа при её радиоактивном загрязнении / А.П. Елохин, Е.А. Холодов, М.В. Жилина // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 5. – С. 69-79.
13. Линейное и нелинейное программирование / Под общ. ред. М.Н. Ляшенко. – Киев : Высшая школа, 1975. – 372 с.
14. Ondřej Šáleka, Milan Matolína, Lubomír Grycb. Mapping of radiation anomalies using UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry // Journal of Environmental Radioactivity 182 (2018) 101–107.
15. С.Е. Улин, В.В. Дмитренко, В.М. Грачев, К.Ф. Власик, З.М. Утешев, А.Д.Ищенко, А.Г. Духвалов (НИЯУ МИФИ); К.А. Боярчук, В.Я. Геча (ФГУП «НПП ВНИИЭМ»). Гамма-спектрометры на сжатом ксеноне для обнаружения и идентификации радиоактивных и делящихся материалов// Вопросы электромеханики Т. 114. 2010, стр. 43-50.
16. Калиберда, И.В. Дистанционные измерения радиационного загрязнения территорий с помощью беспилотного дозиметрического комплекса / И.В. Калиберда, Ф.Ф. Брюхань // Вестник МГСУ. – 2012. – № 4. – С. 186-194.
17. Елохин, А.П. Особенности сканирования подстилающей поверхности при помощи беспилотного дозиметрического комплекса / А.П. Елохин, М.В. Жилина, П.А. Пархома // Атомная энергия. – 2009 – Т.107, вып.2. – С. 103-112.
18. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.

REFERENCES

- [1] H Sosnovsky R.I., Levin I.M., Raou D.F. Effektivnost' gibridnogo monitoringa radiacionnogo zagryazneniya atmosfery [Hybrid Monitoring Efficiency of Atmospheric Radiation Pollution]. //Atomnaya energiya [Atomic Energy]. T.71, vyp. 3. 1991. // Volume 71, no. 3. 1991, pp. 244-249 (in Russian).
- [2] A.P. Elokhin, M.V. Zhilina, P.A. Parhoma. Metod beskontaktnoj ocenki radioaktivnogo zagryazneniya podstilayushchej v poverhnosti v slede radioaktivnogo vybrosa [The method of the Contactless Estimation of Radioactive Pollution of the underlying Surface in the Trace of Radioactive Emission.] // Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki. Special'nyj vypusk. [University News. North Caucasian region. Technical science. Special Issue] 2010, pp.137-145 (in Russian).
- [3] Stohl, A., Seibert, P., Wotawa, G., Arnold, D., Burkhardt, J.F., Eckhardt, S., Tapia, C., Vargas, A., Yasunari, T.J., 2012. Atmos. Chem. Phys. 12, 2313-2343 (in English).
- [4] Omoto, A., 2013. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section a: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (in English).
- [5] Nuclear Accident Independent Investigation Commission, 2012. The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. NAIIC, Tokyo (in English).
- [6] Povinec, P.P., Hirose, K., Aoyama, M., 2013. Fukushima Accident. Elsevier, Boston (in English).
- [7] Yuki Sato, Shingo Ozawa, Yuta Terasaka, Kojiro Minemoto, Satoshi Tamura, Kazutoshi Shingu, Makoto Nemoto & Tatsuo Torii. Remote Detection of Radioactive Hotspot Using a Compton Camera Mounted on a Moving Multi-Copter Drone above a Contaminated Area in Fukushima. Journal of Nuclear Science and Technology. 2020. vol.57. №6. 734-744 (in English).
- [8] Lajhtman D.L. Fizika pograničnogo sloja atmosfery. [Physics of the Boundary Layer of the Atmosphere]. Leningrad: Gidromet, [Leningrad: Hydromet. publishing house], 1970, 340 p. (in Russian).
- [9] A.P. Elokhin. Metody i sredstva sistem radiacionnogo kontrolya okruzhayushchej sredy: Monografiya. [Methods and Means of Radiation Monitoring Systems of the Environment: Monograph.] M.: NIYAU MIFI [Moscow: NRNU MEPhI], 2014. 520 p. (in Russian).
- [10] E.A. Alalem, A.P. Elokhin, A.I. Ksenofontov, P.I. Fedorov. Meteorologicheskie karakteristiki rajona AES v Jordanii. [Meteorological Characteristics for the NPP Site in Jordan] Global'naya Yadernaya Bezopasnost' [Global Nuclear Safety], 2017 No. 3 (24), pp. 19-34 (in Russian).

- [11] A.P. Elokhin, E.A. Alalem, A. I. Ksenofontov. Meteorologicheskie karakteristiki rajona AES "Bushehr" v Irane. [Meteorological Condition of the Bushehr NPP Area, Iran.] Global'naya Yadernaya Bezopasnost' [Global Nuclear Safety], 2017 No.4 (25), pp.23-47 (in Russian).
- [12] A.P. Elokhin, E.A. Holodov, M.V. Zhilina. Vliyaniye izmeneniya sherohovatosti podstilyayushchej poverhnosti na formirovaniye sleda pri eyo radioaktivnom zagryaznenii. [Influence of Changes in Underlying Surface Roughness on the Formation of the Track of Radioactive Pollution of the Surface] // Meteorologiya i gidrologiya. Meteorology and Hydrology. 2008, No. 5, pp. 69-79 (in Russian).
- [13] Linejnoe i nelinejnoe programmirovaniye. [Linear and Non-Linear Programming]/edited by M.N. Lyashenko. Kiev: Vishcha shkola [Kiev: Higher School], 1975. 372 p. (in Russian).
- [14] Ondřej Šálek, Milan Matolín, Lubomír Grycb. Mapping of Radiation Anomalies Using UAV Mini-Airborne Gamma-Ray Spectrometry // Journal of Environmental Radioactivity 182 (2018) 101-107 (in English).
- [15] S.E. Ulin, V.V. Dmitrenko, V.M. Grachev, K.F. Vlasik, Z.M. Uteshev, A.D. Ishchenko, A.G. Duhvalov (NIYaU MIFI); K.A. Boyarchuk, V.Ya. Gecha (FGUP "NPP VNIIEM"). Gamma-spektrometriya na szhatom ksenone dlya obnaruzheniya i identifikacii radioaktivnyh i delyashchihsya materialov [Compressed Xenon γ -ray Spectrometers for the Detection and Identification of Radioactive and Fissile Materials].// Voprosy elektromekhaniki T. 114. [Problems of Electromechanics. Vol. 114], 2010, pp. 43-50 (in Russian).
- [16] Kaliberda I.V., Bryuhan' F.F. Distancionnye izmereniya radiacionnogo zagryazneniya territorij s pomoshch'yu bespilotnogo dozimetricheskogo kompleksa [Remote Measurements of Radiation Contamination of Territories Using an Unmanned Dosimetric Complex]// Vestnik MGSU [MGSU News], 2012. No.4. P.186-194 (in Russian).
- [17] A.P. Elokhin, M.V. Zhilina, P.A. Parhoma. Osobennosti skanirovaniya podstilyayushchej poverhnosti pri pomoshchi bespilotnogo dozimetricheskogo kompleksa. [Peculiarities of Scanning of the Underlying Surface with Pilotless Dosimeter complex] // Atomnaya energiya [Atomic Energy], Volume107, No. 2, pp.103-112 (in Russian).
- [18] Mashkovich V.P., Kudryavceva A.V. Zashchita ot ioniziruyushchih izluchenij. Spravochnik. [Protection Against Ionizing Radiation. Directory. Reference Book] M.: Energoatomizdat, [Moscow: Energoatomizdat], 1995, 496 p. (in Russian).

Methods of Assessing Radioactive Contamination of Underlying Surface Using Unmanned Dosimeter System

I.A. Rodionov¹, A.P. Elokhin²

National Research Nuclear University MEPhI, kashirskoe highway, Moscow, Russia, 344000

¹*e-mail: uxanson@bk.ru*

²*ORCID iD: 0000-0002-7682-8504*

ResearcherID: G-9573-2017

e-mail: elokhin@yandex.ru

Abstract – The paper considers methods of estimating radioactive contamination of the underlying surface, based on two scenarios. In the first one the analysis of contamination is performed within the framework of a geophysical model of the surface layer of the atmosphere, while the transport of radioactive admixtures, which causes contamination of the underlying surface, is calculated within the turbulent diffusion model. The second scenario consists of an analysis of the radioactive contamination of the underlying surface, which has a random nature due to technogenic causes, and its implementation is carried out by means of an unmanned dosimetric complex (UDC). The latter allows to considerably reduce direct human involvement in radiation reconnaissance of the territory. The work draws attention to the program of drone flight (altitude, route, etc.), composition of the dosimetric complex, mathematical support of the unmanned dosimetric complex, mathematical models of atmospheric meteorological parameters estimation underlying the model of surface layer and radioactive admixture distribution in the atmosphere.

Keywords: radiation monitoring, radioactive contamination, environment, underlying surface, unmanned aerial vehicle, unmanned dosimetry system.

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 539.12.08(015.8)

**ДИФФУЗИЯ ПРИМЕСИ ПРИ МГНОВЕННОМ ВЫБРОСЕ ИЗ
ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА В СЛУЧАЕ РЕАЛИЗАЦИИ
ПЕССИМИСТИЧЕСКОГО СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНОЙ
СИТУАЦИИ**

© 2022 О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе

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

В статье рассматривается развитие аварийной ситуации сопровождающейся взрывом (сгоранием) взрывчатого вещества, входящего в состав спецбоеприпаса, и диспергированием ядерного делящегося материала с выходом в окружающую среду. Проведено моделирование распространения примеси в атмосфере в случае неактивного взрыва.

Ключевые слова: малогабаритная ядерная энергетическая установка, источник радиоактивного заражения, диспергирование, облако выброса, концентрация примеси.

Поступила в редакцию 15.12.2021

После доработки 14.01. 2022

Принята к публикации 24.01.2022

В вооруженных конфликтах с участием государств, обладающих ядерным оружием, достаточно высок риск поражения носителей с ядерными боеприпасами (ЯБП) обычными средствами. При определенных условиях это приведет к возникновению аварийной ситуации (АС) [1-3]. Наиболее опасным исходом развития подобных АС является взрыв и сгорание ЯБП. При этом в окружающую среду выделяются: плутоний-239 в виде оксида PuO_2 ; уран-235 и уран-238 как в чистом виде, так и в виде оксида U_3O_8 ; тритий газообразный и окисленный; радиоактивные продукты деления в случае протекания цепной реакции. Плутоний и уран являются альфа-активными, а тритий – бета-излучатель, поэтому основная опасность для человека возникает при ингаляционном поступлении с загрязненным воздухом [4].

Перечень возможных АС и этапов их развития представлены в таблицах 1 и 2, соответственно, а на рисунке 1 логические схемы развития аварии для наихудшего сценария развития [5].

Таблица 1 – Перечень возможных аварийных ситуаций [List of possible emergency situations]

Аварийная ситуация		Параметры
АС-I	Падение на бетон (грунт) при столкновении; опрокидывании транспортного агрегата	Диапазон высот падения, характеристики поверхности
АС-II	Возгорание агрегата в результате пожара	Интенсивность теплового воздействия
АС-III	Воздействие обычных средств поражения	Характеристики поражающих элементов
АС-IV	Удар молнии, воздействие статического электричества	Характеристики ЭМИ и параметров тока молнии
АС-V	Несанкционированный запуск двигательной установки ракеты	Интенсивность теплового воздействия продуктов сгорания, максимальное давление воздействия продуктов сгорания
АС-VI	Затопление агрегата	Параметры среды

Таблица 2 – Перечень этапов развития аварийных ситуаций [List of stages of emergency situation development]

№ этапа	Этап
Э-1	Удар о поверхность, преграду
Э-2	Пожар транспортного агрегата
Э-2-1	Пожар (взрыв) топлива ракеты
Э-2-2	Срабатывание пожаро-взрывоопасных элементов ракеты и ЯБП
Э-3	Механическое воздействие на узлы крепления
Э-4	Воздействие фрагментов конструкции агрегата на ракету, ЯБП
Э-5	Разрушение корпуса двигательной установки
Э-6	Нарушение герметичности топливных баков ракеты с жидкостным двигателем
Э-7	Воздействие обычных средств поражения
Э-8	Воздействие поражающих факторов взрыва элементов ракеты, ЯБП
Э-9	Электрический разряд
Э-13	Взрыв, сгорание ЯБП

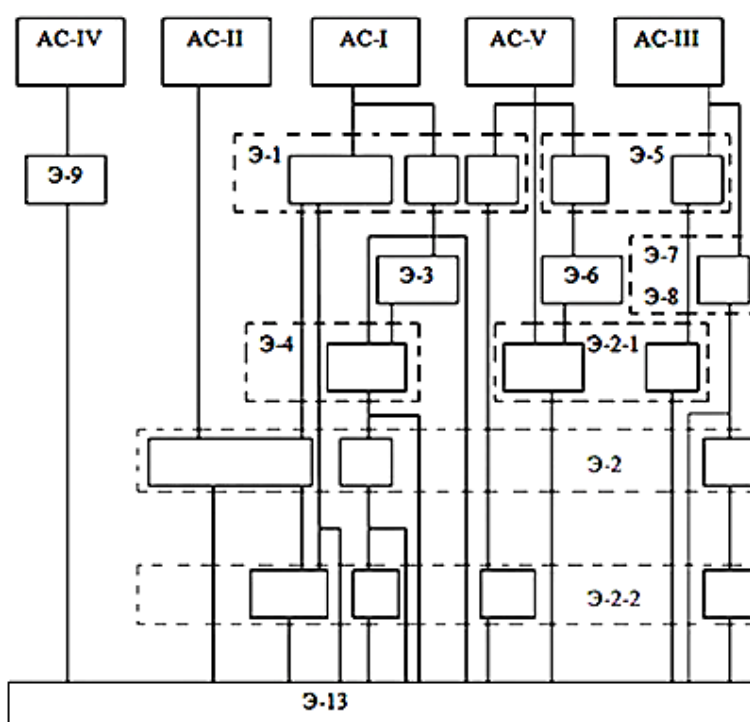


Рисунок 1 – Логические схемы развития аварий [Logical schemes of the development of accidents]

Как видно из рисунка 1, в результате деструктивных воздействий в ходе развития аварийной ситуации нельзя исключить взрыва (сгорания) взрывчатого вещества (ВВ), входящего в состав ЯБП, и диспергирования ядерного делящегося материала (ЯДМ) с выходом в окружающую среду [3, 6]. Кроме того, при аварийном взрыве принципиально возможно протекание цепной реакции деления в ЯДМ. Состав инжектируемых радиоактивных продуктов зависит от конструктивных особенностей боеприпаса. Основное внимание при проведении оценки радиационной обстановки при аварии с ЯБП уделяется прогнозированию заражения плутонием вследствие его высокой альфа-активности.

Под источником радиоактивного заражения понимается область пространства, в которой распределены инжектируемые в окружающую среду радиоактивные продукты после завершения газодинамических возмущений, вызванных взрывом. Формирование источников радиоактивного заражения связано с тремя последовательными процессами:

- образование радиоактивных аэрозолей и распределение радиоактивных продуктов по их размерам;
- распределение образовавшихся радиоактивных аэрозолей по объему источника радиоактивного заражения в соответствии с закономерностями формирования этого источника;
- перенос и рассеяние радиоактивных аэрозолей.

Пусть распределение радиоактивных продуктов по размерам образовавшихся аэрозолей определяется плотностью распределения $f(d)$. Тогда активность продуктов, приходящаяся на аэрозоли размерами от d до $d + \delta d$, составит величину $A_v f(d) \delta d$, где A_v – объемная концентрация радиоактивных продуктов.

Из источника заражения осуществляется перенос радиоактивных аэрозолей в окружающую среду [7,8]. Делящиеся материалы под воздействием тепловых потоков от выгорающего взрывчатого вещества могут окисляться и переходить в аэрозольное состояние (рис. 2). Процесс диспергирования при взрыве отличается от диспергирования при горении. Сначала происходит первоначальное дробление делящегося материала при взрыве ВВ, а затем реализуется дальнейшее диспергирование раздробленного материала в результате окисления осколков урана и плутония в процессе их разлета в воздушной среде [9]. После аварийного взрыва пары актиноидов, контактирующие с подстилающей поверхностью, а также осколки делящихся материалов, направление полета которых пересекает подстилающую поверхность, будут фиксироваться в районе взрыва.

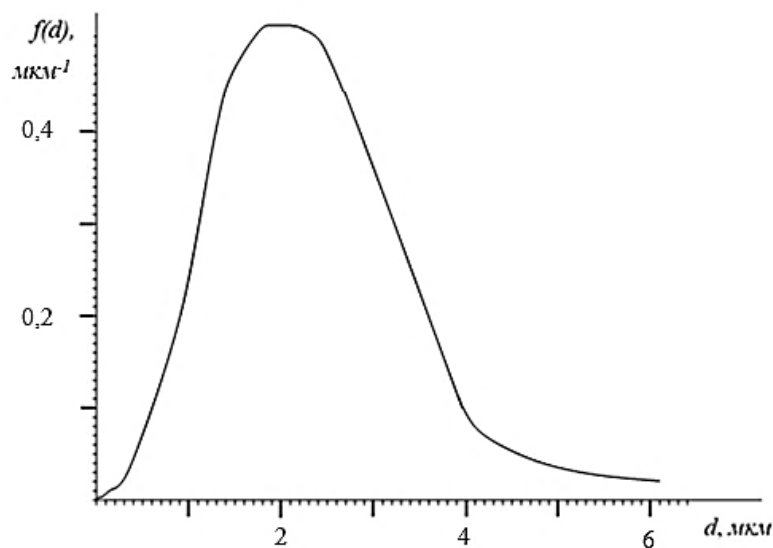


Рисунок 2 – Плотность распределения активности по размерам частиц [Density of activity distribution by particle size]

Вещества, удаляемые в атмосферу в виде газов и аэрозолей в процессе различных выбросов, в метеорологии называют примесью [10]. Рассмотрим распространение примеси в атмосфере в случае неактивного взрыва ЯБП. Пусть высота выброса над подстилающей поверхностью равна h , активность выброса из источника обозначим Q . Примем допущение, что скорость перемещения облака выброса равна скорости ветра u , которую будем считать постоянной, не изменяющейся с высотой (до 100 м). Для оценки A_v примеси от источника используем уравнение:

$$\frac{\partial A_v}{\partial t} + u \frac{\partial A_v}{\partial x} = k_z \frac{\partial^2 A_v}{\partial z^2} + k_y \frac{\partial^2 A_v}{\partial y^2}, \quad (1)$$

где k_z, k_y – коэффициенты диффузии вдоль осей z и y соответственно.

Краевые условия задачи:

$$A_v \rightarrow 0 \text{ при } z \rightarrow \infty, |y| \rightarrow \infty; \quad (2)$$

$$k_z \frac{\partial A_v}{\partial z} = 0 \text{ при } z = 0; \quad (3)$$

$$A_v = Q\delta(x)\delta(y)\delta(z-h) \text{ при } t = 0. \quad (4)$$

Считая скорость ветра постоянной, согласно принципу суперпозиций получим:

$$A_v = \int_0^{T_u} A'_v(t-\xi, y, z)\delta[x-u(t-\xi)]d\xi, \quad (5)$$

где A'_v – средняя концентрация примеси;

T_u – период действия источника.

Если положим $\partial A_v / \partial t = 0$, то для установившегося состояния уравнение будет иметь вид:

$$u \frac{\partial A'_v}{\partial x} = k_z \frac{\partial^2 A'_v}{\partial z^2} + k_y \frac{\partial^2 A'_v}{\partial y^2}, \quad (6)$$

Из выражения (5) следует:

$$A_v = A'_v\left(\frac{x}{u}, y, z\right) \text{ для } t \geq \frac{x}{u}. \quad (7)$$

Отсюда видно, что установившийся режим достигается при $t \geq x/u$, тогда для концентрации мгновенного выброса имеем:

$$A_v(x, y, z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} e^{-\left[\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]} \left[e^{-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_x^2}} + e^{-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}} \right], \quad (8)$$

где стандартные отклонения $\sigma_i = \sqrt{2k_i t}, i = x, y, z$.

Из формулы (8) получим выражение для осевой концентрации, где $x=ut, y=z=0$, при начальном объеме V_0 :

$$A_v^L(x, y, z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}^{3/2}} (\sigma_{xL} \sigma_{yL} \sigma_{zL} + V_0)^{-1}. \quad (9)$$

Полная экспозиция радиоактивной примеси у поверхности земли точки $(x, y, z = 0)$:

$$\Psi = \int_{x/u}^{\infty} A_v(x-ut, y, 0) dt. \quad (10)$$

После интегрирования получим:

$$\varphi_t = \frac{Q}{\pi \sigma_{yl} \sigma_{zl} u} e^{-\left(\frac{y^2}{2\sigma_{yl}^2} + \frac{h^2}{2\sigma_{zl}^2}\right)}. \quad (11)$$

Интегральная концентрация в направлении поперечном ветру:

$$A_s = \frac{Q}{\pi \sigma_{xl} \sigma_{zl}} e^{-\left[\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_{xl}^2} + \frac{h^2}{2\sigma_{zl}^2}\right]}, \quad (12)$$

Полная экспозиция по координате y :

$$\varphi_t = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{\sigma_{zl} u} e^{-\frac{h^2}{2\sigma_{zl}^2}}. \quad (13)$$

Таким образом, концентрации A_s и A^L_V связаны соотношением:

$$A_s = \sqrt{2\pi} \sigma_y A^L_V, \quad (14)$$

при $V_0 = 0$.

Общее содержание примеси в облаке выброса уменьшается по мере его движения (сухое оседание, вымывание атмосферными осадками, радиоактивный распад).

Для определения первоначального объема облака взрыва рассмотрим взрыв бризантного ВВ сферической формы радиусом r_0 . Примем допущение, что через некоторое время после взрыва, продукты детонации займут предельный объем V_{np} с остаточным давлением продуктов, равным давлению окружающей среды $P_{атм}$.

Среднее начальное давление в заряде ВВ после детонации [11]:

$$\bar{P}_n = \frac{\rho_0 D^r}{2(n+1)} \approx \frac{1}{8} \rho_0 D^r \approx 2\rho_0 B, \quad (15)$$

где ρ_0 – первоначальная плотность ВВ;

D – скорость детонации;

B – удельная теплота реакции,

n – показатель политропы.

Для бризантных ВВ продукты детонации расширяются по закону:

$$PV^n = \bar{P}_n V_0^n = \bar{P}_k V_k^n, \quad (16)$$

где V_k , V , V_0 – конечный, текущий и начальный объемы соответственно.

Далее расширение происходит адиабатически [12]:

$$PV^k = \bar{P}_n V_0^k = \bar{P}_{атм} V_{np}^k, \quad (17)$$

где $V_{np} > V > V_0$; k – показатель адиабаты.

Сопряжение (16) и (17) с учетом $n = 3$ дает:

$$V_{np} / V_0 = \left(\bar{P}_n / P_k \right)^{1/3} \left(\bar{P}_k / P_{амм} \right)^{1/k}. \quad (18)$$

Для средних значений ρ_0 и D бризантных ВВ получим $V_{np} / V_0 \approx 800 \div 1000$. То есть продукты взрыва расширяются примерно в 800÷1000 раз. Конечный радиус объема, занятого продуктами взрыва сферического заряда, будет примерно в 10 раз больше начального радиуса.

Первоначальный радиус сферического заряда обычного ВВ массой $m_{вв}$:

$$R_0 = \sqrt[3]{m_{вв} / 4\pi\rho_0}. \quad (19)$$

С учетом расширения продуктов детонации $R_{np} \approx 10 R_0$, при достижении равновесного состояния ($P=P_{амм}$) радиус расширения примет максимальное значение:

$$R_0 \approx 0,7\sqrt[3]{\mu m_{вв}}. \quad (20)$$

где μ – коэффициент размерности равный $1 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Следует отметить, что при увеличении скорости детонации и начальной плотности ВВ возрастут и значения стандартных отклонений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoodbhoy P., Mian Z. Nuclear battles in South Asia // The Bulletin of the Atomic Scientists, May 4, 2016, Mode of access: <http://thebulletin.org/nuclear-battles-south-asia9415>.
2. Hans M. Kristensen & Robert S. Norris. North Korean nuclear capabilities, 2018, Bulletin of the Atomic Scientists, VOL.74, NO.1, 41-51, <https://www.tandfonline.com/loi/rbul20>
3. Кириллов, В.М. Физические основы радиационной и ядерной безопасности. / В.М. Кириллов – Москва : РВСН, 1992. – 212 с.
4. Денисов, О.В. Комплексная безопасность населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Проблемы и решения: монография / О.В. Денисов, О.А. Губеладзе, Б.Ч. Месхи, Ю.И. Булыгин; под общей редакцией Ю.И. Булыгина. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2016. – 278 с.
5. Михайлов, В.Н. Безопасность ядерного оружия России / под ред. В.Н. Михайлова. – Москва: Мин. по атомной энергии – 1998. – 148 с.
6. Губеладзе, О.А. Экспресс-оценка результатов нерегламентированных деструктивных воздействий на ядерно- и радиационноопасный объект / О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 4. – С. 24-30.
7. Богатов, В.А. Форма и характеристики частиц топливного выброса при аварии на Чернобыльской АЭС / В.А. Богатов, А.А. Боровой, Ю.В. Дубасов, В.В. Ломоносов // Атомная энергия. – 1990. – Т. 69, вып. 1. – С. 36-40.
8. Raabe O.I., Goldmau M.A. Predictivo madel ufearbey moctality following acute inhalation of Pu₂ oxide. Radiation research 78, 1979.
9. Ключников, А.А. Морфология частиц ядерного топлива чернобыльского выброса / А.А. Ключников, В.Б. Рыбалка, Г.И. Петелин, Ю.И. Зимин // Первый независимый научный вестник. – 2016. – № 4. – С. 82-88.
10. ГОСТ Р 59061-2020 Национальный стандарт РФ. Охрана окружающей среды. Загрязнение атмосферного воздуха. Термины и определения (введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 713-ст от 30.09. 2020 г.) [Электронный ресурс]. – URL : <https://internet-law.ru/gosts/gost/50555/> (дата обращения: 17.09.2021)
11. Станюкович, К.П. Неустановившееся движение сплошной среды / К.П. Станюкович – Москва : Наука, 1971. – 854 с.

12. Орленко, Л.П. Физика взрыва и удара / Л.П. Орленко. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 304 с.

REFERENCES

- [1] Hoodbhoy P., Mian Z. Nuclear Battles in South Asia // The Bulletin of the Atomic Scientists, May 4, 2016, Mode of access: <http://thebulletin.org/nuclear-battles-south-asia9415> (in English).
- [2] Hans M. Kristensen & Robert S. Norris (2018) North Korean Nuclear Capabilities, 2018, Bulletin of the Atomic Scientists, VOL.74, NO.1, 41-51, <https://www.tandfonline.com/loi/rbul20> (in English).
- [3] Kirillov V.M. Fizicheskie osnovy radiatsionnoy i yadernoy bezopasnosti [Physical Bases of Radiation and Nuclear Safety]. Moscow. RVSN. 1992. 212 p. (in Russian).
- [4] Denisov O.V., Gubeladze O.A., Meskhi B.Ch., Bulygin Yu.I. Kompleksnaya bezopasnost' naseleniya i territorij v chrezvy`chajny`x situacijax. Problemy` i resheniya: monografiya [Complex Safety of the Population and Territories in Emergency Situations. Problems and Solutions.]. Rostov-na-Donu: Izdatel'skij centr DGTU [Rostov-on-Don. Publishing center Don State Technical University]. 2016. 278 p. (in Russian).
- [5] Mikhaylov V.N. Bezopasnost' yadernogo oruzhiya Rossii [Safety of Nuclear Weapon of Russia]. Moscow. Min. po atomnoj energii [Ministry of Nuclear Energy]. 1998. 148 p. (in Russian).
- [6] Gubeladze O.A. Express-otsenka rezul'tatov nereglamentirovannykh destruktivnykh vozdeystvij na yaderno- i radiatsionnoopasnyy ob'ekt [Express Assessment of Results of Independent Destructive Impacts on Nuclear and Radiation-Hazardous Object] Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2018. №4 (29). P. 24-30 (in Russian).
- [7] Bogatov V.A. Forma i harakteristiki chastic toplivnogo vybrosa pri avarii na Chernobylskoj AES [The Shape and Characteristics of Fuel Release Particles in the Chernobyl Accident] Atomnaja energija [Nuclear power]. July 1990. Volume 69. Issue 1, P. 36-40 (in Russian).
- [8] Raabe O.I., Goldmau M.A. Predictivo madel ufearbey moctality following acute inhalation of Pu₂ oxide. Radiation research 78, 1979.
- [9] Kljutchnikov A.A. Morfologija tchastic jadergo topliva chernobylskogo vybrosa [Chernobyl Pollution Nuclear Fuel Particles Morphology] Pervyj nezavisimyj nauchnyj vestnik [First Independent Scientific Journal] 2016. №4. P. 82-88 (in Russian).
- [10] GOST R 59061-2020 Nazionalnyj standart RF. Ohrana okrugajutchej sredy. Zagrjaznenie atmosfernogo vozduha. Terminy i opredelenija [National Standard of the Russian Federation. Environmental Protection. Air pollution. Terms and definitions]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/50555/> (in Russian).
- [11] Stanjukovich K.P., Neustanovivsheesja dvigenie sploshnoj sredy [Unsteady Motion of a Continuous Medium] - Moskva: Nauka [Moscow: Science]. 1971. 854 p. (in Russian).
- [12] Orlenko L.P. Fizika vzryva i udara: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Physics of Explosion and Blow: Manual for Higher Education Institutions]. Moscow. FIZMATLIT. 2008. 304 p. (in Russian).

Impurity Diffusion at Instantaneous Outburst from a Point Source in Worst-Case Emergency Scenario Realization

O.A. Gubeladze¹, A.R. Gubeladze²

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

¹*ORCID iD: 0000-0001-6018-4989*

WoS Researcher ID: F-6921-201

e-mail: buba26021966@yandex.ru

²*ORCID iD: 0000-0002-6966-6391*

WoS Researcher ID: F-7215-2017

e-mail: buba26021966@yandex.ru

Abstract – The article studies the emergency development accompanied by an explosive item explosion (burning) which contained in nuclear weapon and by a scattering nuclear fissile material into the environment. The impurity propagation simulation in atmosphere at the inactive explosion case was executed.

Keywords: small-sized nuclear power plant, source of radioactive contamination, dispersion, emission cloud, impurity concentration.

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.039; 621.311.25; 621.039.566.6

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ШТАНГИ МАШИНЫ
ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ МПС-В-428 НА ПЕРВОМ БЛОКЕ
ТЯНЬВАНЬСКОЙ АЭС

© 2022 А.В. Семенцов *, М.И. Малахов **, К.А. Дуваров **

*АО «Атоммашэкспорт», Волгоград, Ростовская обл., Россия

**Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгоград,
Ростовская обл., Россия

Статья посвящена проекту модернизированной телевизионной штанги для машины перегрузочной МПС-В-428 первого блока Тяньваньской АЭС. Целью модернизации является снижение экономических издержек на АЭС в период планово-предупредительного ремонта, обусловленных несовершенством существующей конструкции телевизионной штанги машины перегрузочной из-за которых срок простоя блока превышен.

Ключевые слова: ВВЭР, машина перегрузочная, штанга телевизионная, транспортно-технологическое оборудование.

Поступила в редакцию 03.02.2022

После доработки 14.02.2022

Принята к печати 21.02.2022

Введение

Перегрузочные машины энергоблоков АЭС являются основным оборудованием определяющим безопасность при проведении планово-предупредительных ремонтов (ППР) и оказывающих влияние на их длительность. Помимо модернизаций систем управления машин перегрузочных (СУМП), и внедрения в них алгоритмов диагностики, основанных на анализе электрического сигнала датчиков и электроприводов, описанных в статьях [1-3], совершенствование технико-экономических показателей машин перегрузочных возможно путем модернизации механической части их составных частей.

Наиболее простой в реализации является модернизация телевизионной штанги машины перегрузочной, путем замены её на модернизированную. Так как телевизионная штанга является оборудованием, которое монтируется на машину перегрузочную на время проведения ППР, и каждый раз демонтируется с неё по окончании работ, затраты на монтаж модернизированной телевизионной штанги и затраты на демонтаж «старой» штанги будут равны нулю.

Статья предлагает модернизацию телевизионной штанги для машины перегрузочной МПС-В-428 с целью снижения экономических издержек на АЭС в период ППР, обусловленных несовершенством существующей конструкции телевизионной штанги машины перегрузочной из-за которых срок простоя блока превышен.

Машина перегрузочная сейсмостойкая МПС-В-428 входит в состав транспортно-технологического оборудования системы перегрузки ядерного топлива реакторной установки В-428 Тяньваньской АЭС, энергоблоки № 1, 2, Китайская Народная Республика.

Машина обеспечивает выполнение транспортно-технологических операций, связанных с перегрузкой ядерного топлива активной зоны реактора.

Машина также обеспечивает выполнение специальных транспортно-технологических операций:

- подъем упавшей тепловыделяющей сборки (ТВС);
- осмотр наружных поверхностей ТВС и поглощающих стержней системы управления и защиты (ПС СУЗ);
- контроль высотного положения ТВС в реакторе с помощью специальной радиационнотстойкой телевизионной системы и устройства для контроля уровня установки ТВС;
- осмотр посадочных мест ТВС в реакторе.

Осмотр посадочных гнезд ТВС проводится в случае возникновения внештатных ситуаций в ходе загрузки активной зоны, при которых установка ТВС в гнездо невозможна или затруднена, а также для проведения штатного осмотра гнезд ТВС в период проведения ППР.

Цели работ по осмотру посадочных гнезд:

- выявление или уточнение причин, которые препятствуют установке ТВС в гнездо в ходе загрузки активной зоны, либо при которых установка ТВС невозможна или затруднена;
- визуальный контроль процесса извлечения постороннего объекта из зоны установки ТВС;
- видео и фото отчет о процессе осмотра посадочных гнезд под ТВС и контроля извлечения постороннего объекта;
- осмотр пеналов системы обнаружения дефектныхборок;
- осмотр ячеек стеллажа бассейна выдержки и его дна.

Операция по осмотру посадочных мест под установку ТВС на первом блоке Тяньваньской АЭС осуществляется при помощи устройства для осмотра посадочных мест. Устройство для осмотра посадочных мест представляет собой телескопическую штангу с размещенной на ней телекамерой, устанавливаемую посредством полярного крана в гнездо на тележке машины перегрузочной. Роспуск устройства осуществляется с помощью чалочного устройства полярным краном реакторного отделения. В распушенном состоянии расстояние между посадочным местом ТВС и объективом телекамеры устройства равно 300 мм.

Перемещением моста и тележки устройство наводится на посадочное место ТВС и производится его осмотр.

Для осмотра всех гнезд, устройство перемещается от одного гнезда к другому. При загруженной зоне установка и роспуск устройства осуществляется на координате гнезда, требующего осмотра.

Существующий на первом блоке Тяньваньской АЭС процесс выполнения операции по осмотру посадочных мест ТВС несовершенен, так как применение для осмотра посадочных мест ТВС отдельного устройства, не имеющего привода перемещения, создаёт дополнительный объем работ, которые должен выполнить полярный кран во время ППР.

В современных проектах перегрузочных машин для строящихся энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР операция по осмотру посадочных мест под установку ТВС осуществляется той же телекамерой, которая обеспечивает наблюдение за работой захвата ТВС, извлечением перегружаемых изделий, контролем маркировки ТВС и ПС СУЗ, и которая установлена на телевизионной штанге.

Существующая конструкция телевизионной штанги машины перегрузочной МПС-В-428 не обеспечивает выполнение операции по осмотру посадочных мест ТВС, так как в состоянии, когда телескопическая штанга максимально распушена телекамера

опускается до уровня головок ТВС, при этом расстояние до посадочных мест ТВС остается более 5 м.

Таким образом, создав для машины перегрузочной МПС-В-428 телевизионную штангу, с помощью которой можно будет осматривать посадочные места ТВС, и, отказавшись от использования устройства для осмотра посадочных мест, будет уменьшена загруженность полярного крана в период ППР, и срок простоя энергоблока будет сокращен, тем самым будет получена экономическая выгода.

Цель работы: разработать модернизированную конструкцию телевизионной штанги для машины перегрузочной МПС-В-428, способную обеспечивать выполнение операции по осмотру посадочных мест ТВС в реакторе.

Постановка задачи на проектирование и исходные данные

Технические условия на машину перегрузочную МПС-В-428 предъявляют следующие требования к телевизионной штанге:

- телевизионная штанга должна относиться ко II классу безопасности по НП-001-15, к категории сейсмостойкости I по НП-031-01;
- части телевизионной штанги, работающие в водной среде должны быть изготовлены из стали коррозионностойких марок. Материал должен быть проверен на стойкость к межкристаллитной коррозии;
- телевизионная штанга должна обеспечивать вертикальное перемещение телекамеры массой 56 кг;
- телевизионная штанга должна обеспечивать размещение телекамеры и кабеля СТС.
- максимальная скорость перемещения телекамеры 5,2 м/мин;
- минимальная скорость перемещения телекамеры 0,3 м/мин.

В рамках модернизации целесообразно увеличить максимальную скорость перемещения телевизионной штанги до значения максимальной скорости перемещения рабочей штанги, которая составляет 12,5 м/мин, таким образом, станет возможным эксплуатация рабочей штанги со скоростью перемещения, превышающей 5,2 м/мин.

Масса телевизионной штанги МПС-В-428 составляет 1200 кг. Масса модернизированной телевизионной штанги не должна превышать это значение.

Исходные данные на разработку модернизированной конструкции телевизионной штанги представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные [Input data]

Техническая характеристика	Значение
Минимальная скорость перемещения телекамеры, м/мин	0,3
Максимальная скорость перемещения телекамеры, м/мин	12,5
Масса, кг	≤ 1200
Уровень пола транспортного коридора, м	+ 25,8
Уровень пола центрального зала реакторного отделения, м	+ 34,1
Уровень посадочного гнезда ТВС, м	+15,0
Масса телекамеры, кг	56

Для достижения цели работы нужно решить ряд задач:

- разработать конструкцию штанги телескопической, обеспечивающую расстояние от торца посадочного места ТВС до объектива телекамеры 300 ± 100 мм;
- разработать конструкцию привода подъема телекамеры обеспечивающий требуемые характеристики по грузоподъемности и скорости перемещения.

Результаты проектирования

Для увеличения рабочего хода штанги длина её секций увеличена, при этом для обеспечения технологичности предусмотрено изготовление секций из частей, соединяемыми между собой фланцевыми соединениями.

В процессе разработки конструкции модернизированной телевизионной штанги в среде автоматизированного проектирования была разработана её трехмерная модель, которая показана на рисунке 1.

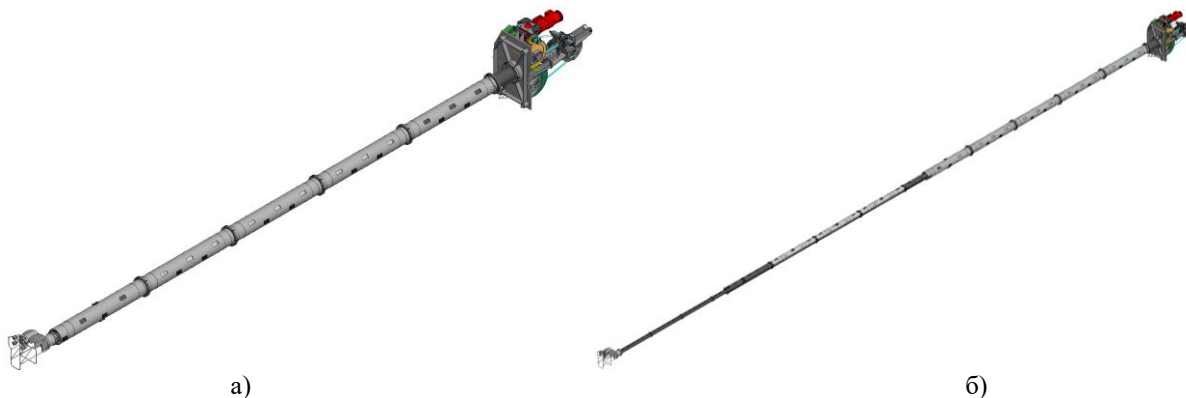


Рисунок 1 – Трехмерная модель модернизированной телевизионной штанги: а) штанга в собранном состоянии; б) штанга в распушенном состоянии [Three-dimensional model of an upgraded TV mast: a) mast in assembled condition; b) mast in unfolded condition]

Штанга рассчитана на нагрузки: нормальные условия эксплуатации (НУЭ) – статическая нагрузка – собственный вес штанги плюс полезная нагрузка (в качестве полезной нагрузки принята масса телекамеры 56 кг); максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) и проектное землетрясение (ПЗ) – сейсмическая нагрузка.

Расчет напряжений в опасных сечениях штанги от нагрузок при НУЭ проводится по известным формулам сопротивления материалов [4]. Для получения усилий и моментов, возникающих в секциях штанги при сейсмическом воздействии, был использован метод конечных элементов, реализованный в программе ANSYS. Конечно-элементная модель представлена на рисунке 2. Она построена на основе трехмерных моделей, сделанных по чертежам из комплекта рабочей конструкторской документации на машину перегрузочную МПС-В-428. Выбор и оптимизация параметров конечно-элементной модели, в том числе достаточность густоты конечно-элементной сетки выполнялся по результатам предварительных расчетов. Сетка генерировалась автоматически, и затем определялись оптимальные размеры сетки путем кратного увеличения количества конечных элементов. Конечным вариантом разбиения была выбрана модель, увеличение числа элементов которой дало изменение результатов вычислений не более чем на 3 %.

Колеса моста и тележки заданы балочными элементами условно большой жесткости (передатчиками сил).

Масса металлоконструкции моста, тележки, штанги рабочей и телевизионной, блока механизмов задана распределенной и описана приведенной плотностью металла, в которой учитываются распределенные по металлоконструкции элементы (токоподводы, зубчатые рейки, наплавленный металл, крепежные изделия). Массы приводов описываются сосредоточенными массовыми элементами.

Граничные условия при расчете на сейсмические воздействия:

- запрещение перемещений по Y узлов опирания всех колес моста о рельсовый путь;

- запрещение перемещений по X узлов опирания направляющих роликов моста о рельсовый путь;
- запрещение перемещений по Z узлов опирания фиксаторов антисейсмических;
- возле каждого колеса тележки и моста расположен антисейсмический зацеп препятствующий отрыву колеса от рельса, описание граничных условий на зацепы отдельно не задано.

Для определения действующих усилий в конструкции при МРЗ и ПЗ используется линейно-спектральный метод. Расчет собственных частот выполнен в программе ANSYS. Расчет напряженно деформированного состояния при сейсмическом воздействии проведен по спектрам ответа. Учитывая, что все точки возбуждения находятся на отметке 34,1 м, для расчета использовался метод однофакторного спектрального анализа. Сейсмические воздействия взяты в соответствии с данными, приведенными в технических условиях на машину перегрузочную, и представлены в виде спектров ответа.

Так как принятые для расчёта спектры ответа ПЗ и МРЗ различаются только амплитудами, оценка напряжённого состояния конструкции машины для режима НУЭ+ПЗ не рассматривается ([5], п. 5.11.2.7).

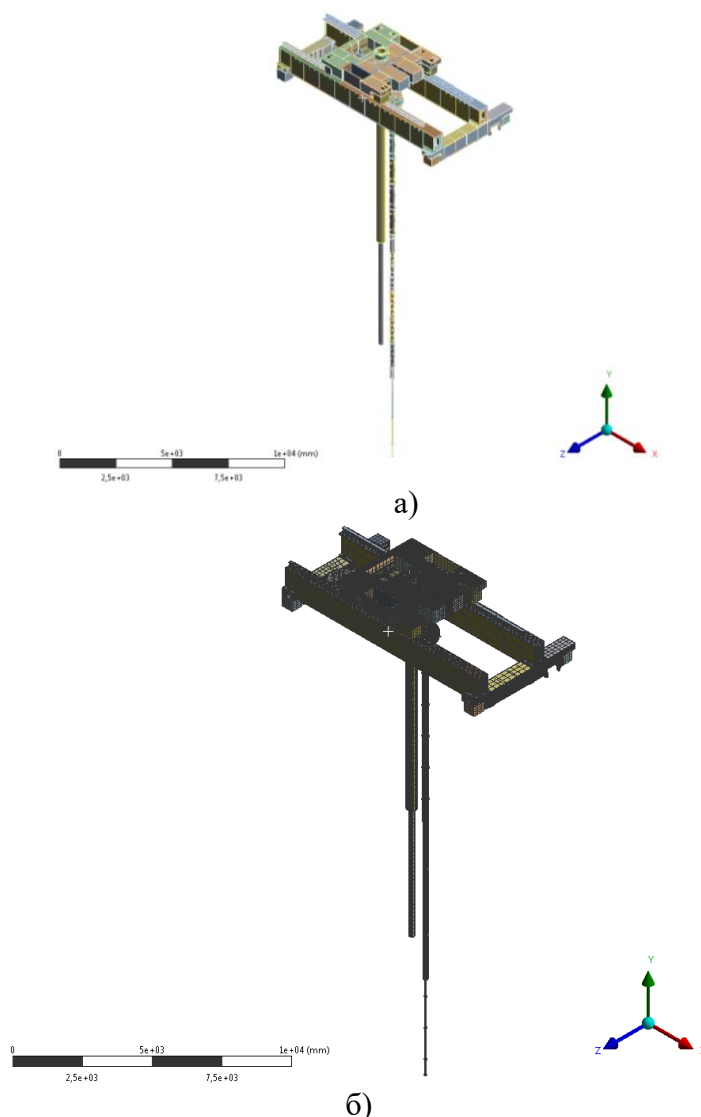


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель машины МПС-В-428 с модернизированной телевизионной штангой: а) сетка конечных элементов не показана; б) показана сетка конечных элементов [Finite element model of MPS-V-428 with upgraded TV mast: a) finite element mesh is not shown; b) finite element mesh is shown]

Для расчета болтовых соединений секций были найдены внутренние силовые факторы, возникающих в секциях штанги при нормальной эксплуатации и при сейсмическом воздействии.

На рисунке 3 показана эпюра распределения растягивающего усилия по оси штанги при НУЭ.

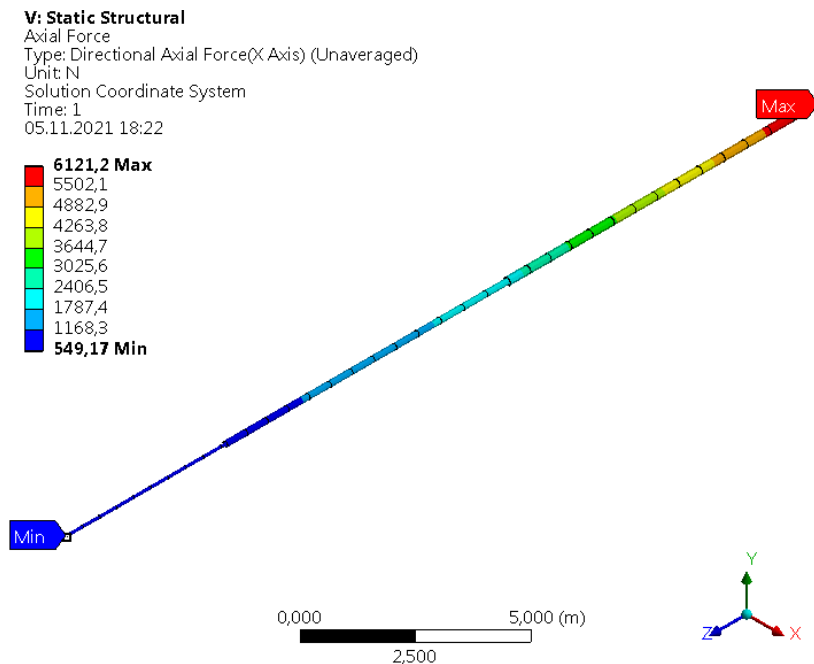


Рисунок 3 – Эпюра распределения растягивающего усилия по оси штанги при НУЭ [Tensile force distribution diagram along the mast axis under normal operating conditions]

На рисунке 4 показана эпюра распределения нормальных напряжений в штанге при НУЭ.

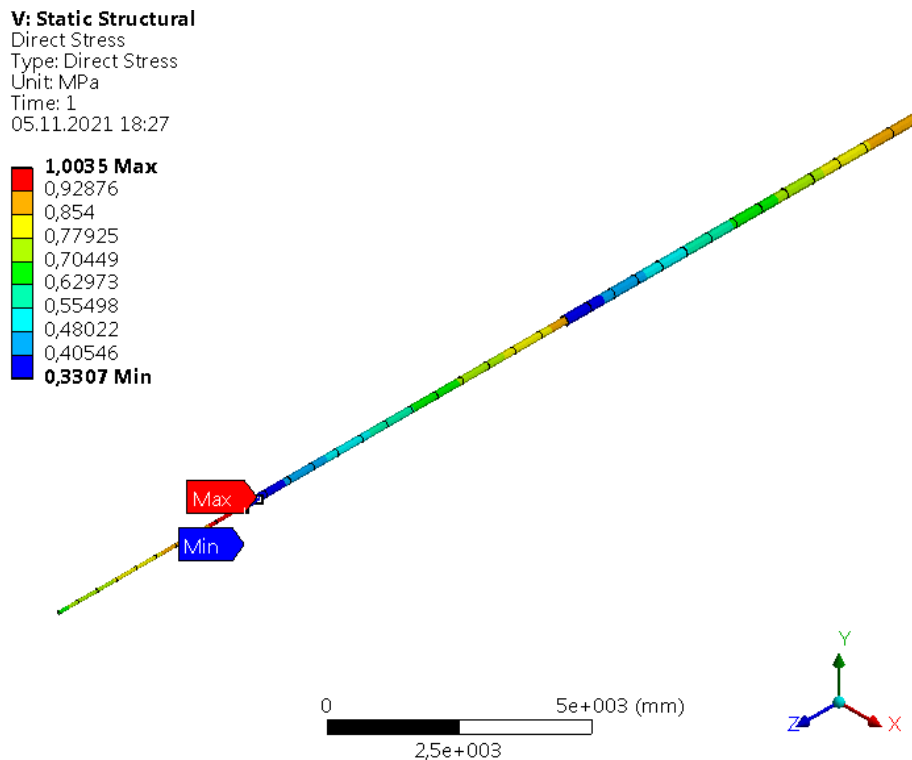


Рисунок 4 – Эпюра распределения растягивающего усилия по оси штанги при НУЭ [Tensile force distribution diagram along the boom axis under normal operating conditions]

На рисунке 5 показана эпюра распределения суммарных по осям абсцисс и ординат изгибающих моментов в режиме НУЭ + МРЗ.

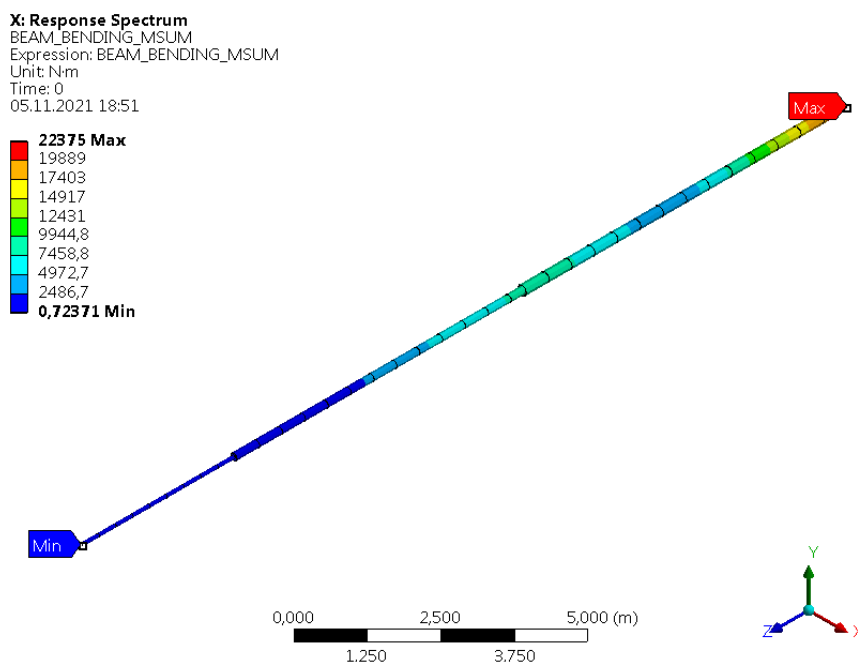


Рисунок 5 – Эпюра распределения изгибающих моментов в штанге при НУЭ + МРЗ [Bending moment distribution diagram in the boom under normal operating conditions + maximum design earthquake]

Для модернизированной телевизионной штанги разработана новая конструкция привода подъема телекамеры, в которой реализован принцип резервирования. Расчеты узлов привода были проведены в соответствии с методиками, изложенными в справочной литературе [6-9]. В приводе использован цилиндро-червячный мотор-редуктор фирмы Seweurodrive, в конструкции которого есть встроенное тормозное устройство и энкодер. Кроме того, на выходном валу мотор-редуктора дополнительно установлены два энкодера. Информация о положении секций телевизионной штанги от энкодеров передается в систему управления машиной перегрузочной.

Для информирования СУМП о достижении крайнего верхнего положения штанги использованы три концевых выключателя, на которые воздействует верхний фланец средней секции штанги через нажиматель. В качестве сигнала о достижении крайнего нижнего положения штанги используется усилие натяжения канатов, которое измеряется тензодатчиками, установленными в осях канатных блоков.

Внутренняя секция штанги с установленной на ней телекамерой перемещается двумя канатами, наматываемыми на два канатных барабана. Каждый из канатов имеет грузоподъемность, достаточную для завершения выполняемой штангой операции в случае обрыва другого каната.

Телевизионная штанга имеет два тормозных устройства. Одно из них встроено в цилиндро-червячный мотор-редуктор привода подъема телекамеры. Другое – установлено на валу канатных барабанов. Тормозные устройства обеспечивают неподвижность секций штанги в случае потери электропитания.

Из конструкции штанги исключена каретка. Вместо неё используется пружинный кабельный барабан, которым обеспечивается автоматическая подмотка ТВ-кабеля при подъеме телекамеры.

Кинематическая схема разработанного привода подъема телекамеры представлена на рисунке 6. Схема запасовки каната показана на рисунке 7.

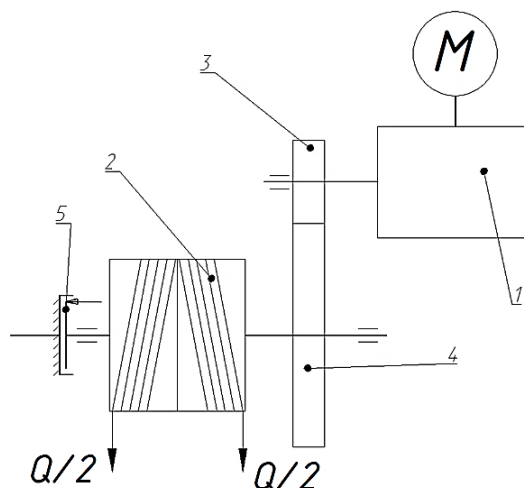


Рисунок 6 – Кинематическая схема привода подъема телекамеры модернизированной ТВШ: 1 – цилиндро-червячный мотор-редуктор; 2 – барабан; 3 – шестерня; 4 – зубчатое колесо; 5 – тормозное устройство [Kinematic diagram of the lift drive for an upgraded TVSH: 1 - helical-worm gearmotor; 2 - drum; 3 - gear; 4 - gear wheel; 5 - braking device]

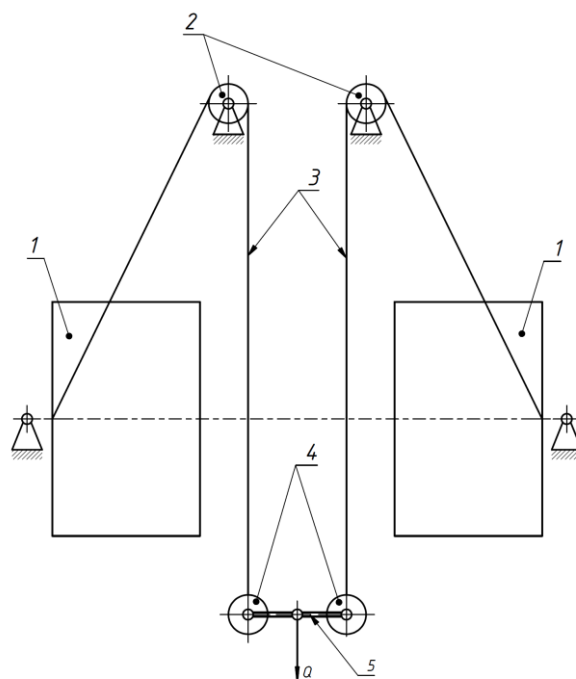


Рисунок 7 – Схема запасовки каната привода подъема телекамеры: 1 – барабан; 2 – блок; 3 – канат; 4 – коуш; 5 – балансир [The wire rope of the mast lifting drive: 1 - drum; 2 - block; 3 - rope; 4 - shackle; 5 - balancer]

Для оценки экономической эффективности модернизации была проведен расчет стоимости разработки и изготовления модернизированной телевизионной штанги по методике, изложенной в справочнике [10]. Для оценки прибыли от сокращения сроков планово-предупредительных ремонтов при эксплуатации модернизированной штанги были использованы данные о продолжительности транспортно-технологических операций на энергоблоке АЭС с ВВЭР-1000 во время ППР. Надежность штанги была оценена путем сравнения показателей надежности, рассчитанных по методикам из справочников [11-13] с требуемыми, в соответствии с конструкторской документацией на машину перегрузочную, показателями.

Заключение

В результате работы была разработана модернизированная конструкция телевизионной штанги, соответствующая требованиям проектно-конструкторской

документации к составным частям машины перегрузочной МПС-В-428. Характеристики штанги обеспечивают возможность выполнения операции по осмотру посадочных мест ТВС. При эксплуатации модернизированной штанги срок планово-предупредительного ремонта может быть сокращен на 9 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Проданчук, А.В.* Особенности системы управления процессом подъема с помощью АГЗУ упавших расположенных вертикально кассет в реакторе типа ВВЭР / А.В. Проданчук, П.Д. Кравченко // Современные материалы, техника и технологии. – 2017. – № 1(9). – С. 168-173.
2. *Лапкис, А.А.* Виброакустическая паспортизация режимов работы машин перегрузочных энергоблоков ВВЭР / А.А. Лапкис, В.Н. Никифоров, Л.А. Первушин // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 2(27). – С. 82-90.
3. *Якубенко, И.А.* Модернизация системы управления перегрузкой ядерного топлива на энергоблоке №1 Ростовской АЭС / И.А. Якубенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 4(9). – С. 35-39.
4. *Писаренко, Г.С.* Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко. – Киев : Наукова думка 1988. – 736 с.
5. ПНАЭ Г-7-002-86 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок // Госатомэнергонадзор. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 525 с.
6. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / Справочник по кранам: в 2 т. Т. 1 // В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; под общ. ред. М.М. Гохберга. – Москва : Машиностроение, 1988, – 536 с.
7. *Решетов, Д.Н.* Детали машин / Д. Н. Решетов. – Москва : Машиностроение, 1989. – 496 с.
8. *Дунаев, П.Ф.* Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – Москва : Академия, 2004. – 496 с.
9. НП-043-18 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов [Электронный ресурс] // Информационные материалы ФБУ «НТЦ ЯРБ». – URL : <https://docs.secnrs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-043-18/%D0%9D%D0%9F-043-18.pdf/> (дата обращения: 03.01.2022).
10. *Лякишев, А.Г.* Техническая подготовка производства изделия / А.Г. Лякишев. – Орел, 2006. – 70 с.
11. *Шишмарёв, В.Ю.* Надежность технических систем / В. Ю. Шишмарёв. – Москва : Юрайт, 2018. – 290 с.
12. РТМ 95 823-81 Надежность оборудования реакторных установок АЭС. Методика расчета [Электронный ресурс] // twirpx.com. – Электронная библиотека. – URL : <https://www.twirpx.org/file/2252679/> (дата обращения: 02.12.2021).
13. Надежность машин. Т. IV-3 / Раздел IV. Расчет и конструирование машин / Машиностроение. Энциклопедия в сорока томах / В.В. Клюев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин [и др.]; под общ. ред. В.В. Клюева. – Москва : Машиностроение, 2003. – 592 с.

REFERENCES

- [1] Prodanchuk A.V. Kravchenko P.D. Osobennosti sistemy upravleniya processom pod"ema s pomoshch'yu AGZU upavshih raspolozhennyh vertikal'no kasset v reaktore tipa VVER [Features of the Control System for the Lifting Process of Vertically Fallen Fuel Assemblies in a WWER-Type Reactor Using AGZU]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii* [Modern Materials, Equipment and Technologies.]. 2017. № 1(9). P. 168-173 (in Russian).
- [2] Lapkis A.A., Nikiforov V.N. Vibroakusticheskaya pasportizatsiya rezhimov raboty mashin peregruzochnykh energoblokov VVER [Vibroacoustic Certification of Operating Modes of Machines for Reloading Power Units of WWER]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2018. № 2(27). P. 82-90 (in Russian).
- [3] Yakubenko I.A. Modernizatsiya sistemy upravleniya peregruzkoy yadernogo topliva na energobloke №1 Rostovskoy AES [Modernization of the Nuclear Fuel Reloading Control System at Power Unit No. 1 of the Rostov NPP]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2013. № 4(9). P. 35-39 (in Russian).
- [4] Pisarenko G.S. Spravochnik po soprotivleniyu materialov [Handbook on the Strength of Materials]. Kiev: Naukova Dumka 1988. 736 p. (in Russian).
- [5] PNAE G-7-002-86 Normy rascheta na prochnost' oborudovaniya i truboprovodov atomnyh energeticheskikh ustanovok k po soprotivleniyu materialov [PNAE G-7-002-86 Strength Calculation

- Standards for Equipment and Pipelines of Nuclear Power Units]. Gosatomenergondzor. – Moskva: Energoatomizdat [Moscow: Energoatomizdat], 1989. – 525 p. (in Russian).
- [6] Karakteristiki materialov i nagruzok. Osnovy rascheta kranov, ih privodov i metallicheskih konstrukcij [Characteristics of Materials and Loads. Fundamentals of Calculation of Cranes, their Drives and Metal Structures] / [Spravochnik po kranam: v 2 t. T. 1] Handbook of Cranes: V 2 t, T. 1. Edited by M. M. Gokhberg. Moskva: Mashinostroenie [Moscow: Mechanical Engineering], 1988. 536 p. (in Russian).
- [7] Reshetov D. N. Detali mashin [Machine Parts]. Moskva: Mashinostroenie [Moscow: Mechanical Engineering], 1989. 496 p. (in Russian).
- [8] Dunaev P.F., Lelikov O.P. Konstruirovaniye uzlov i detalej mashin [Design of Components and Parts of Machines]. Moskva: Akademiya [Moscow: Academy], 2004. 496 p. (in Russian).
- [9] NP-043-18 Pravila ustrojstva i bezopasnoj ekspluatatsii gruzopod'emnyh kranov [NP-043-18 Rules of Design and Safe Operation of Cranes]. Informacionnye materialy FBU «NTC YARB» [Information materials of the STC YARB]. URL: <https://docs.secnrs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-043-18/%D0%9D%D0%9F-043-18.pdf/> (reference date:: 03.01.2022) (in Russian).
- [10] Lyakishev A.G. Tekhnicheskaya podgotovka proizvodstva izdeliya [Technical Preparation of Production]. Orel, 2006. 70 p. (in Russian).
- [11] Shishmarev, V.Yu. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem [Reliability of Technical Systems]. Moskva: YUrajt [Moscow: Yurayt Publishing House], 2018. 290 p. (in Russian).
- [12] RTM 95 823-81 Nadezhnost' oborudovaniya reaktornyh ustanovok AES. Metodika rascheta [RTM 95 823-81. Reliability of Equipment of Nuclear Power Plant Reactors. Method of Calculation] URL: <https://www.twirpx.org/file/2252679/> (reference date: 02.12.2021) (in Russian).
- [13] Nadezhnost' mashin. T. IV-3 / Razdel IV. Raschet i konstruirovaniye mashin [Machine Reliability. Vol. IV-3 / Section IV. Calculation and Design of Machines] /Nadezhnost' mashin. T. IV-3 / Razdel IV. Raschet i konstruirovaniye mashin [Mechanical Engineering. Encyclopaedia in 40 volumes] / edited by Klyuev V.V. Moskva: Mashinostroenie [Moscow: Mechanical Engineering], 2003. 592 p. (in Russian).

Modernization of TV-Mast of MPS-V-428 Refueling Machine at the Tianwan NPP First Unit

A.V. Sementsov^{*1}, M.I. Malakhov^{2}, K.A. Duvarov^{**3}**

^{*}JSC «Atommasheksport», Karl Marx Avenue, 44, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

^{**}Rostov nuclear power plant, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

¹ORCID iD: 0000-0002-0445-5665

WoS Researcher ID: AAG-2048-2022

e-mail: sementsov.atomexp@yandex.ru

²ORCID iD: 0000-0003-2663-643X

WoS Researcher ID: AAF-3914-2022

e-mail: mimalakhov@mephi.ru

³ORCID iD: 0000-0002-4491-2752

WoS Researcher ID: AAF-3798-2022

e-mail: kduvarov@gmail.com

Abstract – The article is devoted to the project of the modernized television mast of the refueling machine MPS-V-428 of the Tianwan NPP first unit. The goal of the modernization is to reduce the economic costs at the NPP during the scheduled preventive maintenance due to the imperfection of the existing design of the refueling machine TV-mast due to which the unit downtime is overestimated.

Keywords: WWER, refueling machine, television mast, transport and technological equipment.

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

УДК 621.762 : 621.039

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ОСАДКЕ ОБРАЗЦОВ**

© 2022 В.В. Синельщиков, С.А. Томилин

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

В статье отмечена целесообразность применения порошковых материалов для изготовления ряда изделий, применяемых в атомной энергетике. Учитывая высокие требования к изделиям, эксплуатируемым в атомной отрасли, вопросы изучения свойств материалов, полученных методами порошковой металлургии, и его поведения в различных условиях являются актуальными. Приведены результаты исследований по влиянию температуры на пластические свойства порошкового материала при горячей осадке пористых образцов цилиндрической формы. Установлено, что при температуре перекристаллизации (перехода феррита в аустенит) пластические свойства пористого материала уменьшаются.

Ключевые слова: динамическое горячее прессование, температура нагрева, порошковая заготовка, пора, трещина, температура перекристаллизации, феррит, аустенит, пластичность.

Поступила в редакцию 14.02.2022

После доработки 18.02.2022

Принята к печати 24.02.2022

В зависимости от нагрузок, условий эксплуатации, требований безопасности изделия из порошковых материалов с определёнными свойствами применяются в различных областях атомной энергетике.

Плотные изделия из порошковых материалов с конструкционными свойствами используются в качестве рабочих деталей атомных реакторов некоторых типов АЭС, пористые – для эффективной фильтрации отработанной воды в охлаждающих контурах. Кроме этого, порошковые материалы находят применение для изготовления поглотителей с замедлителями, а также стержней для регулировки и тепловыделяющих элементов.

В работе [1] проведено исследование по применимости порошковой стали для изготовления деталей уплотнения специальной энергетической арматуры, которая является одним из основных элементов, определяющих надёжность эксплуатации тепловых и атомных электростанций. Авторами установлено, что материалы порошковых композиций на основе стали Гадфильда со стеклянной составляющей перспективны для использования в арматуростроении для изготовления деталей тяжело нагруженных уплотнений небольшого размера. Кроме того, в работе представлена технология изготовления сёдел клапанов запорной арматуры методом динамического горячего прессования (ДГП).

Учитывая высокие требования к изделиям, эксплуатируемым в атомной энергетике, остаются актуальными вопросы исследования свойств материалов, полученных методами порошковой металлургии, а также их поведение в различных условиях. Некоторые результаты таких исследований представлены в работах [2-7].

В статье приведены результаты исследований по влиянию температуры на пластические свойства порошкового материала при горячей осадке пористых образцов цилиндрической формы.

Пластическая деформация нагретых порошковых заготовок простой (цилиндрической) формы, применяемых для изготовления методом ДГП или горячей штамповки (ГШ) сложных по конфигурации деталей машиностроения, должна осуществляться без нарушения целостности пористого материала.

Пластичность нагретого пористого материала из железного порошка зависит от многих технологических факторов процесса ДГП: гранулометрического состава, исходной пористости заготовок [7], состава шихты, температур спекания и нагрева перед прессованием.

Пластичность металлической основы образца определяется, главным образом, структурой и химическим составом к моменту её деформирования.

На пластичность связей между бывшими частицами порошка влияют те же факторы и, кроме этого, она зависит от условий формирования этих связей. Скопление легкоплавких соединений (FeS, FeO, NiO, SiO и другие) на границах зёрен этих связей приводит к резкому уменьшению пластичности металла при высоких температурах [8].

Целью настоящего исследования является установление зависимости пластических свойств нагретого пористого материала из металлического железного порошка от температуры нагрева при свободной осадке цилиндрических образцов.

Исследования проводили на спеченных цилиндрических образцах из железного порошка ПЖ4С2 с исходной пористостью $25 \pm 1\%$, спеченных при температуре $t_{cn} = 1100^{\circ}\text{C}$ в течение 20 минут. Химический состав порошкового железа после спекания показал, что содержание углерода колеблется от 0,04 до 0,06 %. Исходная пористость принималась с учётом результатов исследований, представленных в [7].

Осадку образцов проводили с использованием копра, что позволило регулировать удельную работу деформирования W , $\text{кГс}\cdot\text{м}/\text{см}^3$ за счёт высоты подъёма ударника. Это способствовало определению точного состояния бочкообразной поверхности осаживаемого образца. На рисунке 1, *а* приведена фотография цилиндрической поверхности образца до деформации и бочкообразной поверхности (рис. 1, *б*) в момент появления трещин.

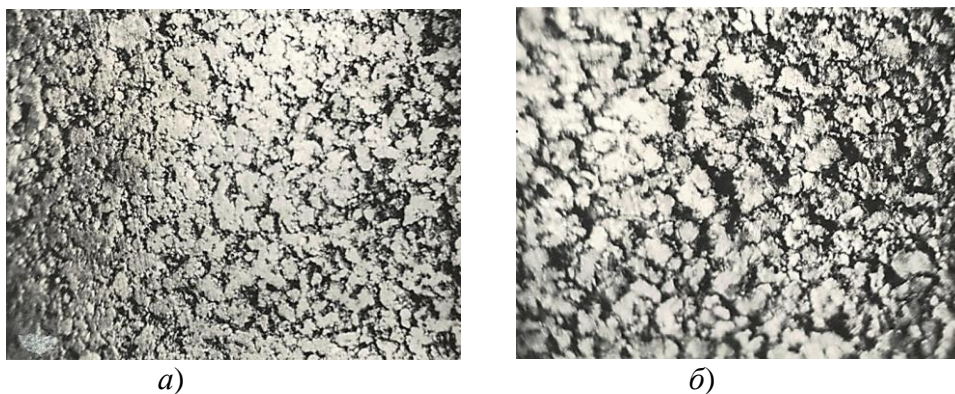


Рисунок 1 – Состояние периферийной поверхности порошкового образца до (а) и после (б) осадки (x30)
[Peripheral surface condition of the powder sample before (a) and after (b) precipitation (x30)]

Фиксирование момента исчерпания пластичности (появление разрывов протяжённостью примерно 3–4 частиц порошка вдоль оси образца) устанавливали визуальным осмотром этой поверхности, а также при увеличении $\times 30$.

Степень деформации образцов определяли через коэффициенты высотной $k_h = h_0 / h$ и поперечной $k_R = d / d_0$ деформаций (где h_0 , d_0 – начальная высота и диаметр порошковой заготовки; h , d – текущие значения этих параметров) [9].

Эти коэффициенты принимали в качестве оценочных параметров пластических свойств нагретого порошкового материала при динамической осадке образцов в момент появления первых трещин: $(k_h)_{mp} = h_0 / h_{mp}$;

$$(k_R)_{mp} = d_{mp} / d_0.$$

Установлена зависимость высотной k_h (1, 2) и поперечной k_R (3, 4) деформаций от температуры $t_n^{\circ}\text{C}$ нагрева пористых образцов перед осадкой (рис. 2, а) при различных удельных работах деформации: $W = 5$ (графики 1, 3) и $W = 6$ (графики 2, 4), $\text{кГс}\cdot\text{м}/\text{см}^3$.

В экспериментах потеря температуры нагрева образцов при их переносе из нагревательной печи в приспособление для осадки составила $40 - 50^{\circ}\text{C}$. На рисунках 2, а, б нанесены вторые оси абсцисс, на которых отмечены шкалы температур $t_{oc}^{\circ}\text{C}$, соответствующих условиям осадки образцов.

Анализ графиков 1, 2, 3, 4 (рис. 2, а) показал, что в интервале температур осадки $t_{oc} = 800 - 900^{\circ}\text{C}$ происходит снижение показателей k_h и k_R пластической деформации образцов, что связано с фазовой перекристаллизацией феррита в аустенит. Увеличение доли аустенита [10] является основной причиной снижения показателей, количественно оценивающих деформацию образцов, в связи с тем, что аустенит менее пластичен, чем феррит.

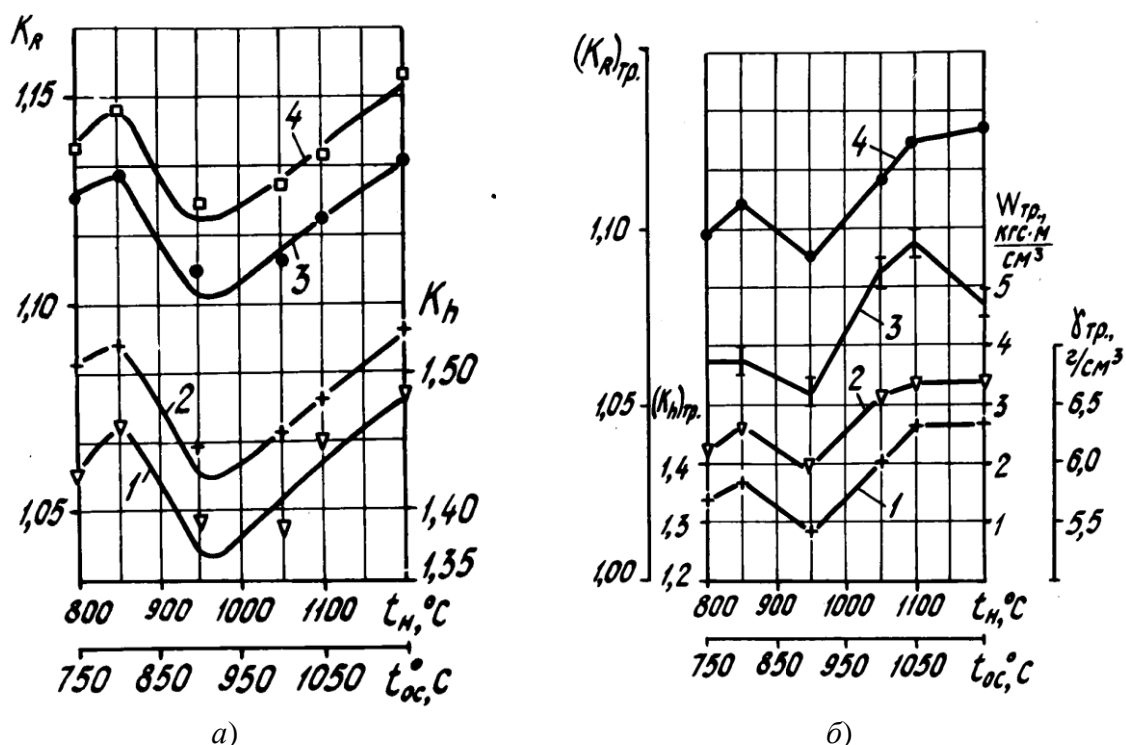


Рисунок 2 – Зависимости высотной k_h (1, 2) и поперечной k_R (3, 4) деформаций (а) и деформаций $(k_h)_{mp}$ (1); $(k_R)_{mp}$ (4) (б) в момент появления первых трещин от температуры $t_n^{\circ}\text{C}$ нагрева образцов перед осадкой [Dependences of height k_h (1, 2) and transverse k_R (3, 4) deformations (a) and deformations $(k_h)_{mp}$ (1); $(k_R)_{mp}$ (4) (b) at the moment of first cracks appearance on temperature $t_n^{\circ}\text{C}$ of heating samples before upsetting]

Возрастание показателей высотной k_h и поперечной k_R деформаций образцов при температурах $t_{oc} > 900^{\circ}\text{C}$ вызвано увеличением пластичности аустенитной фазы [10].

Для каждой из принятых в экспериментах температуре нагрева $t_n^{\circ}\text{C}$ (рис. 2, б) проводили осадку порошковых образцов до момента появления разрывов (первых трещин) на его бочкообразной поверхности (рис. 1, б).

Графики изменения показателей высотной $(k_h)_{mp}$ (1) и поперечной $(k_R)_{mp}$ (4) деформаций образцов (рис. 2, б) имеют аналогичный характер изменению графиков k_h и k_R (рис. 2, а), что в первую очередь связано с неодинаковой пластичностью феррита и аустенита при различных температурах осадки. Меньшая пластичность аустенита

металлического каркаса по сравнению с пластичностью феррита в интервале температур $t_{oc} = 800 - 900^{\circ}\text{C}$ приводит к уменьшению показателей деформации образца в момент появления первых трещин (рис. 2, б), то есть пластичность порошкового материала уменьшалась.

Для каждой температуры нагрева образцов в момент появления первых трещин определяли удельную работу W_{mp} деформации и их плотность γ_{mp} (рис. 2, б, графики 3 и 2 соответственно). Очевидно, меньшая пластичность аустенита при температуре $t_{oc} = 800 - 900^{\circ}\text{C}$ уменьшает значения W_{mp} и γ_{mp} в момент появления первых трещин.

Выводы:

1. Установлено, что, помимо влияния пористой структуры образцов на пластичность материала, она зависит от пластических свойств структурных составляющих металлической основы образца при определённой температуре (феррита, аустенита) в момент его осадки.

2. Оптимальную температуру деформации порошковых заготовок необходимо выбирать с учётом конечных свойств материала, получаемого динамическим горячим прессованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колоколов, Е.И. Применимость порошковой стали типа 110Г13П для изготовления деталей уплотнения энергетической арматуры высоких параметров / Е.И. Колоколов, Р.В. Пирожков, С.А. Томилин // В мире научных открытий. – 2014. – № 8(56). – С. 119-130.
2. Пирожков, Р.В. Получение структуры стали 110Г13 методом электроконтактного уплотнения / Р.В. Пирожков, Т.А. Литвинова, С.А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 4(5). – С. 49-53.
3. Мецлер, А.А. Особенности формирования высокоплотного материала при электроконтактном уплотнении порошковой бронзы / А.А. Мецлер, Ю.Ю. Медведев, С.А. Томилин, Т.А. Литвинова // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 3(8). – С. 37-41.
4. Синельщиков, В.В. Влияние некоторых технологических факторов динамического горячего прессования на структуру и свойства материала сателлитов дифференциала / В.В. Синельщиков, С.А. Томилин // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 2. – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7450.
5. Синельщиков, В.В. Исследование пластических свойств нагретых пористых порошковых материалов при испытаниях на изгиб / В.В. Синельщиков // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2. – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3542.
6. Синельщиков, В.В. Исследование пластических свойств пористых порошковых материалов в нагретом состоянии при испытаниях на растяжение / В.В. Синельщиков // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 1. – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505.
7. Синельщиков, В.В. Исследование пластичности материалов при осадке цилиндрических нагретых порошковых образцов / В.В. Синельщиков // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 2. – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5769.
8. Дзугутов, М.Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М.Я. Дзугутов. – Москва : Metallurgy, 1977. – 480 с.
9. Охрименко, Я.М. Теория процессовковки / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин. – Москва : Высшая школа, 1977. – 295 с.
10. Горелик, С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С.С. Горелик. – Москва : Metallurgy, 1967. – 403 с.

REFERENCES

- [1] Kolokolov E.I., Pirozhkov R.V., Tomilin S.A. Primenimost' poroshkovej stali tipa 110G13P dlya izgotovleniya detalej uplotneniya energeticheskoy armatury vysokih parametrov [Applicability of Powder Steel of 110G13P Type for Manufacturing of Details of Power Armature Sealing of High Parameters] // V mire nauchnyh otkrytij [In a World of Scientific Discovery]. 2014. № 8 (56). P. 119-130 (in Russian).
- [2] Pirozhkov R.V., Litvinova T.A., Tomilin S.A. Poluchenie struktury stali 110G13 metodom elektrokontaktного uplotneniya [Structure Formation of Steel 110G13 by Electric Contact Sealing

- Method] // Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2012. № 4 (5). P. 49-53 (in Russian).
- [3] Mecler A.A., Medvedev YU.YU., Tomilin S.A., Litvinova T.A. Osobnosti formirovaniya vysokoplotnogo materiala pri elektrokontaktном uplotnenii poroshkovej bronzy [Features of High-Density Material Formation during Electric Contact Compaction of Powder Bronze] // Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2013. № 3 (8). P. 37-41 (in Russian).
- [4] Sinel'shchikov V.V., Tomilin S.A. Vliyanie nekotorykh tekhnologicheskikh faktorov dinamicheskogo goryachego pressovaniya na strukturu i svojstva materiala satellitov differenciala [Influence of Some Technological Factors of Dynamic Hot Pressing on Structure and Material Properties of Differential Satellites] // Inzhenernyj vestnik Dona [Don Engineering Bulletin]. 2022. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7450 (in Russian).
- [5] Sinel'shchikov V.V. Issledovanie plasticheskikh svojstv nagretyh poristykh poroshkovykh materialov pri ispytaniyah na izgib [Investigation of Plastic Properties of Heated Porous Powder Materials in Bending Tests] // Inzhenernyj vestnik Dona [Don Engineering Bulletin]. 2016. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3542 (in Russian).
- [6] Sinel'shchikov V.V. Issledovanie plasticheskikh svojstv poristykh poroshkovykh materialov v nagreтом sostoyanii pri ispytaniyah na rastyazhenie [Investigation of Plastic Properties of Porous Powder Materials in Heated State during Tensile Tests] // Inzhenernyj vestnik Dona [Don Engineering Bulletin]. 2016. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505 (in Russian).
- [7] Sinel'shchikov V.V. Issledovanie plastichnosti materialov pri osadke cilindricheskikh nagretykh poroshkovykh obrazcov [Investigation of Plasticity of Materials during Settling of Cylindrical Heated Powder Samples] // Inzhenernyj vestnik Dona [Don Engineering Bulletin]. 2019. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5769 (in Russian).
- [8] Dzugutov M.YA. Plasticheskaya deformaciya vysokolegirovannykh stalej i splavov. [Plastic Deformation of High-Alloyed Steels and Alloys]. Moskva: Metallurgiya [Moscow : Metallurgy], 1977. 480 p. (in Russian).
- [9] Ohrimenko YA.M., Tyurin V.A. Teoriya processov kovki. [Theory of Forging Processes]. Moskva: Vysshaya shkola [Moscow : Higher School], 1977. 295 p. (in Russian).
- [10] Gorelik S.S. Rekrystallizaciya metallov i splavov. [Recrystallisation of Metals and Alloys] Moskva : Metallurgiya [Moscow : Metallurgy], 1967. 403 p. (in Russian).

Temperature Influence on Plastic Properties of Porous Material during Sample Settling

V.V. Sinelshchikov¹, S.A. Tomilin²

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

¹*e-mail: VVSinelshchikov@mephi.ru*

²*ORCID iD: 0000-0001-8661-8386*

Wos Researher ID: G-3465-2017

e-mail: SATomilin@mephi.ru

Abstract – The article considers the feasibility of using powder materials for the manufacture of a number of products used in the nuclear power industry. Taking into account high requirements to the products operated in nuclear industry, the questions of studying the properties of materials obtained by powder metallurgy methods and its behaviour in different conditions are topical. Results of investigations on influence of temperature on plastic properties of powder material during hot upsetting of porous cylindrical samples are given. It is established that at temperature of recrystallization (ferrite to austenite transition) plastic properties of porous material decrease.

Keywords: dynamic hot pressing, heating temperature, powdered billet, pore, crack, recrystallisation temperature, ferrite, austenite, ductility.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039.58

**ОЦЕНКИ РАСХОДА ЧИСТОГО КОНДЕНСАТА ПРИ ВЫВОДЕ РУ
ТИПА ВВЭР-1200 НА МИНИМАЛЬНО КОНТРОЛИРУЕМЫЙ
УРОВЕНЬ МОЩНОСТИ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ АВАРИЙНОЙ
ЗАЩИТЫ**

© 2022 А.И. Аль-Шамайлах, Д.А. Соловьев, А.А. Семенов, Н.В. Щукин,
А.Л. Лобарев, Д.А. Плотников, В.С. Потапов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Приведение в действие аварийной защиты влечет за собой введение в активную зону реактора раствора борной кислоты до стояночного значения, далее производится поднятие органов регулирования, после чего возможно получение разрешения на пуск реактора. Первым этапом выхода на минимально контролируемый уровень мощности является подпитка чистым конденсатом (ЧК) до пускового интервала с большой скоростью введения, вторым – перемешивание 1-го контура и затем введение ЧК, но уже с малой скоростью. При этом в техническом регламенте безопасной эксплуатации указано, что расход ЧК в пусковом диапазоне должен не более чем на 10 т/ч превосходить расхода ЧК на компенсацию ксенонового отравления, а скорость ввода положительной реактивности не должна превышать $0,02 \beta_{эфф}/\text{мин}$. При этом не совсем ясно как оценить расход ЧК в пусковом интервале, поскольку на энергоблоке нет оборудования, измеряющего величину ксенонового отравления и скорость ввода реактивности. В этой статье ответим на вопрос какой допустимый расход ЧК может использовать оператор в пусковом интервале при наличии ксеноновых процессов.

Ключевые слова: ВВЭР-1200, МКУ, аварийная защита, чистый конденсат, технологический регламент безопасной эксплуатации.

Поступила в редакцию 12.01.2022

После доработки 01.03.2022

Принята к печати 11.03.2022

Введение

В практике эксплуатации АЭС с ВВЭР-1200 возможны ситуации выхода на минимально контролируемый уровень мощности (МКУ) сразу после срабатывания аварийной защиты (АЗ).

После срабатывания АЗ незамедлительно осуществляется введение в 1-й контур борной кислоты, для достижения её стояночного значения.

Стояночная концентрация борной кислоты в теплоносителе 1-го контура – это концентрация, превышающая на 1 г/кг концентрацию, обеспечивающую на текущий момент топливной кампании подкритичность реактора не менее 2% (при всех извлеченных поглощающих стержнях) для различных состояний реактора, в том числе холодные состояния.

Далее группы органов регулирования (ОР) СУЗ поднимаются, и получают разрешение на пуск. Процедура подготовки к пуску после АЗ представлена на рисунке 1.

При срабатывании АЗ реактор переходит в подкритическое состояние, начинается рост концентрации ^{135}Xe , то есть отравление ксеноном в результате сброса мощности

реактора, что приводит к вводу в активную зону большой отрицательной реактивности [1-7].

Специалисты отдела ядерной безопасности и надёжности проводят расчет критического значения концентрации борной кислоты в реакторе с использованием таких программ как БИПР-7А, имитатор реактора (ИР) [8-20].

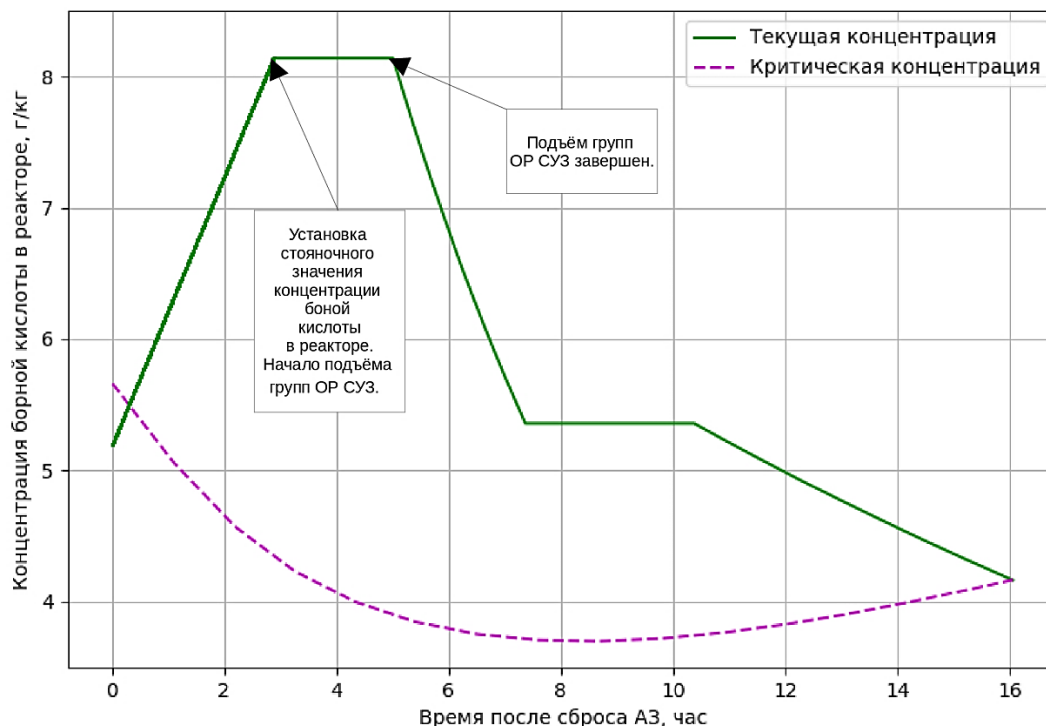


Рисунок 1 – Процедура подготовки к пуску после АЗ [Procedure for preparing for start-up after emergency protection]

Выделим ключевые моменты из документа «Технологический регламент безопасной эксплуатации» (ТРБЭ) АЭС. В нем указан общий порядок выполнения операций, связанных с безопасностью, при переводе реакторной установки (РУ) в состояние «Выход на МКУ мощности»:

- допустимая величина расхода чистого конденсата (ЧК) определяется исходя из свойств текущей топливной загрузки. Скорость ввода ЧК в пусковом диапазоне должна обеспечивать скорость ввода положительной реактивности не более $0,02 \beta_{эфф}/мин$;
- расход чистого конденсата в пусковом интервале должен быть не более 10 т/час выше необходимого для компенсации отравления ксеноном при пусках из отравленного состояния.

Данные формулировки ТРБЭ АЭС затруднительны для понимания. Поэтому возникают вопросы, например, как при вводе ЧК перевести скорость ввода положительной реактивности из величины $0,02 \beta_{эфф}/мин$ в величину расхода т/час, как оценить расход ЧК на компенсацию ксенонового отравления? Так как информация о скорости ввода положительной реактивности и о величине расхода на компенсацию отравления ксеноном на блочный пульт управления не выводится, а требования ТРБЭ требуют разъяснений, то постараемся ответить на эти вопросы в данной статье.

Оценки расхода ЧК в пусковом интервале

Пусковой интервал – это интервал, у которого нижняя граница равна критическому значению борной кислоты в реакторе, а верхняя равна критическому значению борной кислоты в реакторе плюс (1,1-1,3) г/кг. В пусковом интервале разрешается выход на МКУ с малой скоростью подпитки ЧК.

В статье приведены алгоритмы для оценки максимального и допустимого расхода ЧК в пусковом интервале [21]. Кратко рассмотрим полученные в этих алгоритмах формулы, а затем, используя их, получим результаты оценок расхода ЧК в пусковом интервале.

В ТРБЭ АЭС указано, что при переводе реакторной установки из «Горячего состояния» в состояние «Выход на МКУ мощности» скорость ввода ЧК в пусковом интервале должна обеспечивать скорость ввода положительной реактивности не более 0,02 βэф/мин.

Переведём такую оценку скорости (неравенство (1)) из βэф/мин в величину расхода ЧК, т/ч:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \leq V_{\max}, \quad (1)$$

где V_{\max} – максимальная скорость ввода положительной реактивности, равная 0,02 βэф/мин;

$\frac{\partial \rho}{\partial t}$ – скорость ввода положительной реактивности.

Проведя необходимые преобразования, получим неравенство (2):

$$-\frac{\partial \rho(Cb)}{\partial Cb} \frac{G}{M} Cb_0 \exp\left(-\frac{G}{M}t\right) \leq V_{\max} - \frac{\partial \rho_{Xe}(t)}{\partial t}. \quad (2)$$

где $\frac{\partial \rho(Cb)}{\partial Cb}$ – чувствительности реактивности при различных значениях концентрации борной кислоты в 1-ом контуре;

M – масса теплоносителя 1-го контура;

G – массовый расход подпитки/продувки;

Cb – текущая концентрация борной кислоты в 1-м контуре;

Cb_0 – концентрация борной кислоты в 1-м контуре на начало процесса подпитки/продувки;

$\frac{\partial \rho_{Xe}(t)}{\partial t}$ – изменение реактивности во времени за счет изменения концентрации ядер ксенона.

Получившееся неравенство (2) затруднительно решить аналитически, но оно легко решается численно. Численно решим его, перебирая расходы ЧК с необходимой нам точностью и получая оценку максимального расхода ЧК в пусковом интервале.

Как указано в ТРБЭ АЭС, расход ЧК в пусковом интервале должен быть не более 10 т/ч свыше требуемого для компенсации отравления ксеноном в условиях пусков из отравленного состояния.

Проведём оценки величины расхода ЧК с учетом ксенонового отравления.

Расход ЧК в пусковом интервале, необходимый для компенсации отравления ксеноном при пусках из отравленного состояния, рассчитывается по формуле (3):

$$G = - \frac{M}{Cb(t)} \frac{\partial Cb_{\text{крит}}(t)}{\partial t} \quad (3)$$

где $\frac{\partial Cb_{\text{крит}}(t)}{\partial t}$ – скорость изменения критической концентрации борной кислоты на компенсацию ксенонового отравления.

Согласно требованиям ТРБЭ АЭС расход ЧК ($G_{\text{допустимый}}$), который может использовать оператор на АЭС в пусковом интервале, должен быть не более чем на 10 т/ч свыше необходимого для компенсации отравления ксеноном при пусках из отравленного состояния. То есть для получения значения допустимого расхода ($G_{\text{допустимый}}$) добавим к получившемуся значению необходимого расхода для компенсации ксенона (G) 10 т/ч как в формуле (4):

$$G_{\text{допустимый}} = G + 10. \quad (4)$$

Представим здесь результаты оценки максимального и допустимого расхода ЧК при выводе РУ типа ВВЭР-1200 на МКУ мощности после срабатывания АЗ. Результаты представлены на рисунках 2-13 и приведены для начала и конца топливных кампаний №1 и №4 Нововоронежской АЭС (НВАЭС) и получены на основе формул 1-4. Сами результаты получены с использованием Класса анализаторов режимов реакторной установки (КАРРУ) энергоблоков № 1, 2 НВАЭС-2. КАРРУ используется в учебно-тренажерном пункте НВАЭС для обучения как российских, так и иностранных специалистов, готовящихся к эксплуатации строящихся в России и за рубежом АЭС по российским проектам.

КАРРУ разработан на базе программного комплекса ПРОСТОР [22, 23]. Программный комплекс ПРОСТОР предназначен для проведения взаимосогласованных нейтронно-физических и тепло-гидродинамических расчетов стационарных и нестационарных процессов в оборудовании 1-го контура действующих АЭС с реактором ВВЭР-1000, включая активную зону и парогенераторы со стороны 2-го контура с учетом влияния на них характеристик вспомогательного оборудования 1-го контура и работы систем управления и защиты.

Результаты были получены в предположении, что ввод концентрированной борной кислоты до стояночного значения после срабатывания АЗ осуществляется за 2,5 часа, затем за 2,5 часа со штатной скоростью поднимают ОР СУЗ, и сразу получают разрешение на пуск (рисунки 2-5). Подпитка ЧК до пускового интервала идет с расходом в 40 т/ч, а процесс перемешивания 1-го контура занимает 3 часа. Далее идет подпитка ЧК с расходом в 10 т/ч.

Представленные на рисунках 6-13 результаты позволяют сделать вывод, о том, что величина расхода ЧК в 10 т/ч, используемая в пусковом интервале при разотравленной по ксенону активной зоне, также может быть безопасно использована и при отравленной по ксенону активной зоне.

Ситуация с наименьшими запасами до предельных значений наблюдается для начала топливной кампании №4. При этом требования ТРБЭ АЭС выполняются.

Полученные результаты позволяют подтвердить безопасность требований ТРБЭ АЭС по расходу ЧК в пусковом интервале при выводе энергоблока с РУ типа ВВЭР-1200 на МКУ мощности после срабатывания АЗ.

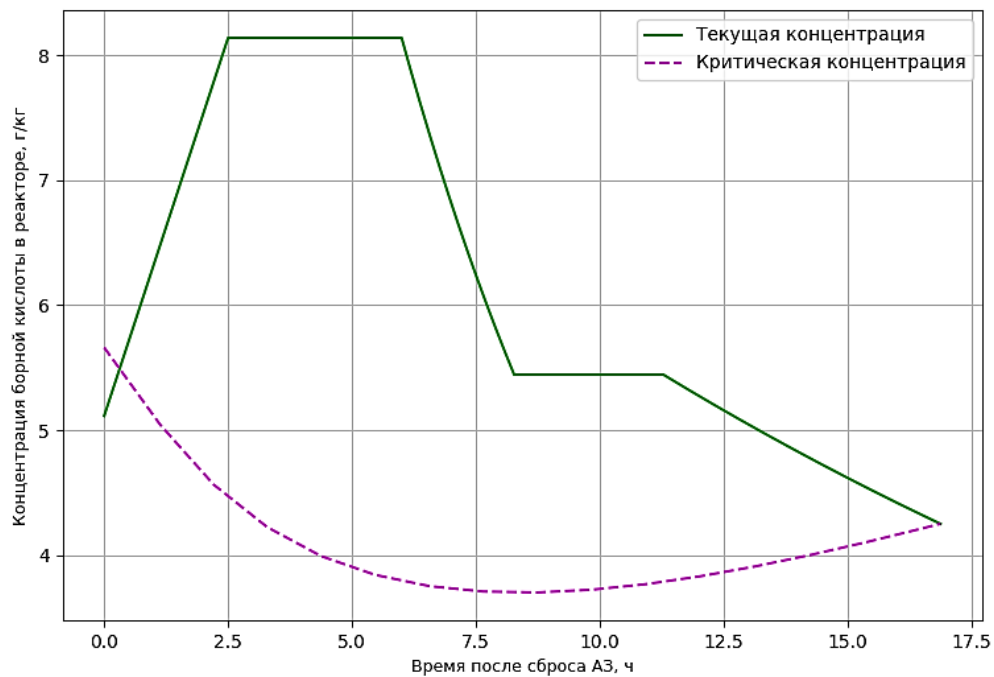


Рисунок 2 – Концентрация борной кислоты в реакторе при выходе на МКУ для начала 1-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Concentration of boric acid in the reactor upon reaching the controlled power level for the start of the 1st fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

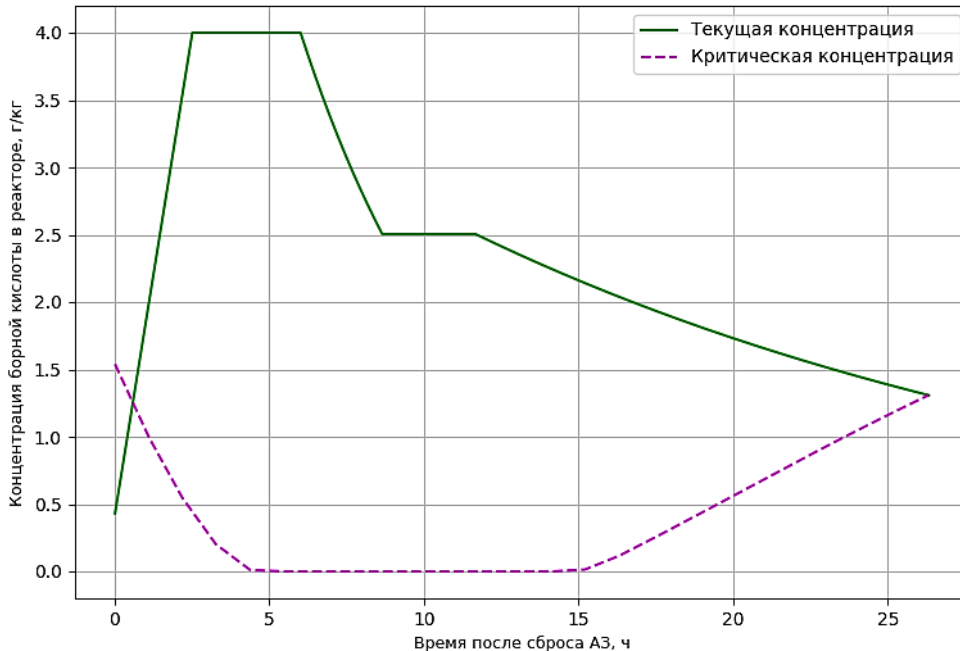


Рисунок 3 – Концентрация борной кислоты в реакторе при выходе на МКУ для конца 1-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Concentration of boric acid in the reactor upon reaching the controlled power level for the finish of the 1st fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

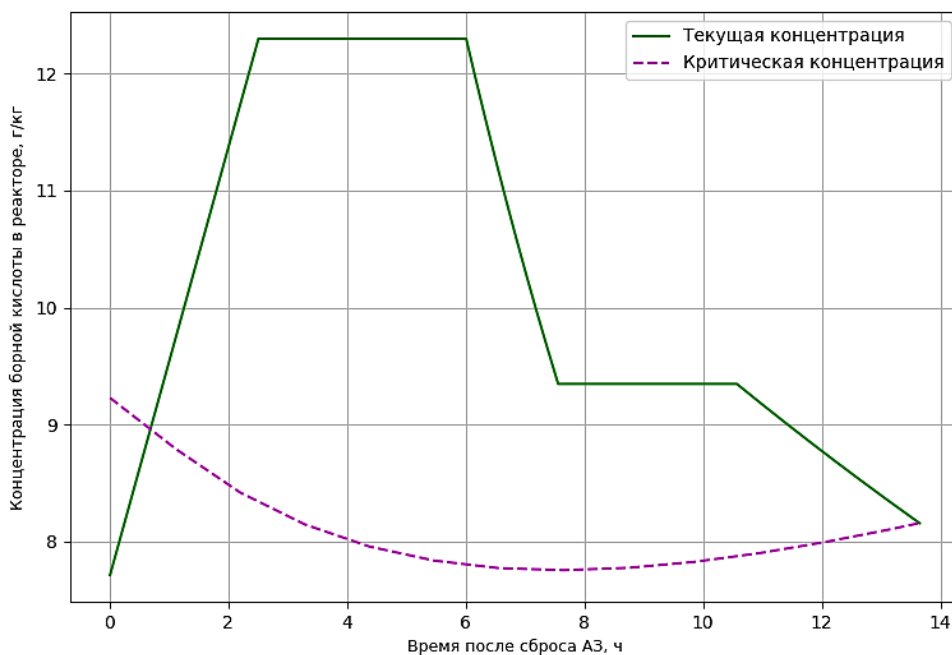


Рисунок 4 – Концентрация борной кислоты в реакторе при выходе на МКУ для начала 4-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Concentration of boric acid in the reactor upon reaching the controlled power level for the start of the 4th fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

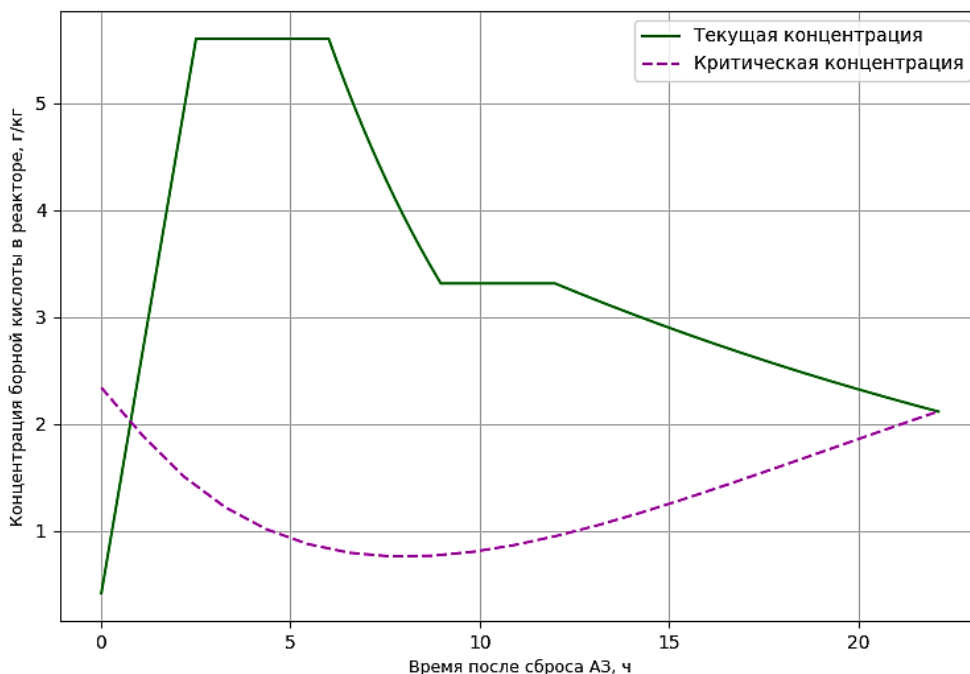


Рисунок 5 – Концентрация борной кислоты в реакторе при выходе на МКУ для конца 4-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Concentration of boric acid in the reactor upon reaching the controlled power level for the finish of the 4th fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

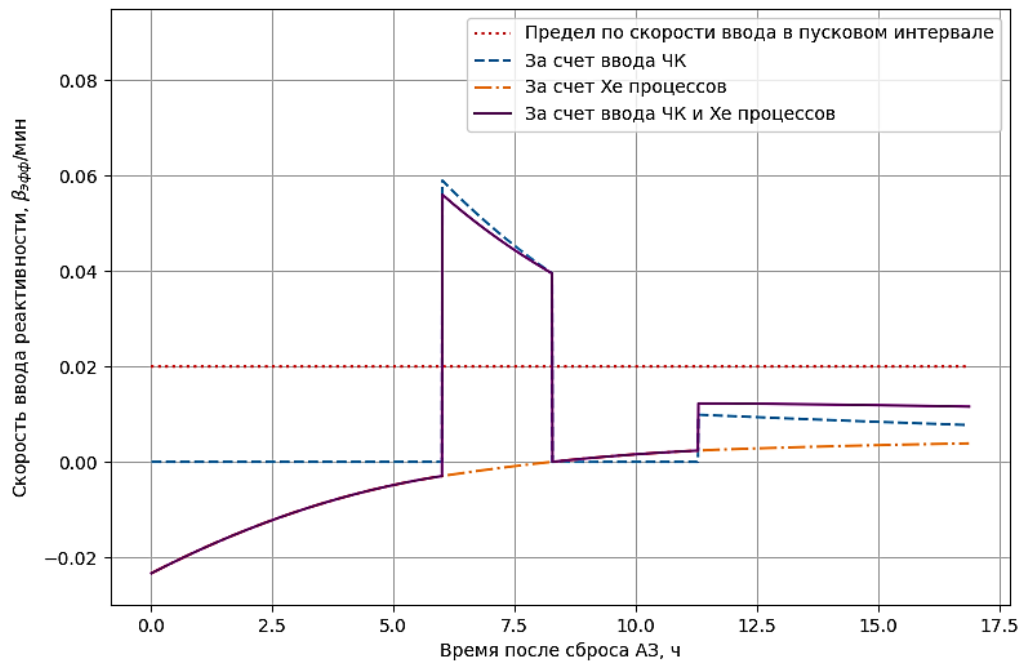


Рисунок 6 – Скорости ввода реактивности во время выхода на МКУ для начала 1-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Reactivity insertion rates during reaching the monitored power level for the start of the 1st fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

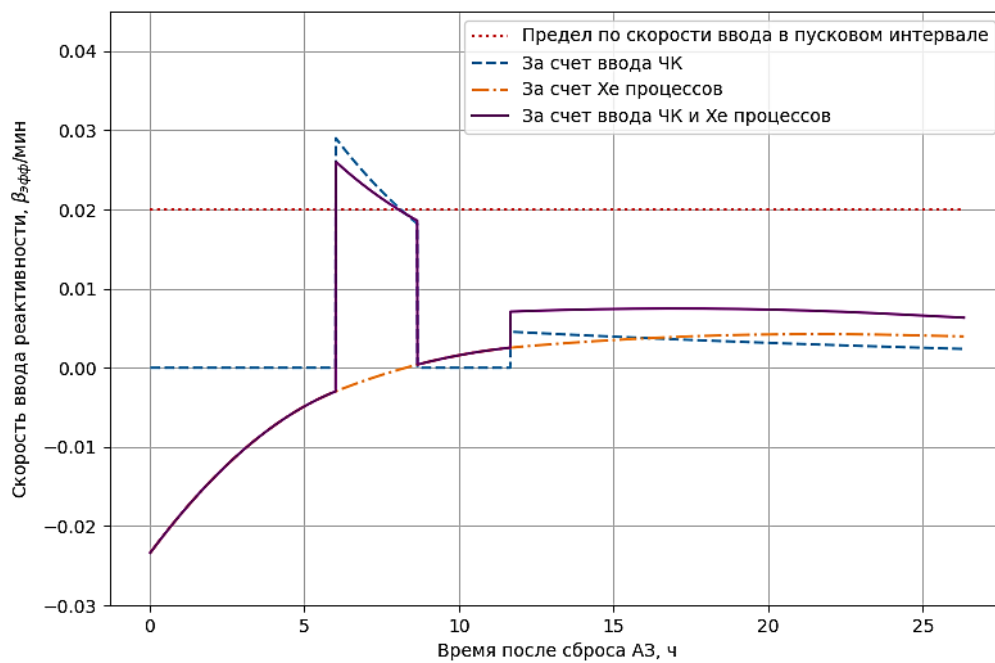


Рисунок 7 – Скорости ввода реактивности во время выхода на МКУ для конца 1-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Reactivity insertion rates during reaching the monitored power level for the finish of the 1st fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

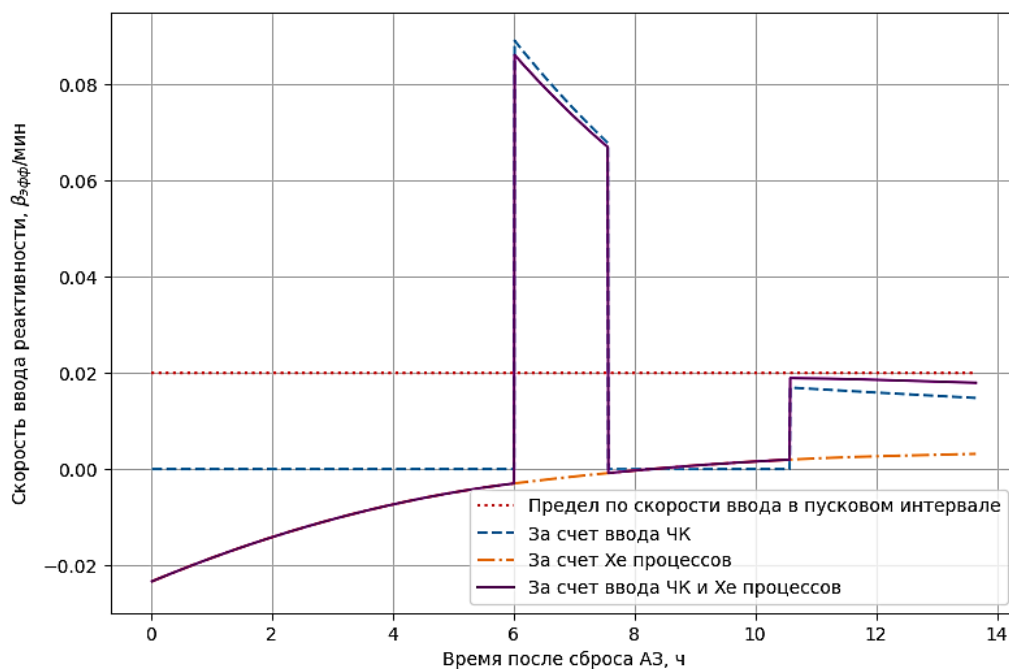


Рисунок 8 – Скорости ввода реактивности во время выхода на МКУ для начала 4-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Reactivity insertion rates during reaching the monitored power level for the start of the 4th fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

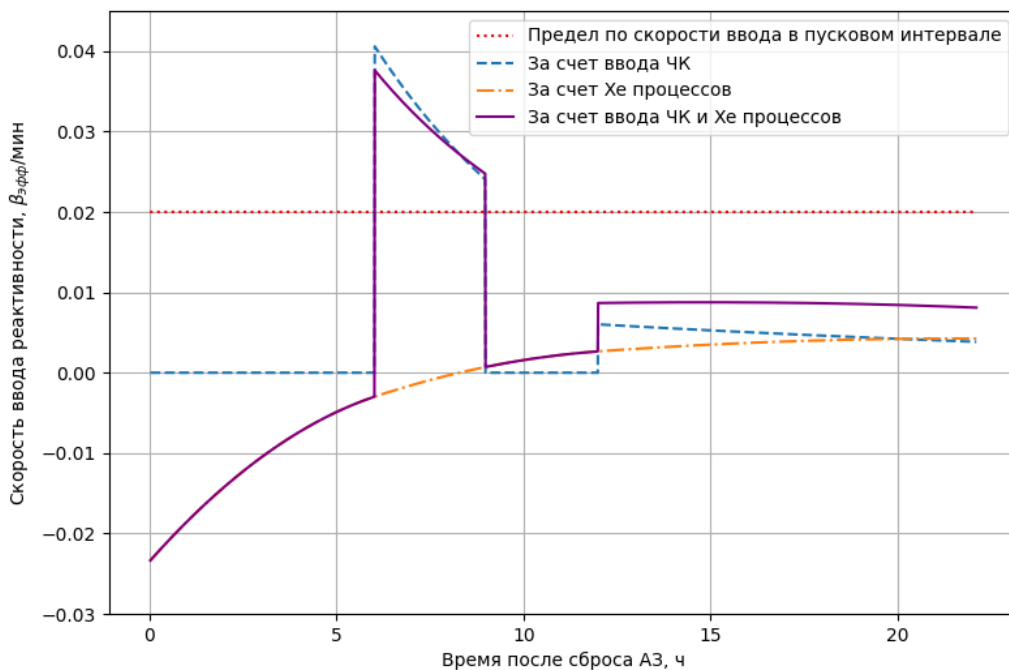


Рисунок 9 – Скорости ввода реактивности во время выхода на МКУ для конца 4-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Reactivity insertion rates during reaching the monitored power level for the finish of the 4th fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

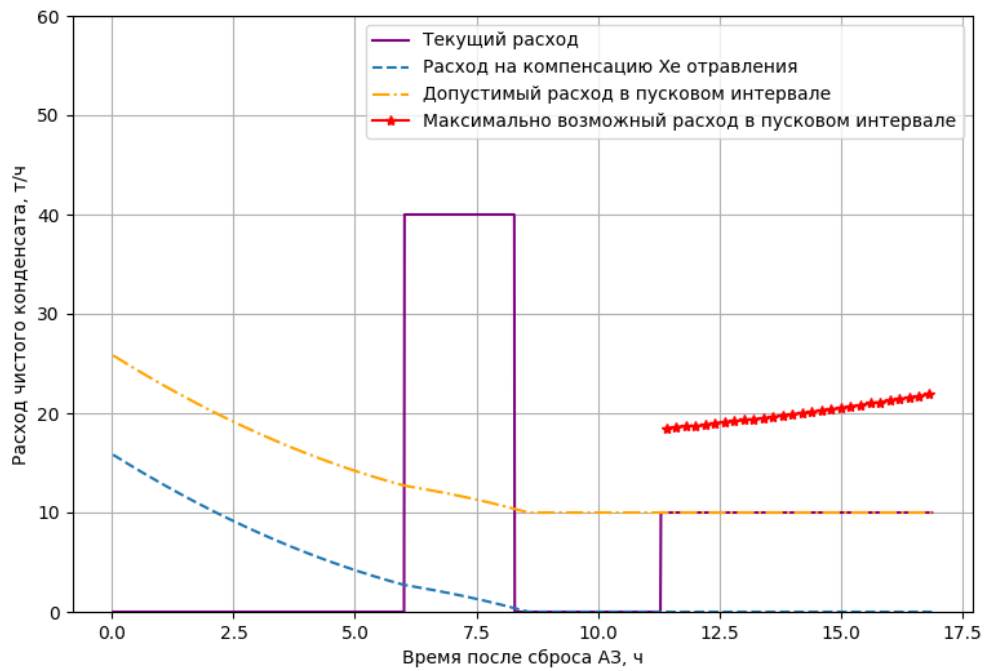


Рисунок 10 – Расходы ЧК во время выхода на МКУ для начала 1-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Net condensate flow rates during reaching the monitored power level for the start of the 1st fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

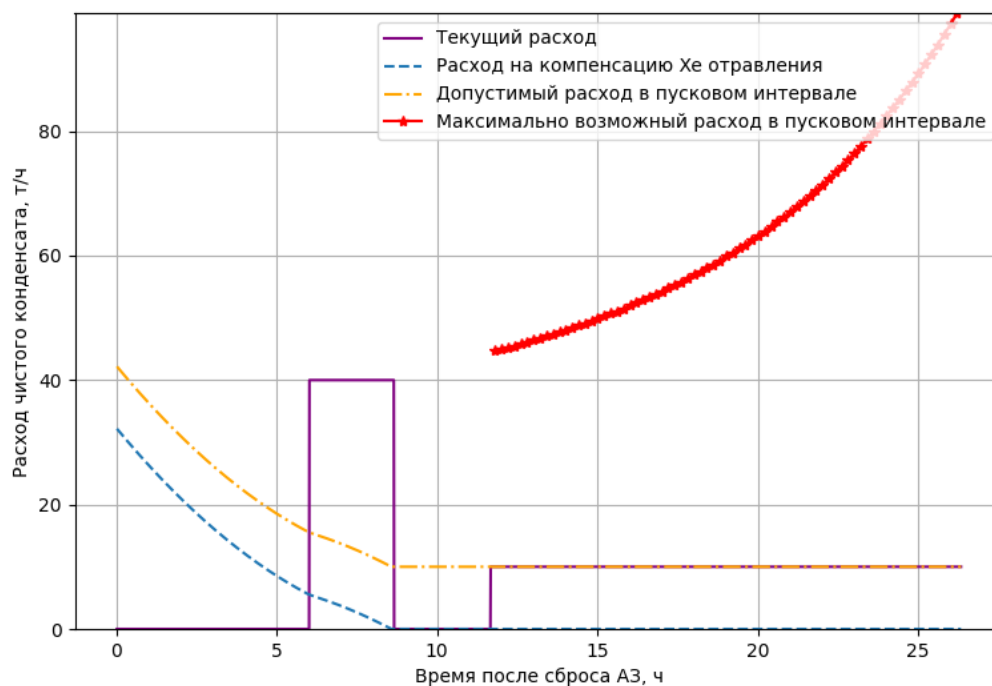


Рисунок 11 – Расходы ЧК во время выхода на МКУ для конца 1-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Net condensate flow rates during reaching the monitored power level for the finish of the 1st fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

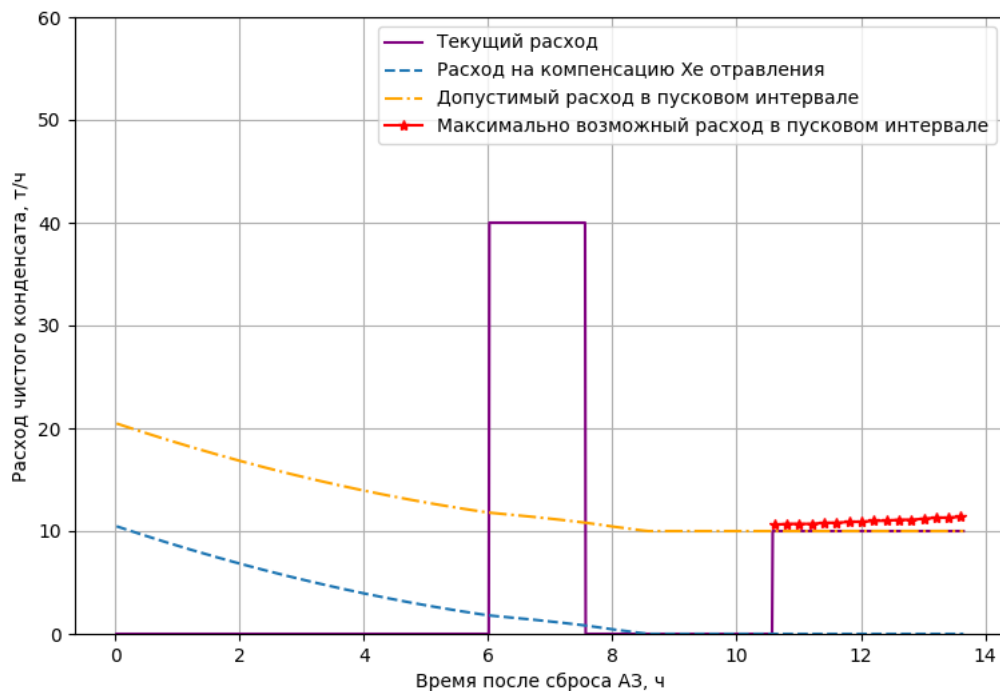


Рисунок 12 – Расходы ЧК во время выхода на МКУ для начала 4-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [[Net condensate flow rates during reaching the monitored power level for the start of the 4th fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

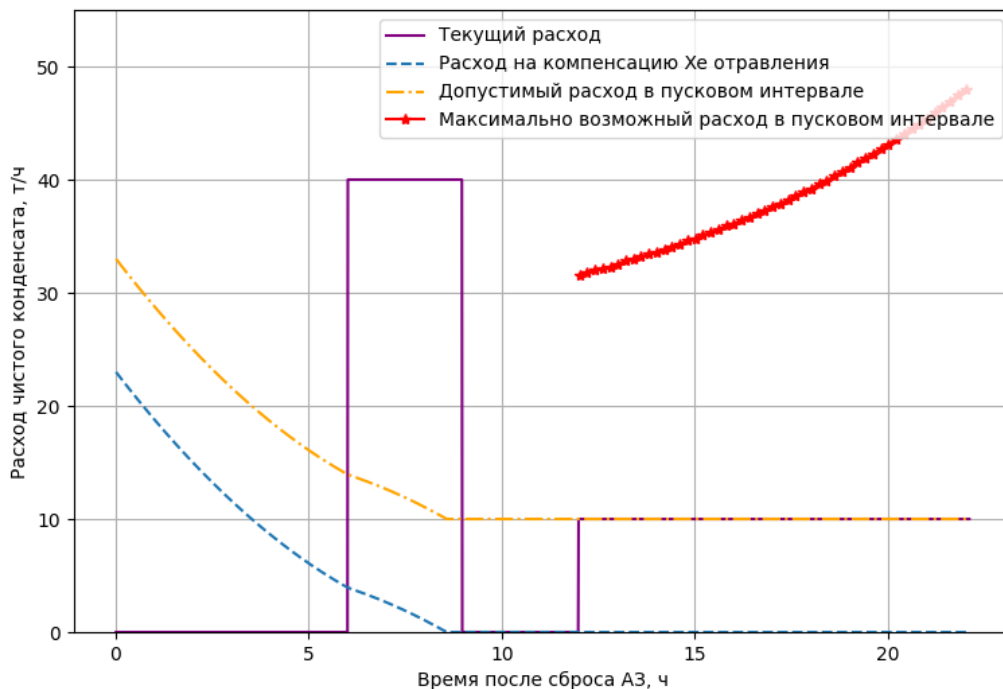


Рисунок 13 – Расходы ЧК во время выхода на МКУ для конца 4-ой топливной загрузки блока №6 НВАЭС. Время выдержки после АЗ 6 часов [Net condensate flow rates during reaching the monitored power level for the finish of the 4th fuel loading of Unit 6 of NVNPP. Dwell time after emergency protection is 6 hours]

Заключение

В статье приведены оценки расхода ЧК при выводе РУ типа ВВЭР-1200 на МКУ мощности после срабатывания АЗ.

Оценки выполнены для начала и конца топливных кампаний №1 и №4 НВАЭС. Сами результаты получены с использованием КАРРУ энергоблоков № 1, 2 НВАЭС-2.

Приведенные результаты показывают, что ситуация с наименьшими запасами до предельных значений наблюдается для начала топливной кампании №4 НВАЭС. При этом требования ТРБЭ АЭС выполняются.

Приведенные результаты позволяют сделать вывод, о том, что величина расхода ЧК в 10 т/ч, используемая в пусковом интервале при разотравленной по ксенону активной зоне, так же может быть безопасно использована и при отравленной по ксенону активной зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А.А., Соловьев Д.А., Чанаев В.М. Аттестационный паспорт программного средства: Программа mku01 (версия 1.0). Technical report. ЭНИКО ТСО, 21.02.2007.
2. Shimazu Y. Monitoring and control of radial xenon oscillation in PWRs by a three radial offset concept. J.Nucl. Sci. Technol, 2007, 44, 155.
3. Семенов, В.К., К вопросу о ксеноновых колебаниях в ядерном реакторе / В.К. Семенов, М.А. Вольман // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. – № 2. – С. 15-20.
4. Рябов, Н.А. Исследование точечной модели ксеноновых колебаний / Н.А. Рябов, А.А. Семенов // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2006. – № 2. – С. 66-73.
5. Аверьянова, С.П., Ксеноновая устойчивость ВВЭР-1200 / С.П. Аверьянова, П.И. Филимонов // Атомная энергия. – 2009. – № 6 (107). – С. 348-351.
6. Shimazu Y. Xenon oscillation control in large PWRs using a characteristic ellipse trajectory drawn by three axial offsets. J. Nucl. Sci. Technol, 2008, 45, 257. 22.
7. Поваров, В.П. Предупреждение и подавление аксиальных ксеноновых колебаний в активной зоне ВВЭР-1000 / В.П. Поваров, О.В. Лебедев, В.В. Макеев // Теплоэнергетика. – 2003. – № 5. – С. 11-15.
8. Программа БИПР-7А (версия 1.5). Аттестационный паспорт программного средства. Регистрационный номер ПС в ЦЭП №613 от 31.07.2008. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 214 от 23.09.2008. Technical report, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности. – Москва, 2008.
9. Программа ИР версия. WINDOWS. Инструкция пользователя, 2005.
10. Филимонов, П.И. Управление энергораспределением ВВЭР с помощью офсет-офсетной диаграммы / П.И. Филимонов // Атомная энергия. – 1992. – № 73(3). – С. 175-179.
11. Филимонов, П.И. Настройка модели на текущее состояние реактора / П.И. Филимонов, С.П. Аверьянова // Атомная энергия. – 1996. – №. 80(6). – С. 482 -485.
12. Филимонов, П.И. Управление группами рабочих органов СУЗ в маневренном режиме работы ВВЭР-1000 / П.И. Филимонов, С.П. Аверьянова, М.П. Филимонова // Атомная энергия. – 1998. – № 84(5). – 383-387.
13. Филимонов, П.И., Испытания маневренности ВВЭР-1000 на 5-м блоке Запорожской АЭС / П.И. Филимонов, С.П. Аверьянова, С.Г. Олейник, С.П. Климов, А.А. Депенчук // Атомная энергия. – 1998 – № 85(5). – С. 364-367.
14. Филимонов, П.И. Программа «Имитатор реактора» для моделирования маневренных режимов работы ВВЭР-1000 / П.И. Филимонов, В.В. Мамичев, С.П. Аверьянова // Атомная энергия. – 1998. – № 84(6) . – С. 260-263.
15. Филимонов, П.И. Поддержание равновесного офсета – эффективный способ подавления ксеноновых колебаний в ВВЭР-1000 / П.И. Филимонов, С.П. Аверьянова // Атомная энергия. – 2001. – № 90(3) . – С. 231-233.
16. Аверьянова, С.П. Развитие, внедрение и современное состояние расчетной программы «Имитатор реактора» / С.П. Аверьянова, А.И. Ковель, В.В. Мамичев, П.И. Филимонов // Атомная энергия. – 2008. – № 105(4). – С. 237-240.
17. Программа ИР (Имитатор Реактора) (версия 1.2.2 для энергоблока №4 Калининской АЭС), 2011.

18. *Аль Шамайлах, А.И.* Методика определения времени до выхода на МКУ для ВВЭР / А.И. Аль Шамайлах, Д.А. Соловьев, А.А. Семенов, Н.В. Шукин [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. – 2020. – Вып. 1. – С. 56-60.
19. *Al-Shamayleh A.I., Solovyov D.A., Semyonov A.A., Shcukin N.V., Djaroum B. and Tanash H.A.* Determining the critical concentration of boric acid and the time of its onset when reaching to minimum controllable power for the water-water energetic reactor. // IJNGEE, 2021. Volume 5. N. 1. P. 37-45.
20. *Al-Shamayleh A.I., Solovyov D.A., Semyonov A.A., Shcukin N.V., Djaroum B., Tanash H.A. and Molev I.A.* Determining the critical concentration of boric acid and the time of its onset when reaching to minimum controllable power for VVER. // Journal of Physics: Conference Series, 2020.
21. *Аль Шамайлах, А.И.*, Оценка расхода чистого конденсата в пусковом диапазоне для выхода на минимально контролируемый уровень мощности после срабатывания аварийной защиты / А.И. Аль Шамайлах, Д.А. Соловьев, А.А. Семенов, Н.В. Шукин [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. – 2022. – Вып. 1. – С. 74–81.
22. *Выговский, С.Б.* Опыт использования программного комплекса «ПРОСТОР» в расчетной поддержке эксплуатации Калининской АЭС и перспективы его дальнейшего применения на АЭС с ВВЭР-1000 С.Б. Выговский [и др.] // Сборник трудов 8-й международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», Подольск, 28-31 мая 2013. – Подольск : ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2013. – С. 121-123.
23. Аттестационный паспорт № 182 от 28.10.2004. Программный комплекс ПРОСТОР (версия 1). – Москва : Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), 2004.

REFERENCES

- [1] Semenov A.A., Solov'yev D.A., Chapayev V.M. Attestatsionnyy pasport programmnoy sredstva: Programma mku01 (versiya 1.0). Technical report. ENIKO TSO, 21.02.2007. [Attestation Passport of the Software Tool: Program mku01 (version 1.0)]. Technical Report. ENIKO TSO, 21.02.2007 (in Russian).
- [2] Shimazu Y. Monitoring and control of radial xenon oscillation in PWRs by a three radial offset concept. J.Nucl. Sci. Technol, 2007, 44, 155 (in English).
- [3] Semenov V.K., Vol'man M.A. K voprosu o ksenonovykh kolebaniyakh v yadernom reaktore. [Issue of Xenon Oscillations in a Nuclear Reactor]. Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta [News of the Ivanovo State Power Engineering University]. 2015. – № 2. P. 15–20 (in Russian).
- [4] Ryabov N.A., Semenov A.A. Issledovaniye tochechnoy modeli ksenonovykh kolebaniy [Investigation of Point Model of Xenon Oscillations]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika [News of Higher Education Institutions Atomic Energy]. 2006. – № 2. P. 66–73 (in Russian).
- [5] Aver'yanova S.P., Filimonov P.Ye. Ksenonovaya ustoychivost' VVER-1200 [WWER-1200 Xenon Stability]. Atomnaya energiya [Atomic Energy]. 2009. – № 6 (107). P. 348–351. (in Russian)
- [6] Shimazu Y. Xenon oscillation control in large PWRs using a characteristic ellipse trajectory drawn by three axial offsets. J. Nucl. Sci. Technol, 2008, 45, 257. (in English).
- [7] Povarov V.P., Lebedev O.V., Makeyev V.V. Preduprezhdeniye i podavleniye aksial'nykh ksenonovykh kolebaniy v aktivnoy zone VVER-1000 [Prevention and Suppression of Axial Xenon Vibrations in the WWER-1000 Core]. Teploenergetika [Heat power engineering]. 2003. – № 5. P. 11–15 (in Russian).
- [8] Programma BIPR-7A (versiya 1.5). Attestatsionnyy pasport programmnoy sredstva. Registratsionnyy nomer PS v TSEP №613 ot 31.07.2008. Registratsionnyy nomer pasporta attestatsii PS № 214 ot 23.09.2008. Technical report, Federal'nyy nadzor Rossii po yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti, [BIPR-7A Program (version 1.5). Attestation Passport of the Software Tool]. Registration number of the substation in the CEP No. 613 dated 31.07.2008. Registration number of the passport of at-testation PS No. 214 dated 23.09.2008. Technical report, Federal Nuclear and Radiation Safety Inspectorate of Russia], Moscow, 2008 (in Russian).
- [9] Programma IR versiya. WINDOWS. Instruktsiya pol'zovatelya [IR Program Version. WINDOWS. User manual], 2005 (in Russian).
- [10] Filimonov, P.E. Upravlenie energoraspredeleniem VVER s pomoshch'yu ofset-ofsetnoy diagrammy [Control of Power Distribution in Water-Moderated Water-Cooled Power Reactors by Means of Offset-Offset Diagram]. Atomnaya energiya [Atomic Energy]. 1992. – № 73(3). P. 175-179 (in Russian).

- [11] Filimonov, P.B., Aver'yanova, S.P. Nastrojka modeli na tekushchee sostoyanie reaktora [Setting Up Computational Model of the Current Reactor State]. *Atomnaya energiya [Atomic Energy]*. 1996. – № 80(6). P. 482-485 (in Russian).
- [12] Filimonov, P.E., Aver'yanova, S.P. & Filimonova, M.P. Upravlenie gruppami rabochnih organov SUZ v manevrennom rezhime raboty VVER-1000 [Control of Control-Rod Groups in the Maneuvering Regime of WWER-1000 Operation]. *Atomnaya energiya [Atomic Energy]*. 1998. – № 84(5). P. 383-387 (in Russian).
- [13] Filimonov P.I., Aver'yanova S.P., Oleynik S.G., Klimov S.P., Depenchuk A.A. Ispytaniya manevrennost' VVER-1000 na 5-m bloke Zaporozhskoy AES [Testing the Maneuverability of WWER-1000 at the 5th unit of the Zaporozhye NPP]. *Atomnaya energiya [Atomic Energy]* 1998. № 85(5). P. 364-367 (in Russian).
- [14] Filimonov, P.E., Mamichev, V.V. & Aver'yanova, S.P. Programma «Imitator reaktora» dlya modelirovaniya manevrennyh rezhimov raboty VVER-1000 [“Reactor Simulator” Program for Simulating Load-Tracking States in WWER-1000 Reactor]. *Atomnaya energiya [Atomic Energy]*. 1998. – № 84(6). P. 260-263 (in Russian).
- [15] Filimonov, P.E., Aver'yanova, S.P. Podderzhanie ravnovesnogo ofseta – effektivnyj sposob podavleniya ksenonovyh kolebanij v VVER-1000 [Maintaining an Equilibrium Offset as an Effective Method for Suppressing Xenon Oscillations in WWER-1000]. *Atomnaya energiya [Atomic Energy]*. 2001. – № 90(3). P. 231-233 (in Russian).
- [16] Aver'yanova, S.P., Kovel, A.I., Mamichev, V.V. Razvitie, vnedrenie i sovremennoe sostoyanie raschetnoj programmy «Imitator reaktora» [Development, Introduction, and Current State of Computational Program “Reactor Simulator”] // *Atomnaya energiya [Atomic Energy]* 2008. – № 105(4). P. 237-240 (in Russian).
- [17] Programma IR (Imitator Reaktora) (versiya 1.2.2 dlya energobloka №4 Kalininskoy AES) [IR program (Reactor Simulator) (version 1.2.2 for power unit No. 4 of the Kalinin NPP)]. 2011 (in Russian).
- [18] Al' Shamaylekh A.I.AA., Solov'yev D.A., Semenov A.A., Shchukin N.V. i dr. Metodika opredeleniya vremeni do vykhoda na MKU dlya VVER [Method for determining the time before entering the Monitored Power Level for WWER] // *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Ser. Fizika yadernykh reaktorov [Issues of Atomic Science and Technology. Ser. Physics of Nuclear Reactors]*, 2020. - Issue 1. P. 56–60. (in Russian).
- [19] Al-Shamayleh A.I., Solovyov D.A., Semyonov A.A., Shchukin N.V., Djaroum B. and Tanash H.A. Determining the critical concentration of boric acid and the time of its onset when reaching to minimum controllable power for the water-water energetic reactor. // *IJNGEE*, 2021. Volume 5. N. 1. P. 37-45 (in English).
- [20] Al-Shamayleh A.I., Solovyov D.A., Semyonov A.A., Shchukin N.V., Djaroum B., Tanash H.A. and Molev I.A. Determining the critical concentration of boric acid and the time of its onset when reaching to minimum controllable power for WWER. // *Journal of Physics: Conference Series*, 2020 (in English).
- [21] Al' Shamaylekh A.I.AA., Solov'yev D.A., Semenov A.A., Shchukin N.V. i dr. Otsenka raskhoda chistogo kondensata v puskovom diapazone dlya vykhoda na minimal'no kontroliruyemyy uroven' moshchnosti posle sbratyvaniya avariynoy zashchity [Estimation of Net Condensate Flow Rate in Start-Up Range for Reaching Minimum Controllable Power Level after Tripping of Emergency Protection] // *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Ser. Fizika yadernykh reaktorov [Issues of Atomic Science and Technology. Ser. Physics of Nuclear Reactors]*, 2022. - Issue 1. P. 74–81 (in Russian).
- [22] Vygovsky S.B. Opyt ispol'zovaniya programmnoy kompleksa «PROSTOR» v raschetnoj podderzhke ekspluatatsii Kalininskoy AES i perspektivy ego dal'neyshego primeneniya na AES s VVER-1000 [Experience in Using the Complex of Applications "PROSTOR" in the Calculation Possibility of Using the Kalinin NPP and the Prospects for its Use at NPPs with WWER-1000] // *Sbornik trudov 8-j mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Obespechenie bezopasnosti AES s VVER»*, Podol'sk, 28-31 maya 2013 [Proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference "Discussion of the Safety of NPPs with VVER" Podolsk, Russia, May 28-31, 2013]. Podol'sk: OKB «GIDROPRESS» [Podolsk: OKB “GIDROPRESS”]. 2013. P. 121-123 (in Russian).
- [23] Attestacionnyj pasport № 182 ot 28.10.2004. Programmnyj kompleks PROSTOR (versiya 1) [Attestation Passport No. 182 dated October 28, 2004. PROSTOR Software Package (version 1)] - Moskva: Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskemu i atomnomu nadzoru (Rostekhnadzor) [Moscow: Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor)], 2004 (in Russian).

Estimates of Flow Rate of Pure Condensate when WWER-1200 Reactor Plant is Brought to the Minimum Controlled Power Level after the Emergency Protection Triggering

A.I. Al-Shamayleh¹, D.A. Solovyov², A.A. Semenov³, N.V. Shchukin⁴, A.L. Lobarev⁵,
D.A. Plotnikov⁶, V.S. Potapov⁷

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

¹ORCID iD: 0000-0002-0283-6798

WoS Researcher ID: AFT-1761-2022

e-mail: asema7078@gmail.com

²ORCID iD: 0000-0002-0507-0839

e-mail: vulture@inbox.ru

WoS Researcher ID: AFT-1248-2022

³ORCID iD: 0000-0002-5495-3662

WoS Researcher ID: AFT-1728-2022

e-mail: dozaand@main.ru

⁴ORCID iD: 0000-0002-4228-7228

WoS Researcher ID: AFT-1678-2022

e-mail: nvshchukin@mephi.ru

⁵ORCID iD: 0000-0001-5258-357

WoS Researcher ID: AFT-1155-2022

e-mail: lobarev.alexey@gmail.com

⁶ORCID iD: 0000-0001-9387-170X

WoS Researcher ID: AFT-1105-2022

e-mail: plotnikov@secnrs.ru

⁷ORCID iD: 0000-0001-8004-8212

WoS Researcher ID: AAH-5193-2021

e-mail: volodya.potapov.39@mail.ru

Abstract – Activation of the emergency protection entails the entering of boric acid solution into the reactor core to the parking value, then the control rods are raised, after which it is possible to obtain permission to start the reactor. The first stage of reaching the minimum controlled level (MCL) of power is feeding with pure condensate to the start-up interval at a high injection rate, the second is mixing the 1st circuit and then entering the pure condensate but at a low speed. At the same time, the technical regulations for safe operation indicate that the flow rate of pure condensate in the start-up interval should not exceed the flow rate of pure condensate to compensate for xenon poisoning by more than 10 t / h, and the input rate of positive reactivity should not exceed 0.02 $\beta_{\text{eff}}/\text{min}$. At the same time, it is not entirely clear how to estimate the flow rate of pure condensate in the start-up interval, since there is no equipment on the power unit that measures the magnitude of xenon poisoning and the rate of reactivity input. This article will answer the question of what is the permissible flow rate of pure condensate the operator can use in the start-up interval in the presence of xenon processes.

Keywords: WWER-1200, MCL, reactor emergency protection, pure condensate, technological regulations for safe operations.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 536.3, 65.011.56

**КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВИЗИОННОГО
КОНТРОЛЯ**

© 2021 Д.В. Швец*, Е.А. Абидова**, М.В. Калашников**,
П.В. Поваров**, Е.В. Воробьев**

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

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

Областью выполнения исследовательской работы является комплекс проблем, связанных с процессами сбора и хранения результатов термографического контроля (ТВК), применяемого на атомных станциях (АС) для оценки технического состояния оборудования, непосредственно влияющего на безопасность. В качестве решения для устранения существующих проблем в НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ разрабатывается комплексная автоматизированная система хранения и анализа результатов термографического контроля оборудования АЭС (КАС ТВК).

Ключевые слова: атомная станция, тепловизионный контроль, оборудование, бесконтактная термография, метод неразрушающего контроля.

Поступила в редакцию 07.12.2021

После доработки 17.12.2021

Принята к печати 22.12.2021

В современной промышленности при управлении технологическими мощностями применяется долгосрочное планирование ремонтных мероприятий, что требует усложнения учета и контроля параметров эксплуатации оборудования. Эффективная эксплуатация оборудования связана с повышением коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), которого можно добиться за счет снижения длительности процедур ремонта и обслуживания оборудования при условии поддержания его эксплуатационной надежности.

На Атомных станциях для мониторинга эксплуатационной надежности оборудования применяется тепловизионный контроль [1], как один из методов неразрушающего контроля. При этом тепловизионный контроль разнородного оборудования АС приводит к накоплению значительного количества термограмм, систематизация, сортировка и сравнительный анализ [2–3] которых затруднен, а это, в свою очередь, приводит к снижению оперативности процедур и объективности результатов ТВК.

Так, тепловизионному контролю подвергаются такие разнородные виды оборудования, влияющего на безопасность АЭС, как: импульсные предохранительные клапаны парогенератора и компенсатора давления; шлейфы приводов системы управления защитой реактора; резервные дизель-генераторы [4], трубопроводная арматура.

Несвоевременность выявления дефектов и неисправностей такого оборудования не только может приводить к снижению КИУМ, но и оказывает негативное влияние на безопасность эксплуатации АЭС в целом.

Метод бесконтактной инфракрасной термографии, или тепловизионный контроль, основан на измерении с помощью специальных приборов (тепловизоров)

распределения теплового излучения на поверхности контролируемого объекта и преобразовании результатов в карту теплового поля для дальнейшего анализа. Тепловое поле обуславливается трением в сочленениях оборудования (кинематических парах) или другим способом рассеивания тепловой энергии, характеризующим специфику работы того или иного оборудования [5].

Для АЭС метод ТВК представляет собой наилучший способ поиска локальных зон зарождения дефектов [6–7]. Для контроля ресурсных характеристик оборудования и обоснования продления времени эксплуатации и остаточного ресурса оборудования АС тепловизионный контроль имеет ряд преимуществ перед другими методами технического контроля и диагностики:

- бесконтактность проведения обследования оборудования;
- возможность контроля движущихся частей;
- возможность контроля оборудования, изготовленного из любых материалов;
- возможность охвата больших площадей;
- скорость регистрации информации.

Как мы отметили, тепловизионный контроль на атомной станции выполняется для разных видов оборудования, поэтому для проведения своевременного мониторинга и объективной оценки технического состояния оборудования необходима систематизация всего объема регистрируемой информации [8]. Таким образом, на АЭС имеется потребность в создании комплексной автоматизированной системы хранения и обработки результатов тепловизионного контроля оборудования.

При проектировании КАС ТВК коллективом НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ учтены стратегические цели ГК «Росатом» [9]:

- снижение себестоимости выработки электроэнергии;
- снижение сроков протекания процессов;
- создание новых продуктов для продвижения на отечественном и зарубежном рынке;
- встраивание в цифровую экономику РФ.

Разработка КАС ТВК направлена на повышение качества диагностики оборудования и снижение вероятности внезапного отказа оборудования за счёт совершенствования процессов тепловизионного контроля, что соответствует стратегической цели снижения себестоимости выработки электроэнергии.

Оптимизация процессов термографического обследования оборудования АЭС путём максимального исключения ручной обработки и методически обоснованной алгоритмизации анализа полученных термографических данных соответствует стратегической цели снижения сроков протекания процессов.

Разработка КАС ТВК и её апробирование на АЭС соответствует стратегической цели создания новых продуктов для продвижения на отечественном и зарубежном рынке.

Автоматизированный сбор и анализ термографической информации позволит рассматривать КАС ТВК как полноценный цифровой продукт, трансформирующий процессы диагностики оборудования, что соответствует стратегической цели встраивания в цифровую экономику РФ.

Основным недостатком имеющихся на рынке систем тепловизионного контроля является отсутствие возможности систематизации объектов контроля и анализа термограмм в зависимости от типа оборудования. Для устранения данного недостатка разрабатываемая КАС ТВК будет решать следующие задачи:

- сбор данных с тепловизионного оборудования различных типов;
- автоматизированный анализ результатов тепловизионного контроля с учетом типа объекта ТВК;
- формирование представления о состоянии объекта ТВК.

Структурно система КАС ТВК представлена на рисунке 1.

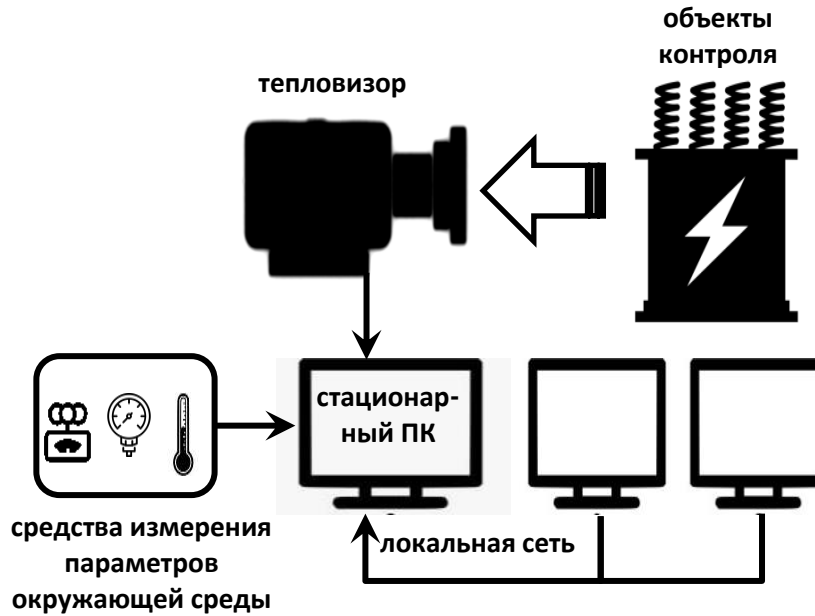


Рисунок 1 – Принципиальная структурная схема КАС ТВК [The basic block diagram of IAS TIC]

Первая задача на текущем этапе решается организационными мероприятиями, учитывающими особенности и возможности применяемого тепловизионного оборудования разных лет выпуска и разных производителей. Эти особенности должны быть максимально учтены при разработке структуры базы данных хранения тепловизионных образов в КАС ТВК.

Автоматизация процессов анализа результатов тепловизионного контроля с учетом типа объекта ТВК имеет множество нюансов, которые будут учтены в ходе проектирования. Укрупнённо схема обработки результатов диагностирования представлена на рисунке 2.

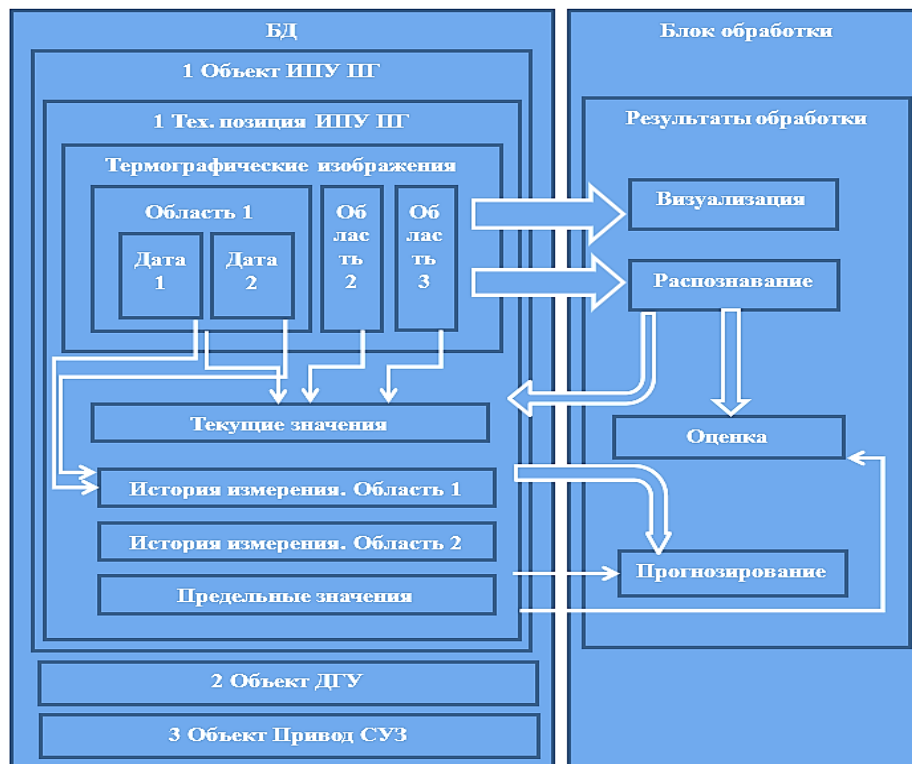


Рисунок 2 – Схема обработки результатов диагностирования КАС ТВК [Diagnostic results processing scheme IAS TIC]

Учитывая большое разнообразие особенностей работы разнородного оборудования, обследуемого на АЭС тепловизионным способом, для повышения чувствительности анализа термограмм предлагается использовать подход, основанный на методе главных компонент (МГК), который заключается в совместном анализе параметров различной природы [10–11]. В разрабатываемой системе реализуется следующая последовательность проведения анализа:

1. Определение абсолютных максимальных температур частей объектов.
2. Определение разности температур между различными частями объекта.
3. Определение разности температур объекта и окружающего воздуха.
4. Определение размера области нагрева объекта контроля.
5. Сравнение с результатом предыдущего ТВК.
6. Автоматическое формирование и вывод протокола по результатам контроля.
7. Формирование и хранение в базе данных результатов ТВК.

Для формирования заключения о техническом состоянии обследуемой единицы оборудования разрабатываемая КАС ТВК должна будет на основе базы диагностических признаков, сформированной для разных видов оборудования, автоматически выявлять на термограмме место возможного дефекта [12–14].

В качестве примера рассмотрим диагностическую модель СУЗ ШЭМ-3. Входными данными модели являются температуры обмоток и контактов управляющих электромагнитов ТМ, ФМ, ЗМ и обмоток ДПШ, контактов и разъемов электровводов, при мониторинге результатов обработки термограмм диагностируются либо «дефект двигателя (короткое замыкание витков в обмотках электромагнита)», либо «дефект изоляции обмоток датчика положения». На рисунке 3 представлен термографический контроль шлейфов ОР СУЗ.

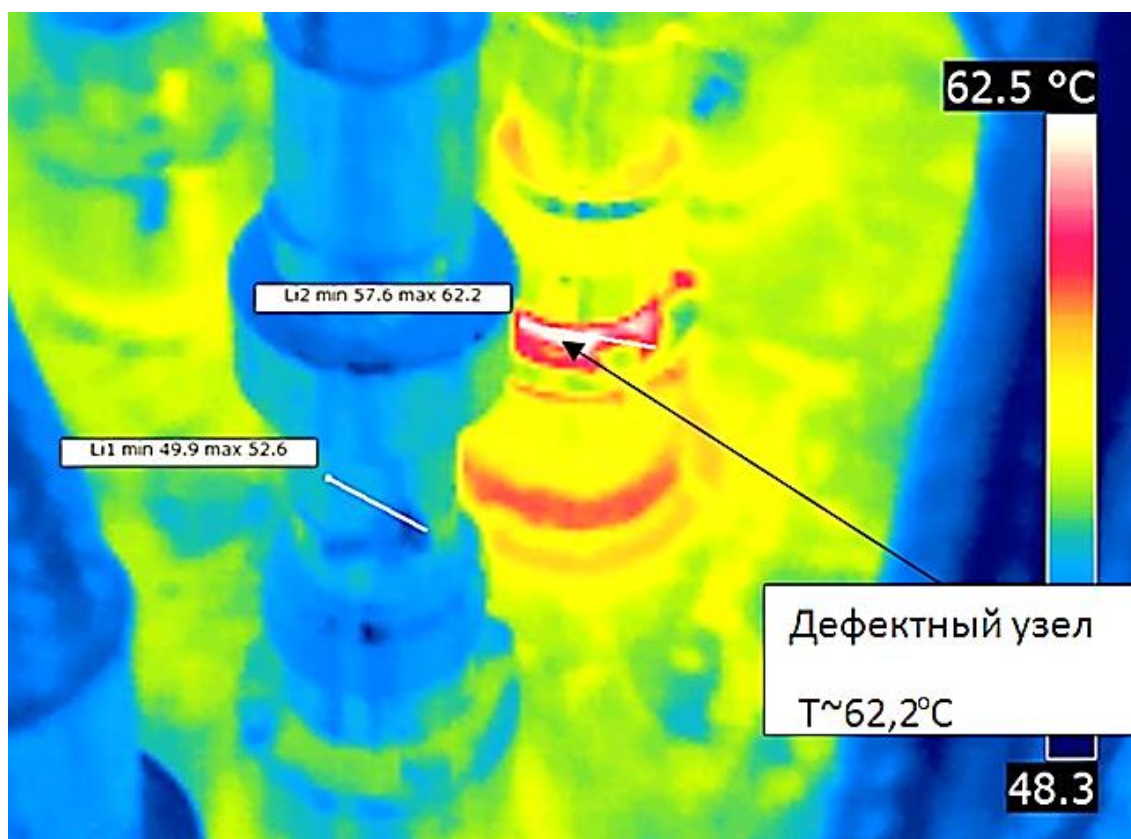


Рисунок 3 – термограмма шлейфов ОР СУЗ [Thermogram of the plumes RB PMS]

Для проведения регистрации термограмм необходимо вывести привод ОР СУЗ в рабочее положение. Регистрация производится наведением камеры тепловизора на

исследуемую область объекта, автоматический фокусировкой, получением термографического снимка и записью его в память прибора для дальнейшей регистрации в базу данных термограмм.

Таким образом, повышение качества методов неразрушающего контроля ТВК оборудования, непосредственно влияющего на безопасность Атомной станции, направлено на повышения качества решаемых задач оперативного управления, путем цифровизации процедур сбора и хранения термограмм, автоматической выдачи итогового отчета о состоянии объекта. Следовательно, целью создания КАС ТВК является повышение безопасности атомной станции путем создания комплексной системы для контроля и диагностики оборудования методом тепловизионного контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 153-34.0-20.364-00. Методика инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования. Утвержден и введен в действие 01.05.2000. Разработан АО «Фирма ОРГРЭС». – Москва, 2000. – 50 с.
2. Гевлич, С.О. Оценка технического состояния оборудования методом тепловизионного контроля / С.О. Гевлич, Д.С. Гевлич, Т.Г. Бабяк, К.А. Васильев, С.С. Коновалов, Н.В. Макарова, М.В. Мирзонов // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 9(45). – С. 86-89.
3. Власов, А.Б. Анализ результатов статистической обработки данных тепловизионного контроля / А.Б. Власов // Вестник МГТУ. – 2002. – № 2(5). – С. 155-160.
4. Абидова, Е.А. Виброакустический мониторинг и тепловизионный контроль при диагностировании дизеля 12ZV40/48 / Е.А. Абидова, В.И. Соловьев, О.Ю. Пугачева, Р.И. Ремизов // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 2(19). – С. 70-76.
5. Енюшин, В.Н. О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании / В.Н. Енюшин, Д.В. Крайнов // Известия КГАСУ. – 2013. – №1(23). – С. 99-103.
6. Ещенко, Д.В. Практическое применение методов тепловизионного анализа и контроля / Д.В. Ещенко, А.Т. Никитин, О.А. Белов // Вестник КамчатГТУ. – 2020. – №54. – С. 6-19.
7. Yuanbin W., Yang Y., Jieying R. Research on thermal state diagnosis of substation equipment based on infrared image // Advances in Mechanical engineering, 2019 №4(11). P. 1-14.
8. Цаплин, А.Е. Совершенствование контроля узлов механической части электрического подвижного состава применением интеллектуальной системы тепловизионного контроля / А.Е. Цаплин, В.А. Васильев, С.А. Фомин // Известия Петербургского университета путей сообщений. – 2019. – № 2(16). – С. 268-274.
9. РД ЭО 1.1.2.01.0573-2019. Проведение проверок выполнения программ обеспечения качества АО «Концерн Росэнергоатом» и организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги эксплуатирующей организации. Положение. Утвержден приказом №9/570-П от 25.04.2019. Разработан Департаментом качества АО «Концерн Росэнергоатом». – Текст: непосредственный. – Москва, 2019. – 81с.
10. Banerjee D., Chattopadhyay SK., Chatterjee K., Tuli S., Jain N., Goyal I., Mukhopadhyay S. Non-destructive testing of jute-polypropylene composite using frequency-modulated thermal wave imaging // Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2015 №4(28) P. 548-557.
11. Teju V., Bhavana D. An efficient object detection using OFSA for thermal imaging // International Journal of Electrical Engineering & Education, 2020 №1(22). P. 1-22.
12. Губарев, П.В. Анализ результатов испытаний тепловизионного контроля электровозов переменного тока / П.В. Губарев, А.С. Шапшал, А.С. Курочкин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 7. – С. 142-147.
13. Мамонтов, А.Н. Тепловизионный контроль реакторов / А.Н. Мамонтов, К.А. Пушница // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019, № 8 – С. 145-151.
14. Mark L., Kristin D., Kathryn R. Experimental Studies of the Thermal Effects Associated with Radiation Force Imaging of Soft Tissue // Ultrasonic imaging, 2004, № 26 – P. 100-114.

REFERENCES

- [1] RD 153-34.0-20.364-00. Metodika infrakrasnoj diagnostiki teplomekhanicheskogo oborudovaniya. [Technique of Infrared Diagnostics of Thermal Mechanical Equipment]. Utverzhden i vveden v dejstvie 01.05.2000. Razrabotan AO «Firma ORGRES». [Approved and put into effect 01.05.2000. Developed by ORGRES company]. Moscow, 2000. P.50 (in Russian).
- [2] Gevlich S.O, Gevlich D.S., Babyak T.G., Vasil'ev K.A., Konovalov S.S., Makarova N.V., Mirzonov M.V. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya metodom teplovizionnogo kontrolya [Assessment of Technical Condition of Equipment by Thermal Imaging Control]. Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike [Technical sciences - from Theory to Practice], 2015 №9(45). P. 86-89 (in Russian).
- [3] Vlasov A.B. Analiz rezul'tatov statisticheskoy obrabotki dannyh teplovizionnogo kontrolya [Analysis of Results of Statistical Processing of Thermal Imaging Control Data]. Vestnik MGTU [Bulletin of the MSTU]. 2002г. №2(5). P. 155-160 (in Russian).
- [4] Abidova E.A., Solovev V.I., Pugacheva O.YU., Remizov R.I. Vibroakusticheskij monitoring i teplovizionnyj kontrol' pri diagnostirovanii dizelya 12ZV40/48 [Vibroacoustic Monitoring and Thermal Imaging Control in the Diagnosis of Diesel 12ZV40/48]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2016 №2(19). P. 70-76 (in Russian).
- [5] Enyushin V.N., Krajnov D.V. O vliyanii izluchatel'noj sposobnosti poverhnosti issleduemogo ob'ekta na tochnost' izmereniya temperatur pri teplovizionnom obsledovanii [Influence of the Emissivity of the Surface of Object under Study on the Accuracy of Temperature Measurement during Thermal Imaging Examination] // Izvestiya KGASU [News of the KSUAE]. 2013 №1(23). P. 99-103 (in Russian).
- [6] Eshchenko D.V., Nikitin A.T., Belov O.A. Prakticheskoe primeneniye metodov teplovizionnogo analiza i kontrolya [Practical Application of Thermal Imaging Analysis and Control Methods]. Vestnik KSTU [Bulletin of KSTU]. 2020 №54. P. 6-19 (in Russian).
- [7] Yuanbin W., Yang Y., Jieying R. Research on Thermal State Diagnosis of Substation Equipment Based on Infrared Image // Advances in Mechanical engineering, 2019 №4(11). P. 1-14 (in English).
- [8] Caplin A.E., Vasil'ev V.A., Fomin S.A. Sovershenstvovanie kontrolya uzlov mekhanicheskoy chasti elektricheskogo podvzhnogo sostava primeneniem intellektual'noj sistemy teplovizionnogo kontrolya [Improving Control of components of Mechanical Part of Electric Rolling Stock by Using an Intelligent Thermal Imaging Control System]. Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshchenij [News of the St. Petersburg University of Railway Communications], 2019 №2(16). P. 268-274 (in Russian).
- [9] RD EO 1.1.2.01.0573-2019 Provedenie proverok vypolneniya programm obespecheniya kachestva AO «Koncern Rosenergoatom» i organizacij, vypolnyayushchih raboty i predostavlyayushchih uslugi ekspluatiruyushchej organizacii. Polozhenie [Conducting Inspections of Implementation of Quality Assurance Programs of Rosenergoatom Concern JSC and Organizations Performing Work and Providing Services to the Operating Organization. Position]. Utverzhden prikazom №9/570-P ot 25.04.2019. Razrabotan Departamentom kachestva AO «Koncern Rosenergoatom». [Approved and put into effect 25.04.2019. Developed by the Quality Department of Rosenergoatom Concern JSC]. Moscow, 2019. P. 81 (in Russian).
- [10] Mukhopadhyay S. Non-Destructive Testing of Jute–Polypropylene Composite Using Frequency-Modulated Thermal Wave Imaging // Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2015 №4(28) P. 548-557 (in English).
- [11] Teju V., Bhavana D. An Efficient Object Detection Using OFSA for Thermal Imaging // International Journal of Electrical Engineering & Education, 2020 №1(22). P. 1-22 (in English).
- [12] Gubarev P.V., SHapshal A.S., Kurochkij A.S., Analiz rezul'tatov ispytanij teplovizionnogo kontrolya elektrovozov peremennogo toka [Analysis of Test Results of Thermal Imaging Control of AC Electric Locomotives] // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. [News of Tula State University. Technical Sciences], 2020 №7. P. 142-147 (in Russian).
- [13] Mamontov A.N., Pushnica K.A. Teplovizionnyj kontrol' reaktorov [Thermal Imaging Control of Reactors]. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova [Bulletin of V.G. Shukhov BSTU] 2019, №8 P. 145-151 (in Russian).
- [14] Mark L., Kristin D., Kathryn R. Experimental Studies of the Thermal Effects Associated with Radiation Force Imaging of Soft Tissue // Ultrasonic imaging, 2004, № 26. P. 100-114 (in English).

Concept of Creating an Integrated Automated Thermal Imaging Control System

D.V. Shvets^{*,1}, E.A. Abidova^{**2}, M.V. Kalashnikov^{**3}, P.V. Povarov^{**4}, E.V. Vorobev^{**5}

**«Rostov nuclear power plant» branch of Rosenergoatom Concern JSC, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

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

¹ORCID iD: 0000-0002-4651-9495

e-mail: svecdima6@gmail.com

²ORCID iD: 0000-0003-0258-5543

WoS Researcher ID: O-1870-2018

e-mail: e-abidova@mail.ru

³e-mail: ya.mkalashnikov@ya.ru

⁴e-mail: povarovp@yandex.ru

⁵e-mail: xpanr@ya.ru

Abstract – The scope of the research work is a complex of problems related to the processes of collecting and storing the results of thermographic control (TCE) used at nuclear power plants (AS) to assess the technical condition of equipment that directly affects safety. As a solution to eliminate existing problems, a comprehensive automated system for storing and analyzing the results of thermographic control of NPP equipment (CAS TVK) is being developed at the Research Institute of AEM VETI of the MEPhI Research Institute.

Keywords: Nuclear power plant, thermal imaging control, equipment, non-contact thermography, non-destructive testing method.

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

УДК 338.24 : 351.862.6 ; 377:332

**РАЗВИТИЕ ОТРАСЛЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ВУЗЕ КАК ФАКТОР
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ
ОТРАСЛИ**

© 2022 М.В. Головки *, А.А. Лапкис **, А.Н. Сетраков ***

* *Негосударственное аккредитованное некоммерческое частное образовательное учреждение высшего образования «Академия маркетинга и социально-информационных технологий – ИМСИТ»,*

Краснодар, Краснодарский край, Россия

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

*** *Волгодонский филиал ФГКОУ ВО «Ростовский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

В статье обосновано значение применения компетентностного подхода для подготовки кадров в соответствии с актуальными запросами реального сектора экономики. Приведен пример разработки и реализации системного подхода предприятиями Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» к формированию компетенции «Технологические системы энергетических объектов». Отмечено значение данной компетенции для обеспечения роста производительности, эффективности и безопасности эксплуатации атомных электростанций (АЭС). Вовлечение образовательных организаций, предприятий атомной отрасли и других заинтересованных сторон позволяет комплексно подойти к решению актуальной задачи развития востребованных навыков и умений будущих специалистов. Рассмотрены существенные особенности компетенции, а также план и мероприятия по ее популяризации, как в рамках предприятий, так и образовательных организаций на территории присутствия АЭС.

Ключевые слова: компетентностный подход, компетенции, атомная отрасль, Росатом, технологические системы энергетических объектов, АЭС, Skills, экономическая безопасность, образовательная организация.

Поступила в редакцию 27.12.2021

После доработки 14.02.2022

Принята к публикации 21.02.2022

Мейнстримом цифровой экономики является ускорение и изменение всех процессов. Современные ассиметричные кризисы выступают своеобразными триггерами организационных изменений, оказывая влияние на трансформацию подходов к управлению деятельностью предприятий и организаций. Неоднозначность последствий кризисов заключается в том, что помимо сложностей, они формируют дополнительные возможности развития, связанные с применением инструментов управления, более адаптивных к сложившимся условиям. Все успешные организации ориентируются на повышение эффективности деятельности, как за счет внедрения новых технологий, так и путем развития человеческого потенциала. Как следствие, этот тренд коснулся и сферы подготовки кадров, как в образовательных организациях, так и на корпоративном уровне.

Одним из наиболее острых вопросов современности, способных перейти в социально-экономическую проблему, является трансформация профессиональной структуры общества, приводящая к структурной безработице. В связи с этим необходимо поддерживать профессионализм кадров в актуальном состоянии,

обеспечивая их конкурентоспособность и способность к оптимизации деятельности предприятий, снижению себестоимости производимой продукции при должном уровне качества. С этой целью формируются различные алгоритмы, специализированные структуры, а также корректируется деятельность образовательных организаций. Так, в частности, создаются отраслевые центры компетенций (далее – ОЦК), основной задачей которых является обеспечение подготовки кадров в интересах определенных отраслей. В качестве примера приведем ОЦК Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (далее – Росатом), которые занимаются профессиональным развитием сотрудников Росатома, а также преподавателей и студентов опорных образовательных организаций, путем реализации интенсивных программ обучения конкретным навыкам, наиболее востребованных реальным производством.

Следует отметить, что данная стратегия развития кадрового потенциала согласуется в получившем активное развитие компетентностном подходе к образованию. Влиянию компетенций на экономические показатели организации посвящено множество исследований, проводимых такими известными учеными, как П. Каппелли, И. Кирцнер, К. Прахалад, Р. Бояцис, Л. Спенсер, Дж. МакКлелланд, С. Сангхи и другими. Исследования компетенций сотрудников связаны с работами Базаров Т.Ю., Ерофеев А.К., Шмелёв А.В., Овчинников А.В., Руденко В.А. и др. [1-12].

Сегодня внимание компетенциям актуализируется проблемами обеспечения экономической безопасности и эффективности инновационной деятельности предприятий. Компетентностный подход становится инструментом изменения навыков и умений сотрудников в направлении формирования способностей к внедрению новых технологий. Это, в свою очередь, приводит компании к росту рыночной капитализации, большей устойчивости в условиях конкуренции, независимости от конъюнктурных колебаний и, следовательно, повышению уровня экономической безопасности. Таким образом, кадровая составляющая экономической безопасности предопределяет возможности развития технико-технологической компоненты и приводит к положительной динамике всех финансово-экономических показателей.

Образовательные организации, осуществляющие подготовку кадров для реального сектора экономики, особенно для наиболее инновационных и стратегически важных для национального государства отраслей, таких, как атомная отрасль, должны ориентироваться на компетентностно ориентированное профессиональное образование как наиболее адаптивное требованиям современности. Своевременная реакция образования на запросы рынка позволит учесть новые требования, которые затрагивают не только требования к содержанию образования, но и к целям, результатам и педагогическим технологиям обучения. Таким образом, основной целью современного образования становится формирование у будущего специалиста соответствующих его профилю компетенций и соответствующая их трансформация на основе меняющихся условий и требований предприятий-работодателей.

Прежде всего, следует отметить, что существует четыре направления развития компетенций в стратегии Росатома:

– дети (предлагаются профессиональные проблемы, лекции, конкурсы, инженерные смены и чемпионаты для выявления и развития, наиболее востребованных навыков для предприятий атомной отрасли, проводимые совместно с инженерной элитой Росатома);

– студенты (проект, ориентированный на повышение уровня подготовки молодых кадров (студентов колледжей и вузов) на основе практикоориентированного подхода, участия в демонстрационных экзаменах, конкурсах профессионального мастерства по методике WorldSkills, формирования кадровых партнерств с вузами, организации стажировок на предприятиях отрасли и дальнейшего их привлечения к трудоустройству);

– сотрудники (в рамках разработанной и утвержденной корпоративной модели компетенций на основе разнообразных целей и задач сотрудников Росатома проводятся мероприятия по развитию семи компетенций – системное и стратегическое мышление, планирование и организация деятельности, работа в команде, ориентация на результат, лидерство, эффективная коммуникация, управление изменениями (инновационность);

– ветераны (это исключительный проект, который ориентирован на трансляцию накопленного опыта сотрудников старшего поколения путем их вовлечения в развитие системы подготовки кадров Росатома, например, путем участия в чемпионатах WorldSkills Hi-Tech «Навыки мудрых»; это позволяет не только оставаться ветеранам востребованными в профессии, но и сформировать им новые карьерные траектории, освоить новые компетенции на базе существующих навыков, а также дает возможность предприятиям атомной отрасли создавать новые рабочие места и виды занятости).

Развитие компетенций школьников и студентов является крайне актуальным направлением и предъявляет требования по формированию стратегии подготовки кадров в образовательных организациях в тесном сотрудничестве с предприятиями отрасли. Определенным преимуществом обладают территории размещения предприятий атомной отрасли с присутствием образовательных организаций, ведущих подготовку профильных специалистов для этих предприятий [13-14]. В этой ситуации формируются благоприятные возможности для организации сотрудничества предприятий и вуза в направлении подготовки кадров, основанные на:

- использовании производственных площадок для организации практик;
- вовлечение навыков и компетенций ведущих специалистов для обучения студентов, в т.ч. при подготовке к сдаче демонстрационных экзаменов с привлечением отраслевых экспертов;
- стажировки преподавателей вуза для обеспечения актуальности знаний и их дальнейшей трансляции студентам;
- организация экскурсий школьников на предприятия, работы онлайн-лабораторий и инженерных смен для повышения эффективности профориентационной работы.

Рассмотрим алгоритм формирования востребованной компетенции «Технологические системы энергетических объектов» (далее – ТСЭО) на примере подготовки кадров для предприятий Росатом в условиях образовательной организации, расположенной на территории присутствия атомной электростанции (АЭС) в г. Волгодонске – Волгодонского инженерно-технического института-филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (далее – ВИТИ НИЯУ МИФИ).

В рамках коммуникационного плана развития и популяризации компетенции ТСЭО электроэнергетическим дивизионом АО «Концерн Росэнергоатом» в 2021 г. были запланированы следующие мероприятия, в числе которых:

- проведение информационного вебинара о компетенции ТСЭО и соответствующей профессии для преподавателей и студентов профильных кафедр вузов-партнеров;
- участие в проведении семинаров для школьников о компетенции ТСЭО и соответствующей профессии;
- участие в Skills Day в городах присутствия действующих АЭС;
- освещение проведения демонстрационных экзаменов по компетенции ТСЭО в вузах-партнерах;
- проведение инженерных смен компетенции ТСЭО для школьников и пр.

В начале апреля 2021 г. в г. Удомля прошла первая инженерная смена по компетенции ТСЭО, в которой участвовали школьники города. В рамках занятий смены участники придумали и обосновали работу на тему «Альтернативные источники электроснабжения АЭС в условиях отказа резервных источников энергоснабжения», которую оценивали участники чемпионатного движения REASkills-2021. В октябре

2021 г. в г. Волгодонске прошла Инженерная смена «Юниоры AtomSkills», организаторами которой выступили ВИТИ НИЯУ МИФИ, Корпоративная Академия Росатома, АО «Концерн Росэнергоатом» и станция юных техников г. Волгодонска. В рамках инженерной смены были реализованы следующие направления активности, соответствующие актуальным компетенциям: «Технологические системы энергетических объектов», «Инженерное мышление. Каракури», «Web-дизайн и разработка», «3D моделирование и прототипирование». Далее рассмотрим подробнее сущность и значение компетенции ТСЭО для обеспечения безопасности деятельности предприятий атомной отрасли.

Значение отраслевой компетенции ТСЭО в том, что от уровня знаний и навыков специалистов в этой сфере напрямую зависят производительность, эффективность и безопасность эксплуатации АЭС АО «Концерн Росэнергоатом», являющихся самыми чистыми и надежными источниками энергии. Росатом объединяет свыше 300 предприятий, оснащенных различными технологическими системами. Эксплуатацией, ремонтом и модернизацией всех этих объектов занимаются десятки тысяч специалистов различных профессий, объединенных компетенцией ТСЭО. Компетенция относится к инженерному блоку и охватывает вопросы проектирования и эксплуатации технологических систем. Под технологической системой подразумевается:

- по ГОСТ 27.004 «Совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций»;

- в атомной отрасли под этим подразумевается комплекс тепломеханического оборудования, предназначенный для сбора, разделения, смешения, транспортировки, нагрева, охлаждения, очистки и других операций с рабочими средами энергетических установок, включая оснащение оборудования трубопроводами, арматурой, средствами измерений и автоматики.

Кроме того, в компетенцию входят и теплогидравлические расчёты, и численное моделирование поведения технологических систем, и вопросы безопасности жизнедеятельности при эксплуатации тепломеханического оборудования.

Специалисты занимаются решением комплексных инженерных задач при проектировании, вводе в эксплуатацию и эксплуатации основного и вспомогательного оборудования атомных и тепловых энергетических установок, включая:

- емкостное и баковое оборудование;
- теплообменное оборудование;
- турбинное оборудование;
- все виды нагнетателей, включая насосы, компрессоры и газодувки;
- трубопроводную арматуру;
- трубопроводы с опорно-подвесными системами;
- средства измерений и автоматизации.

К конкретным задачам специалистов компетенции относятся:

- анализ проектной документации по технологическим системам и оборудованию;

- разработка схем технологических систем, подбор для них оборудование, средства измерений и автоматизации;

- разработка эксплуатационных документов типа рабочих программ, инструкций, бланков переключений, то есть составление безопасных пошаговых алгоритмов ввода в работу, эксплуатации и вывода из работы технологических систем;

- планирование ремонта и разработка технологии ремонта систем и оборудования;

- непосредственная эксплуатация оборудования.

Специалисты компетенции ТСЭО должен в части личностных качеств:

- быть разносторонним, иметь системное мышление, видеть взаимосвязи;
- владеть логическим, алгоритмичным мышлением;
- иметь трёхмерное воображение.

В части общетехнической подготовки:

- владеть основами термодинамики, теплотехники, гидравлики;
- хорошо представлять устройство средств автоматики и контрольно-измерительных приборов;
- владеть основами численного моделирования теплофизических процессов.

В части специальных знаний и умений:

- знать конструкции и принцип действия основного тепломеханического оборудования – насосов, арматуры, теплообменников;
- отлично знать технологию своего предприятия – атомной или тепловой станции, химического или другого производства. Для АЭС это означает знание основного оборудования и систем турбинной и реакторной установок, систем спецводоочистки;
- уметь читать схемы - как тепловые и гидравлические, так и схемы, и проекты автоматизации.

К цифровым составляющим компетенции относятся требования:

- быть уверенным пользователем компьютера;
- владеть офисными программами и системами автоматизированного проектирования (САПР).

На атомных станциях к персоналу ТСЭО относится инженерно-технический и оперативный персонал. В основных цехах АЭС – реакторных, турбинных, химических, цехах тепловой автоматики и измерений – работают инженеры-технологи по ремонту и эксплуатации. Непосредственно на оборудовании работает оперативная смена станции, начиная от рядовых обходчиков и операторов. К оперативным специалистам ТСЭО относится и техническая элита станции – ведущие инженеры по управлению реактором и турбиной, начальники смен реакторного и турбинного цеха, начальники смен блоков и всей АЭС.

В проектных организациях инженеры-технологи и расчётчики разрабатывают и рассчитывают тепловые схемы, выбирают и компонуют оборудование, трассируют трубопроводы, анализируют режимы работы систем и выполняют множество других работ для обеспечения безопасности строящихся АЭС.

Подготовка специалиста ТСЭО традиционно ведётся в технических вузах по таким специальностям и направлениям, как:

- «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;
- «Ядерная энергетика и теплофизика»;
- «Ядерные реакторы и материалы»;
- «Теплоэнергетика и теплотехника» и ряд других.

Одной из основных проблем подготовки персонала ТСЭО являются слабые возможности готовить новых специалистов на реальном оборудовании и реальных задачах отрасли. Поэтому актуальным становится внедрение в подготовку персонала методики WorldSkills (далее – WS).

Для практической подготовки специалиста ТСЭО методика WS подразумевает выполнение объективно оцениваемых заданий с независимой внешней оценкой в форматах:

- практических заданий и тренировок;
- демонстрационного экзамена;
- чемпионатов профессионального мастерства различного уровня.

Таким образом, обучаемый получает возможность поставить себя на место инженера проектной организации или электростанции и выполнить несколько его задач. При этом составители задания и эксперты – это работники атомной отрасли. Задания по методике WS максимально приближены к реальным задачам инженера отрасли и по возможности основаны на реальных практиках проектирования и эксплуатации АЭС.

Типичные задачи по компетенции ТСЭО - это:

- проектирование технологической системы по описанию;
- поиск и исправление ошибок в технологической схеме;
- составление пошаговой инструкции по выполнению переходов/пуска/испытания/вывода из эксплуатации системы.

На чемпионатах AtomSkills, REASkills встречаются также модули:

- составление календарно-сетевых графиков ремонта системы;
- моделирование системы и создание алгоритмов автоматики в среде Simintech.

При подготовке по компетенции ТСЭО обучаемые должны изучить технологические системы действующих АЭС – по воде, пару, маслу, газам, натрию. Это должны быть системы различных типов – системы охлаждения, очистки, хранения, системы сбора и распределения сред, системы подогрева и т.д. Перед выполнением задания высокой сложности обучаемый должен изучить в теории, как включаются в технологические системы теплообменники и насосы, какими средствами измерений они оснащаются, как заполняют и опорожняют системы, как вводят в работу и выводят в резерв насосы, вентиляторы, фильтры и теплообменники.

Разработанное задание должно быть снабжено разработанным эталоном выполнения, необходимым для оценивания обучаемых. Для разбора ошибок при выполнении полезно составить пошаговый учебный материал, описывающий поэтапное выполнение задания. Например, для проектирования или модернизации технологической системы – это ряд схем, на которых постепенно появляются основное и вспомогательное оборудования, трубопроводная арматура, контрольно-измерительные приборы и маркировки оборудования.

Рассмотренный алгоритм формирования компетенции и используемые критерии уровня ее достижения показывают ее значение для безопасного функционирования энергетических объектов. Деятельность по развитию компетенции ТСЭО АО «Концерн Росэнергоатом» носит стратегический характер, что проявляется в направлениях вовлечения потенциальных носителей знаний и умений и выборе релевантных инструментов их формирования путем рационального сочетания теории и практики. Для крупных, потенциально опасных промышленных объектов, к которым относятся предприятия электроэнергетического дивизиона Росатома, особое значение имеет технологическая компонента экономической безопасности – безопасность эксплуатации технических объектов, отвечающая за устойчивость и надежность работы, минимизацию рисков отказа. Специфика хозяйственной деятельности предприятий АО «Концерн Росэнергоатом» такова, что риски ядерной, технической, радиационной и пожарной безопасности, а также физической защиты АЭС доминируют среди угроз экономической безопасности [15, 16]. В результате участия в реализации коммуникационного плана АО «Концерн Росэнергоатом» по развитию и популяризации компетенции ТСЭО образовательных организаций, последние формируют комплект учебных материалов, актуализированных в соответствии с потребностями реального производства. Это позволяет совершенствовать учебно-методическое обеспечение, как соответствующих дисциплин, так и образовательных программ в целом, развивать навыки и компетенции не только обучающихся, но и профессорско-преподавательского состава. Сформированный на основе подобного системного подхода высокий уровень компетенций в сфере эксплуатации технологических систем энергетических объектов позволит минимизировать

негативное воздействие факторов производственного риска (т.е. риска уменьшения объемов генерации электроэнергии), связанного с отказами в работе оборудования, нарушениями, вызывающими незапланированные остановы, разгрузки, ремонт по причине ухудшения технического состояния АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cappelli P. Crocker-hefter A. Distinctive human resources are firm's core competencies // *Organizational dynamics*. - N. Y., 1996. Vol. 24, n 3. P. 7-22
2. *Кирцнер, И.* Конкуренция и предпринимательство. – Челябинск : Социум, 2010.
3. *Прахалад, К.К.* Ключевая компетенция корпорации / К.К. Прахалад, Г. Хамел // *Вестник СПбГУ*. – 2008. – Сер. 8, вып. 3(24). – С. 18-41.
4. Boyatzis, R. E. The competent manager / R. E. Boyatzis. – New York : John Wiley & Sons, inc., 1982. – 308 p.
5. McClelland, D.C.. Testing for competence rather than for intelligence // *American Psychologist*. – 1973. - № 28. – p. 1-14.
6. Spencer, L.M., Spencer, S.M. (1993). *Competence at Work: Models for Superior Performance*, John Wiley & Sons, Inc.
7. McClelland, D. C. Testing for competencies rather than for intelligence / D. C. McClelland // *American Psychologist*. – 1973. – № 28. – P. 1–14.
8. Sanghi, S. *The handbook of Competency mapping* / S. Sanghi. – New Delhi : Jossey-Bass, 2007. – 228 p.
9. Prahalad, C. K. Core Competence of the Corporation / C. K. Prahalad, G. Hamel // *Harvard Business Review*. 1990. Vol.5. P.1-15.
10. *Базаров, Т.Ю.* Коллективное определение понятия «компетенции»: попытка извлечения смысловых тенденций из размытого экспертного знания / Т.Ю. Базаров, А.К. Ерофеев, А.Г. Шмелёв // *Вестник Московского Университета*. – 2014. – Серия 14. Психология. – № 1. – С. 87-102.
11. *Овчинников, А.В.* Универсальная модель профессиональных компетенций / А.В. Овчинников // *Науковедение*. – 2014. – № 4(23). – URL : <http://naukovedenie.ru/PDF/100EVN414.pdf>.
12. *Овчинников, А.В.* Корпоративное образование: предел риска / А.В. Овчинников // *Корпоративные университеты*. – 2014. – Вып. 49. – С. 18-24.
13. *Руденко, В.А.* Факторы и вектор стратегического развития вуза в контексте реализации инновационного потенциала региона / В.А. Руденко, С.П. Агапова, С.А. Томилин, И.А. Ухалина, О.Ф. Цуверкалова, М.В. Головкин, Н.А. Ефименко // *Современное образование*. – 2017. – № 1. – С. 19-31.
14. *Руденко В.А.* Синхронизация задач отраслевых вузов со стратегией развития ГК «Росатом» как фактор обеспечения безопасности атомной энергетики / В.А. Руденко, М.В. Головкин, С.А. Томилин, О.Ф. Цуверкалова // *Глобальная ядерная безопасность*. – 2020. – № 1. – С. 98-106.
15. *Жаворонкова, Н.Г.* Энергетическая безопасность в системе национальной безопасности России / Н.Г. Жаворонкова, Ю.Г. Шпаковский // *Право и безопасность*. – 2012. – № 2. – С. 71-76.
16. *Максимов, А.А.* Классификация рисков АО «Концерн Росэнергоатом» / А.А. Максимов // *Общество: политика, экономика, право*. – 2017. – № 1. – URL : http://domhors.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/pep/2017/1/economics/maksimov.pdf.

REFERENCES

- [1] Cappelli P. Crocker-hefter A. Distinctive Human Resources are Firm's Core Competencies // *Organizational dynamics*. - N. Y., 1996. Vol. 24, No. 3. P. 7-22 (in English).
- [2] Kircner, I. Konkurenciya i predprinimatel'stvo [Competition and Entrepreneurship]. Chelyabinsk: Socium, 2010 (in Russian).
- [3] Prahalad, K.K. Klyuchevaya kompetenciya korporacii [The Core Competence of the Corporation]. *Vestnik SPbGU* [SPbSU Bulletin], 2008. - Ser. 8, issue 3(24), pp. 18-41. (in Russian).
- [4] Boyatzis, R. E. The Competent Manager / R. E. Boyatzis. – New York : John Wiley & Sons, inc., 1982. – 308 p. (in English).
- [5] McClelland, D.C. Testing for Competence Rather than for Intelligence // *American Psychologist*. – 1973. - № 28. P. 1-14 (in English).
- [6] Spencer, L.M., Spencer, S.M. (1993). *Competence at Work: Models for Superior Performance*, John Wiley & Sons, Inc. (in English).
- [7] McClelland, D. C. Testing for Competencies Rather than for Intelligence / D. C. McClelland // *American Psychologist*. – 1973. – № 28. – P. 1–14 (in English).
- [8] Sanghi, S. *The handbook of Competency mapping* / S. Sanghi. – New Delhi : Jossey-Bass, 2007. – 228 p. (in English).

- [9] Prahalad, C. K. Core Competence of the Corporation / C. K. Prahalad, G. Hamel // Harvard Business Review. 1990. Vol.5. P.1-15 (in English).
- [10] Bazarov, T.YU. Kollektivnoe opredelenie ponyatiya «kompetencii»: popytka izvlecheniya smyslovyh tendencij iz razmytogo ekspertnogo znaniya [Collective Definition of Competence: Attempt to Extract Meaningful Trends from Fuzzy Expert Knowledge]. Vestnik Moskovskogo Universiteta. 2014. – Seriya 14. Psihologiya [Moscow University Bulletin, 2014. - Series 14. Psychology]. № 1. P. 87-102 (in Russian).
- [11] Ovchinnikov, A.V. Universal'naya model' professional'nyh kompetencij [Universal Model of Professional Competences] – Naukovedenie [Science Communication]. – 2014. – № 4(23). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/100EVN414.pdf>. (in Russian).
- [12] Ovchinnikov, A.V. Korporativnoe obrazovanie: predel riska [Corporate Education: The Limit of Risk] Korporativnye universitety [Corporate Universities] – 2014. – Issue 49. – P. 18-24 (in Russian).
- [13] Rudenko, V.A. Faktory i vektor strategicheskogo razvitiya vuza v kontekste realizacii innovacionnogo potenciala regiona [Factors and Vector of University Strategic Development in the Context of Realising the Region's Innovation Potential] // Sovremennoe obrazovanie [Modern Education]. 2017. – № 1. P. 19-31 (in Russian).
- [14] Rudenko V.A. Sinhronizaciya zadach otraslevykh vuzov so strategiej razvitiya GK «Rosatom» kak faktor obespecheniya bezopasnosti atomnoj energetiki [Synchronisation of Industry-Specific University Tasks with Rosatom Development Strategy as a Factor of Nuclear Power Safety] // Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2020. – № 1. P. 98-106 (in Russian).
- [15] ZHavoronkova, N.G. Energeticheskaya bezopasnost' v sisteme nacional'noj bezopasnosti Rossii [Energy Safety in Russia National Security System]. Pravo i bezopasnost' [Law and Safety]. 2012. – № 2. – P. 71-76 (in Russian).
- [16] Maksimov, A.A. Klassifikaciya riskov AO «Koncern Rosenergoatom» [Risk Classification of JSC Concern Rosenergoatom]. 2017. – № 1. – URL: http://domhors.ru/rus/files/arhiv_zhurnal/pep/2017/1/economics/maksimov.pdf (in Russian).

Developing Industry Competences in Higher Education as a Factor in Ensuring Safety of Nuclear Industry Enterprises

M.V. Golovko^{*}, A.A. Lapkis^{}, A.N. Setrakov^{***}**

^{}Non-state accredited non-profit private educational institution of higher education "Academy of Marketing and Social Information Technologies - IMSIT", Krasnodar, Russia*

*^{**}Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russia*

*^{***}Volgodonsk Branch of The Federal State State Educational Institution of Higher Education «Rostov Law Institute of Internal Affairs Ministry of Russian Federation», Stepnaya St., 40, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ORCID iD: 0000-0002-4835-9800

WoS Researcher ID: J-2461-2016

e-mail: golovko178@mail.ru

²ORCID ID: 0000-0002-9431-7046

e-mail: AALapkis@mephi.ru

³ORCID iD: 0000-0001-5599-440X

WoS Researcher ID: AAP-73782020

e-mail: aleksandr-maior@inbox.ru

Abstract – The article justifies the importance of applying the competency-based approach for personnel training in accordance with the current demands of the real economy sector. An example of the development and implementation of the system approach by enterprises of the State Atomic Energy Corporation "Rosatom" to form the competence "Technological systems of power facilities" is given. The importance of this competence of ensuring the growth of productivity, efficiency and safety of nuclear power plants (NPPs) operation was noted. Involvement of educational organizations, enterprises of nuclear industry and other interested parties allows to approach comprehensively to the solution of an actual problem of development of in-demand skills and abilities of future specialists. The essence features of the competence are considered, as well as the plan and measures for its popularization both within enterprises and educational organizations in the territory of NPP presence.

Keywords: competency-based approach, competencies, nuclear industry, Rosatom, technological systems of energy facilities, NPP, Skills, economic security, educational organisation.

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

УДК [331.108 : 331.5] : 621.039.58

**НЕЗАВИСИМАЯ ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ БУДУЩИХ
СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КАК
ФАКТОР БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ**

© 2022 В.А. Руденко, Н.Ф. Привалова

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

В работе рассматривается отраслевая система оценки профессиональных квалификаций в сфере атомной энергии, её структурные компоненты, раскрываются основные задачи и направления деятельности по её совершенствованию и развитию. Раскрывается актуальность независимой оценки квалификаций будущих инженерных кадров, профильных для атомной энергетики на этапе завершения обучения в высшей школе.

Ключевые слова: отраслевая система профессиональных квалификаций, независимая оценка квалификаций, профессиональный стандарт, рынок труда, профессиональное образование.

Поступила в редакцию 22.02.2022
После доработки 05.03.2022
Принята к публикации 10.03.2022

Существенная роль в создании современной экономики инновационного типа в Российской Федерации отводится атомной отрасли, как высокотехнологичной, имеющей стратегическое значение для развития национальной безопасности в сфере экономической деятельности. Для этого необходимо наличие квалифицированных кадров, отвечающих текущим и стратегическим потребностям экономики.

Подготовка кадров должна опережать реализацию программ разработки и развития технологий, строительство ядерных объектов и ввода их в эксплуатацию. Ввод атомных электростанций и других ядерных объектов опасен без тщательной проработки и реализации кадровой политики.

Высокие требования к обеспечению безопасной эксплуатации объектов атомной отрасли ставят перед структурами, ответственными за кадровое обеспечение, включая образовательные организации, задачи повышения профессионального уровня персонала, в том числе, через оценку и подтверждение профессиональных квалификаций действующих работников и молодых специалистов – выпускников образовательных организаций. Эта работа должна носить системный характер и обеспечивать опережающее развитие кадровых ресурсов.

Основой для приобретения профессиональной квалификации, развития уровня компетентности и формирования специального профессионального знания является именно образование. При этом, независимая оценка профессиональных квалификаций выступает одной из форм выявления степени готовности выпускника выполнять новые для него профессиональные функции, отвечающие перспективным требованиям экономической деятельности.

В связи с этим актуализируется необходимость изучения и внедрения в практику образовательных организаций, профильных для атомной отрасли, деятельности,

связанной с независимой оценкой квалификации выпускников, завершающих обучение по программам среднего профессионального и высшего образования.

Актуальность организации работы по развитию системы профессиональных квалификаций подтверждается и тем, что в настоящее время большинство развитых стран мира в той или иной степени принимают участие в разработке и внедрении таких систем. Независимо от основного направления прилагаемых усилий, государственные органы часто обращаются к системам квалификационных стандартов как к инструменту экономических и политических реформ.

Всё это и определило рассмотрение отраслевой системы профессиональных квалификаций в сфере атомной энергии в качестве предмета исследования.

Целью исследования стал анализ предпосылок создания и развития различных практик и форм оценки квалификаций, реализуемых организациями среднего профессионального и высшего образования, конфигурация связей ее участников, которые максимально обеспечивают сопряженность результатов образования (компетенций) с изменениями потребностей сферы труда и учитывают результаты всех форм и уровней образования.

Анализ научно-педагогической литературы и результатов деятельности молодых специалистов – выпускников среднего профессионального и высшего образования позволил выделить ряд возможных предпосылок создания и развития независимой оценки квалификаций, среди которых следующие:

- подготовка кадров в высшей школе отстает от темпов инновационных преобразований на современном рынке труда, диплом перестает быть мерилем качества подготовки специалистов, ощущается разрыв между системой подготовки профессиональных кадров и рынком труда;

- недостаточный уровень практической подготовки и практической применимости полученных выпускником знаний;

- трансформация рынка труда, переход от рынка резюме к рынку квалификаций;

- трудности предприятий, организаций в создание внутренней процедуры независимой оценки сотрудников;

- высокий уровень квалификации и ответственность людей, работающих на предприятиях атомной отрасли, где вырабатывается и используется атомная энергия, рассматриваются как фундаментальные компоненты культуры безопасности.

Культура Безопасности – мощный ресурс повышения безопасности в атомной отрасли. При этом Безопасность понимается как такое состояние эргатической системы, при котором воздействие внешних или внутренних факторов не может привести к серьезному ущербу или остановке реализации Проекта. Профессиональная деятельность рассматривается как внутренний, человеческий фактор, определяющий безопасность [1].

Вопросы сопряженности результатов обучения с потребностями сферы труда находятся в фокусе внимания Российского и международного научного сообщества [2].

Сравнивая ситуацию в разных странах по вопросу внедрения национальных квалификационных рамок, можно отметить, что исследователи сходятся во мнении относительно важности их внедрения. Отметим, что, для того чтобы процесс интеграции квалификационных рамок не был данью уважения к моде, а реально улучшал качество образования, необходимо четкое понимание специфики рынка труда и профессиональной подготовки в условиях конкретной страны [2] и конкретной отрасли экономики.

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что в наибольшей степени современным запросам рынка труда отвечают такие конфигурации связей, которые представлены в рамках программы WorldSkills. Это подтверждается результатами научных исследований, проведенных в Высшей школе экономики и представленных в научных публикациях Ф. Дудырева, И. Фрумина, В. Мальцевой, где

рассматривается перспективность методологии объективной оценки формирования образовательных результатов на опыте Австралии, Великобритании, Нидерландов. Анализируя потенциал методологии WorldSkills, исследователи из Высшей школы экономики акцентируют необходимость интеграции инструментов объективной оценки результатов образования в национальные системы профессионального образования [2].

Формат WorldSkills имеет и другие преимущества. Так в публикациях Кичеровой М. Н., Семёнова М. Ю., Зюбан Е. В. на основе анализа результатов зарубежных исследований показано, что подготовка и участие в международном конкурсе WorldSkills обеспечивают максимальное развитие человеческого капитала, а гибкость, вариативность, высокая скорость обновления требований к квалификациям значительно сокращают разрыв между образовательными результатами и потребностями сферы труда [2].

Активно внедряется механизм демонстрационного экзамена как выпускного по стандартам WorldSkills. Демонстрационный экзамен представляет собой моделирование производственной ситуации и дает возможность выпускнику показать степень освоения программ не в искусственных условиях, а в реальных. Преимущества такой проверки очевидны: выпускник не просто сдаёт итоговый экзамен, он подтверждает квалификацию в соответствии с международными стандартами.

Демонстрационный экзамен может служить в качестве критерия оценивания компетентности студента, способом мониторинга качества образовательной программы вуза и основанием для адаптации разработанных в рамках ООП рабочих программ к требованиям реального рынка. Проводиться демонстрационный экзамен должен с привлечением экспертов центра независимой оценки квалификаций.

Демонстрационный экзамен по стандартам WorldSkills как форма государственной итоговой аттестации выпускников по программам среднего профессионального образования предусматривает [3]:

- моделирование реальных производственных условий для демонстрации выпускниками профессиональных умений и навыков;
- независимую экспертную оценку выполнения заданий демонстрационного экзамена, в том числе, экспертами из числа представителей предприятий;
- определение уровня знаний, умений и навыков выпускников в соответствии с международными требованиями.

Включение формата демонстрационного экзамена в процедуру государственной итоговой аттестации обучающихся профессиональных образовательных организаций можно рассматривать как модель независимой оценки качества подготовки кадров, содействующая решению нескольких задач системы профессионального образования и рынка труда без проведения дополнительных процедур.

Демонстрационный экзамен повышает мотивацию обучающихся и работников, так как меняются подходы в организации обучения, осуществляется переход к самостоятельному обучению на рабочем месте при сопровождении квалифицированных преподавателей и ведущих специалистов предприятий. Сотрудничество с организациями помогает образовательным организациям уточнить требования к результатам обучения, определяемых федеральными государственными образовательными стандартами, обновить образовательные программы для организации процесса обучения и практической подготовки при проведении производственной практики на базе профильных организаций [3].

Необходимо заметить, что по завершению обучения выпускники Российских вузов получают диплом с присвоением соответствующей квалификации. Однако в части практических навыков выполнения трудовых функций и трудовых действий, определенных профессиональными стандартами, выпускники, в основном, не соответствуют квалификационным требованиям [4].

В рамках устранения имеющегося противоречия принят Федеральный закон от 03.07.2016 № 238-ФЗ «О независимой оценке квалификаций» [5], нормативно-правовые акты, устанавливающие особенности применения профессиональных стандартов [6], правила проведения центром оценки квалификаций независимой оценки квалификаций в форме профессионального экзамена [7].

Определена сущность независимой оценки квалификаций как процедуры «подтверждения соответствия квалификации соискателя положениям профессионального стандарта или квалификационным требованиям, установленным федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации...» [5].

В целях развития и координации системы профессиональных квалификаций в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 16 апреля 2014 года № 249 создан и действует по настоящее время Национальный совет при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям.

Основными участниками системы независимой оценки квалификации являются [8]:

- Национальный совет при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям;
- Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации;
- Национальное агентство развития квалификаций;
- исполнительные органы;
- советы по профессиональным квалификациям,
- центры оценки квалификаций;
- пользователи;
- работодатели,
- соискатели.

Организационную, методическую, экспертно-аналитическую поддержку деятельности Национального совета, СПК, ЦОК осуществляет Национальное агентство. Ключевыми органами управления и развития национальной системы квалификаций на отраслевом уровне являются Советы по профессиональным квалификациям (далее-СПК) [9]. В 2015 г. создан Совет по профессиональным квалификациям в сфере атомной энергии (СПК АЭ), который наделен полномочиями организовывать и проводить оценку профессиональных квалификаций.

Основные полномочия СПК:

- мониторинг рынка труда, обеспечение его потребностей в квалификациях и профессиональном образовании;
- разработка и актуализация профессиональных стандартов и квалификационных требований;
- организация независимой оценки квалификаций по видам деятельности в отрасли.

Независимая оценка квалификации позволяет работодателю подтвердить, что профессиональные знания и умения работников соответствуют требованиям профессионального стандарта, выявить реальный уровень профессиональных знаний, умений, навыков, компетенций, определить которые из них требуют развития, квалификационные недостатки, которые необходимо устранить. Результаты независимой оценки могут стать основой для разработки плана переподготовки или повышения квалификации работников.

С 2018 г. Национальное агентство развития квалификаций реализует проект «Профессиональный экзамен для студентов». Проект реализуется с участием отраслевых советов по профессиональным квалификациям и субъектов Российской Федерации. Проект подтверждает преимущества сопряжения промежуточной

государственной итоговой аттестации и независимой оценки квалификации для всех участников – выпускников, работодателей, образовательных организаций [9].

Образовательные организации и органы управления образованием, вошедшие в проект, получили «обратную связь», которая необходима для последующей работы. Анализ результатов профессиональных экзаменов позволил выявить, в каком направлении необходимо совершенствовать содержание образовательных программ, используемых методов и технологий обучения для улучшения качества подготовки кадров [9].

Совмещение двух процедур работодателям позволило разработать свой заказ системе образования через требования к результатам подготовки студентов, сократить затраты на оценку и адаптацию персонала [9].

В ходе реализации проекта отработаны информационные, организационно-методические и финансовые механизмы, определены условия перехода к массовому применению независимой оценки квалификации для аттестации обучающихся по программам СПО и профессионального обучения [8].

Анализ материалов публикаций, семинаров, конференций, круглых столов позволил определить место и роль высшей школы, осуществляющей подготовку кадров для атомной отрасли, в становлении и развитии системы независимой оценки квалификаций как фактора безопасности атомных станций:

- Предоставление помещений и инфраструктуры в качестве площадок для независимой оценки квалификаций;

- Создание на площадках образовательных организаций высшего образования экспертных центров;

- Ознакомление студентов с профессиональными стандартами, подготовка их к независимой оценке квалификаций;

- Формирование у обучающихся культуры безопасности как ресурса повышения уровня квалификации будущих специалистов;

- Разработка оценочных средств и комплектов оценочных средств для проведения независимой оценки квалификаций;

- Взаимодействие и интеграция с профессиональными сообществами, советами по профессиональным квалификациям, центрами оценки квалификаций, отраслевыми кластерами с целью актуализации моделей компетенций;

- Совершенствование процесса проектирования основных образовательных программ, их профессионально-общественной аккредитации, обеспечение гарантий качества образования.

В 2020 г. завершен пилотный этап проекта «Профессиональный экзамен для студентов» [8].

В настоящее время происходит переосмысление роли и функции процессов оценки квалификаций. При переходе к постиндустриальному обществу знаний актуализируется потребность в реализации независимой оценки квалификаций, которая строится на основе квалификационной рамки – структурированного распределения по уровням и видам профессиональной деятельности, позволяющего оценивать интегрированный опыт, полученный в ходе образования и обучения на рабочем месте [2].

В 2020 г. Национальное агентство развития квалификаций совместно с заинтересованными СПК разработало модель централизованного проведения теоретической части профессиональных экзаменов с применением цифровых технологий и провело ее пилотную апробацию. Целью Модели является предоставление гражданам и работодателям доступных сервисов для подтверждения квалификаций, востребованных на рынке труда, на основе применения цифровых технологий [8].

В целях дальнейшего развития национальной системы квалификаций и системы независимой оценки квалификации в 2020 г. был подготовлен проект «Стратегия развития национальной системы квалификаций в Российской Федерации на период до 2030 г.». Стратегия призвана способствовать достижению национальных целей и реализации стратегических национальных приоритетов, определенных в Указе Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», а также документах стратегического планирования в сферах научно-технологического, социально-экономического и информационного развития, обеспечения национальной безопасности, региональной и миграционной политики. Проектом Стратегии определены приоритеты развития национальной системы квалификаций Российской Федерации в среднесрочной перспективе [10].

Волгодонский инженерно-технический институт – единственный ВУЗ на юге России, осуществляющий практико-ориентированную подготовку специалистов в области ядерной энергетики, соответствующую запросам дивизионов Государственной корпорации «Росатом», с которыми в процессе деятельности в области подготовки специалистов достигнута тесная интеграция. Обеспечена консолидация ресурсов предприятий и вуза (кадровый потенциал, полномасштабное оборудование, производственные площадки, тренажеры отраслевых промышленных предприятий) для дуального обучения специалистов, реализации индивидуальных образовательных траекторий, отвечающих потребностям работодателей, повышающих уровень квалификации выпускников.

В рамках участия в международных образовательных программах Волгодонский инженерно-технический институт осуществляет внедрение в программу подготовки студентов профессиональных стандартов, лучших международных практик WorldSkills.

Студенты вуза и техникума Волгодонского инженерно-технического института ежегодно являются участниками, призерами и победителями межвузовских чемпионатов WorldSkills, дивизиональных и отраслевых чемпионатов Государственной корпорации «Росатом» ReaSkills и AtomSkills.

ВИТИ НИЯУ МИФИ имеет статус аккредитованного центра по стандартам WorldSkills Russia по трем компетенциям: «Сварочные технологии», «Веб-дизайн и разработка», «Электромонтаж», выступает площадкой для проведения Внутривузовского отборочного и Межвузовского чемпионата по стандартам WorldSkills.

В рамках развития движения WorldSkills сотрудники ВИТИ НИЯУ МИФИ прошли обучение в Академии WS и получили свидетельство на право проведения чемпионатов по стандартам WorldSkills в регионе по компетенциям «Веб-дизайн и разработка», «Электромонтаж», «Сварочные технологии», а также на право оценки демонстрационного экзамена по стандартам WorldSkills.

ВИТИ НИЯУ МИФИ – единственный ВУЗ в Ростовской области, на базе которого в 2017г. в рамках пилотной апробации и заключенного трехстороннего соглашения между Государственной корпорации «Росатом», Союзом «WorldSkills Russia», НИЯУ МИФИ были проведены демонстрационные экзамены по компетенциям «Сварочные технологии» и «Электромонтаж».

Демонстрационный экзамен проводился по заданиям, разработанным экспертным сообществом на основе заданий Финала Национального чемпионата «Молодые профессионалы» 2016 г., с сохранением уровня сложности. В качестве экспертов по оценке результатов демонстрационных экзаменов выступали представители предприятий-работодателей: филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, АО «Атомэнергоремонт «Волгодонскатомэнергоремонт».

Выпускники, сдавшие экзамен, внесены в реестр потенциальных кадров с перспективой трудоустройства на предприятия Госкорпорация «Росатом», что, несомненно, является фактором повышающим статус института на рынке образовательных услуг.

Для выполнения практической части профессиональных модулей, организации учебной практики, подготовки и проведения демонстрационных экзаменов в институте созданы лаборатории и мастерские, оснащенные специальным оборудованием, в соответствии с требованиями не только современного производства, но и международных чемпионатов по рабочим профессиям по методикам WorldSkills. На базе мастерских организована учебная практика студентов, обучающихся по программам среднего профессионального и высшего образования, подготовка и проведение квалификационных экзаменов по рабочим профессиям и демонстрационных экзаменов в рамках ГИА.

Институт ведет работу по внедрению системы независимой оценки квалификации и сертификации выпускников. Динамика прохождения процесса независимой оценки квалификации выпускниками института в период с 2019 по 2022 год представлена на рисунке 1.

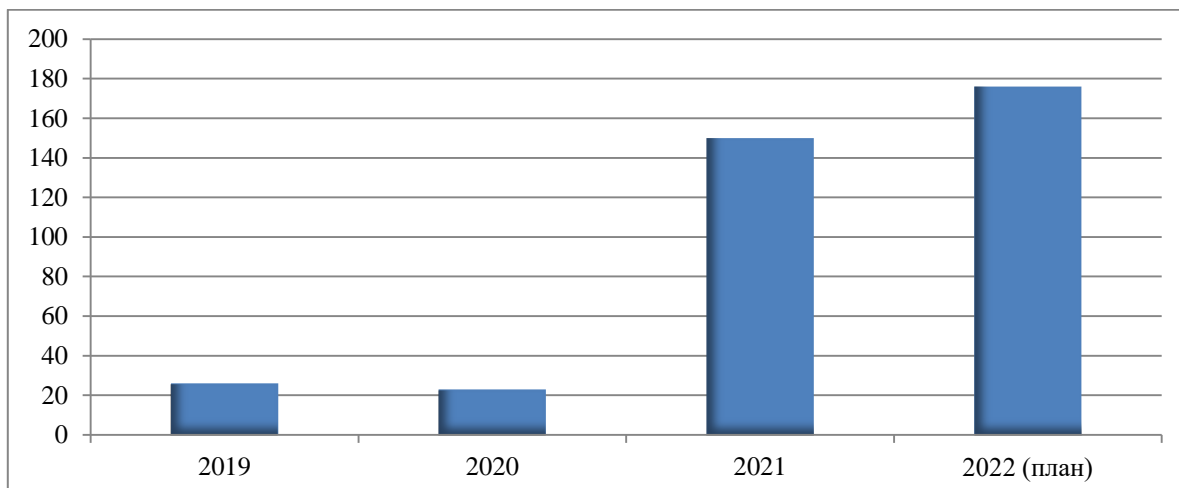


Рисунок 1 – Динамика прохождения процесса независимой оценки квалификаций и сертификации выпускников ВИТИ НИЯУ МИФИ [Dynamics of the process of independent qualification assessment and certification of VETI NRNU MPhI graduates]

ВИТИ НИЯУ МИФИ – отраслевой вуз, соответственно и независимая оценка квалификаций и сертификация выпускников осуществляется по определяемым профессиональными стандартами в атомной промышленности квалификациям, востребованным, прежде всего, на рынке труда предприятиями атомной отрасли. В таблице 1 представлен перечень и уровень квалификаций, по которым выпускники ВИТИ НИЯУ МИФИ проходили независимую оценку и сертификацию.

Таблица 1 – Перечень и уровень квалификаций, по которым выпускники ВИТИ НИЯУ МИФИ проходили независимую оценку и сертификацию [List and level of qualifications for which graduates of VETI NRNU MPhI have undergone independent assessment and certification]

№ п/п	Код квалификации	Наименование квалификации	Уровень квалификации
1.	24.08900.01	Инженер по электротехническому обеспечению атомной станции	6
2.	24.08300.01	Специалист-теплоэнергетик атомной станции	6
3.	24.02800.01	Инженер-теплофизик ядерно-физической лаборатории в области атомной энергетики	6
4.	24.06400.02	Инженер по документационному обеспечению проведения строительно-монтажных работ при строительстве объекта использования атомной энергии	6

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Код квалификации	Наименование квалификации	Уровень квалификации
5.	24.05700.02	Инженер в области информационных технологий в сфере атомной энергии	6
6.	24.03700.02	Инженер по обеспечению технического обслуживания и ремонта механического оборудования	6
7.	24.03300.02	Инженер по наладке и испытаниям лаборатории/службы контрольно-измерительным приборам и автоматике и аппаратуры системы управления и защиты атомной станции	6
8.	24.02600.02	Слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике в атомной энергетике 5 разряда	3
9.	24.09600.02	Специалист по планированию и бюджетированию капитальных вложений в проекты сооружения объектов использования атомной энергии	6

На рисунке 2 представлена структура востребованности определяемых профессиональными стандартами компетенций в период внедрения и становления системы независимой оценки квалификаций для оценки качества подготовки выпускников ВИТИ НИЯУ МИФИ, которая в полной мере обусловлена структурой подготовки специалистов вузом и кадровой потребностью рынка труда, прежде всего, на предприятиях Росатома.

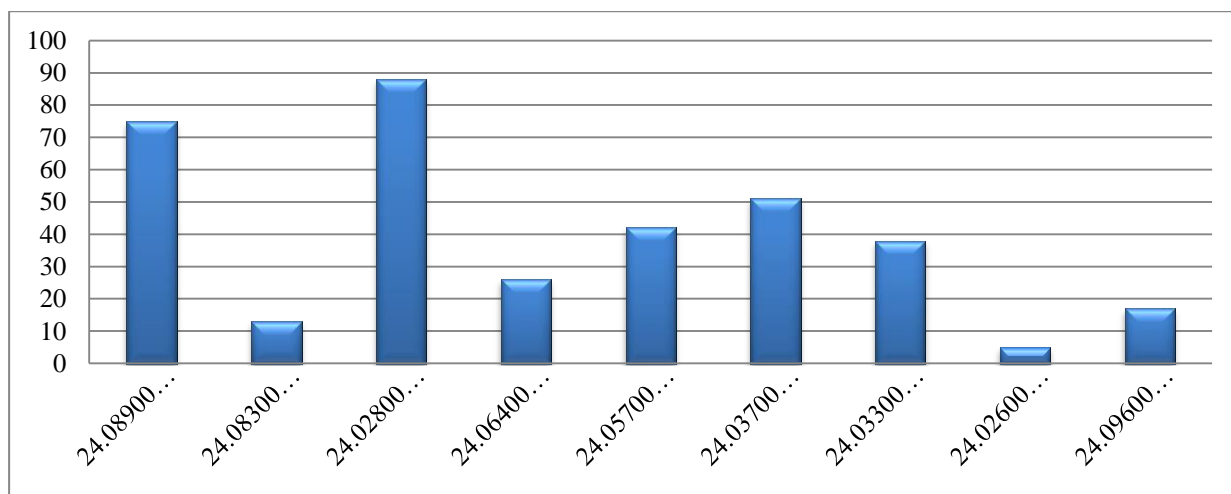


Рисунок 2 – Структура востребованности компетенций в рамках независимой оценки квалификаций [Structure of the demand of competences in the framework of the independent qualification assessment]

Для того чтобы Национальная система квалификаций заработала в полной мере необходимо, чтобы система образования смогла обеспечивать выпускника целостным видением процессов, происходящих в экономике, пониманием их взаимосвязанности, взаимозависимости и взаимообусловленности и, соответственно, системностью видения работником своей жизни. С этой целью требуется внедрение и дальнейшее развитие профессионально общественной аккредитации (ПОА) образовательных программ, особенно, использования ее результатов для повышения качества образования [11].

В 2016 г. СПК АЭ получил полномочия организовывать и проводить ПОА (протокол НСПК № 15 от 28 июня 2016 г.), а в 2018 г. актуализировал отраслевые организационно-методические документы по ПОА в соответствии с Общими требованиями НСПК к проведению профессионально-общественной аккредитации основных образовательных программ.

С целью признания уровня образовательной деятельности ВИТИ НИЯУ МИФИ соответствующим критериям и требованиям российских, иностранных и

международных организаций соответствующего профиля в институте ведется работа по профессионально-общественной и международной аккредитации реализуемых профессиональных образовательных программ.

Таким образом, существуют инструменты, позволяющие работодателям оценить уровень подготовки выпускников: система независимой оценки квалификации, регулируемая федеральным законом «О независимой оценке квалификации», промежуточные и итоговые аттестации студентов; движение WorldSkills; демонстрационный экзамен; профессионально общественная аккредитация образовательных программ. Однако эти системы развиваются разрозненно.

Шадрин А.Е. – генеральный директор Национального агентства развития квалификаций, выступая на Стратегической сессии «Проактивная социальная политика: новые возможности для каждого», которая состоялась 9 сентября 2021 г., выделил приоритеты развития национальной системы независимой оценки квалификаций [12]:

- во-первых, совмещение независимой оценки квалификации и итоговой аттестации студентов;
- во-вторых, содействие распространению механизмов профессионально-общественной аккредитации и рейтингования программ профессионального образования.

Современная задача – объединить подходы и инструменты, используемые в сфере атомной энергии для оценки уровня подготовки выпускников, разработать единую методологию, которая позволит создать независимую систему оценки квалификации молодых специалистов – выпускников высшей и средней профессиональной школы. Такая система, несомненно, сделает взаимодействие рынка труда и сферы образования эффективнее, окажет влияние на позитивную динамику показателей безопасности предприятий атомной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исаков, С.В.* Культура безопасности: вводный курс: [презентация] / С.В. Исаков. – URL : <https://docplayer.com/48488636-Kultura-bezopasnosti.html> (дата обращения: 01.03. 2022).
2. *Кичерова, М.Н.* Практики оценки квалификаций: новые возможности и ограничения / М.Н. Кичерова, М.Ю. Семёнов, Е.В. Зюбан // Образование и наука. – 2021. – Том 23, № 7. – С. 71-98. – URL : <https://www.edscience.ru/jour/article/view/2334/1022> (дата обращения: 27.02. 2022).
3. *Шомин, И.И.* Инновационная форма проведения квалификационного экзамена с использованием стандартов WorldSkills / И.И. Шомин // Профессиональное образование и рынок труда. – 2018. – № 1. – С. 61-67. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnaya-forma-provedeniya-kvalifikatsionnogo-ekzamena-s-ispolzovaniem-standartov-worldskills> (дата обращения: 04.03. 2022).
4. *Каранский, В.В.* Независимая оценка качества образования через систему центров оценки квалификации / В.В. Каранский, О.А. Крюкова, Е.В. Саврук, П.Е. Троян // Материалы международной научно-методической конференции, Россия, Томск, 30-31 января 2020 г. – С. 142-144. – URL: https://nmk.tusur.ru/storage/133249/conference-2020_new.pdf#page=142 (дата обращения: 20.02. 2022).
5. Федеральный закон от 03.07.2016 № 238-ФЗ «О независимой оценке квалификаций». – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200485/ (дата обращения: 07.02. 2022).
6. Постановление Правительства РФ от 27 июня 2016 г. N 584 «Об особенностях применения профессиональных стандартов в части требований, обязательных для применения государственными внебюджетными фондами Российской Федерации, государственными или муниципальными учреждениями, государственными или муниципальными унитарными предприятиями, а также государственными корпорациями, государственными компаниями и хозяйственными обществами, более пятидесяти процентов акций (долей) в уставном капитале которых находится в государственной собственности или муниципальной собственности». – URL : <https://base.garant.ru/71431038/> (дата обращения: 23.02. 2022).

7. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2016 г. N 1204 «Об утверждении Правил проведения центром оценки квалификаций независимой оценки квалификации в форме профессионального экзамена». – URL : <https://base.garant.ru/71542764/> (дата обращения: 23.02. 2022).
8. Доклад о состоянии, динамике развития и результатах деятельности в сфере независимой оценки квалификации в 2020 году / Национальное агентство развития квалификаций. – URL : <https://nspkrf.ru/documents/docs-1.html> (дата обращения: 02.03. 2022).
9. Доклад о состоянии, динамике развития и результатах деятельности в сфере независимой оценки квалификации в 2019 году / Национальное агентство развития квалификаций. – URL : <https://nspkrf.ru/documents/docs-1.html> (дата обращения: 02.03. 2022).
10. Стратегия развития национальной системы квалификаций Российской Федерации на период до 2030 года. Протокол от 12.03.2021 N 51 (одобрена Национальным советом при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_384038/ (дата обращения: 02.03. 2022).
11. *Фирсанова, О.В.* Национальная система квалификаций как сфера интересов образовательных организаций и работодателей / О.В. Фирсанова, С.М. Газуль, С.А. Степанов, Н.Г. Химичева // Гипотеза. – 2019. – № 2(7). – С. 5-18. – URL : <http://hypothesis-journal.ru/sites/default/files/2019> (дата обращения: 17.02. 2022).
12. Проактивная социальная политика: новые возможности для каждого // Материалы стратегической сессии. – Москва, 9 сентября 2021 г. – URL : <http://xn----8sbagnvabjdejv6b3a3bxo.xn--p1ai/index.php/arkhiv-novostej/912-proaktivnaya-sotsialnaya-politika-novye-vozmozhnosti-dlya-kazhdogo-09-09-2021> (дата обращения: 19.02. 2022).

REFERENCES

- [1] Isakov, S.V. Kul'tura bezopasnosti: vvodnyj kurs: [prezentaciya] [Safety Culture: An Introductory Course: presentation] - URL: <https://docplayer.com/48488636-Kultura-bezopasnosti.html> (reference date: 01.03. 2022) (in Russian).
- [2] Kicherova, M.N. Praktiki ocenki kvalifikacij: novye vozmozhnosti i ogranicheniya [Qualifications Assessment Practices: New Opportunities and Limitations] // *Образование и наука [Education and Science]*. 2021. – Vol. 23, № 7. P. 71-98. – URL: (reference date: 27.02. 2022) (in Russian).
- [3] SHomin, I.I. Innovacionnaya forma provedeniya kvalifikacionnogo ekzamena s ispol'zovaniem standartov WorldSkills [Innovative Form of Qualification Examination Using WorldSkills Standards]. *Professional'noe obrazovanie i ryok truda [Vocational Education and Labour Market]*. 2018. – № 1. P. 61-67. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/innovacionnaya-forma-provedeniya-kvalifikatsionnogo-ekzamena-s-ispolzovaniem-standartov-worldskills> (reference date: 04.03. 2022) (in Russian).
- [4] Karanskij, V.V. Nezavisimaya ocenka kachestva obrazovaniya cherez sistemu centrov ocenki kvalifikacii [Independent Assessment of Education Quality through a System of Qualification Assessment Centres]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii, Rossiya, Tomsk, 30-31 yanvarya 2020 g.* [Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference, Russia, Tomsk, 30-31 January 2020]. P. 142-144. – URL: https://nmk.tusur.ru/storage/133249/conference-2020_new.pdf#page=142 (reference date: 20.02. 2022) (in Russian).
- [5] Federal'nyj zakon ot 03.07.2016 № 238-FZ «O nezavisimoy ocenke kvalifikacij» [Federal Law of 03.07.2016 No. 238-FL "Independent Qualifications Assessment"]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200485/ (reference date: 07.02. 2022) (in Russian).
- [6] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 27 iyunya 2016 g. N 584 «Ob osobennostyah primeneniya professional'nyh standartov v chasti trebovanij, obyazatel'nyh dlya primeneniya gosudarstvennymi vnebyudzhетnymi fondami Rossijskoj Federacii, gosudarstvennymi ili municipal'nymi uchrezhdeniyami, gosudarstvennymi ili municipal'nymi unitarnymi predpriyatiyami, a takzhe gosudarstvennymi korporacijami, gosudarstvennymi kompaniyami i hozyajstvennymi obshchestvami, bolee pyatidesyati procentov akcij (dolej) v ustavnom kapitale kotoryh nahoditsya v gosudarstvennoj sobstvennosti ili municipal'noj sobstvennosti» [Decree of Russian Federation Government of 27 June 2016. N 584 "Peculiarities of Professional Standard Application in Terms of Requirements Mandatory Application by State Extra-Budgetary Funds of the Russian Federation, State or Municipal Institutions, State or Municipal Unitary Enterprises, as well as State Corporations, State Companies and Business Companies with Over Fifty Percent of Shares (Stakes)

- in the Authorised Capital of Which are State or Municipal Owned"]. - URL: <https://base.garant.ru/71431038/> (reference date: 23.02. 2022) (in Russian).
- [7] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16 noyabrya 2016 g. N 1204 «Ob utverzhdenii Pravil provedeniya centrom ocenki kvalifikacij nezavisimoy ocenki kvalifikacii v forme professional'nogo ekzamina» [Decree of Russian Federation Government of 16 November 2016. N 1204 "Approval of the Rules for the Qualification Assessment Centre to Conduct an Independent Qualification Assessment in the Form of a Professional Examination"]. URL: <https://base.garant.ru/71542764/> (reference date: 23.02. 2022) (in Russian).
- [8] Doklad o sostoyanii, dinamike razvitiya i rezul'tatah deyatelnosti v sfere nezavisimoy ocenki kvalifikacii v 2020 godu [Report on the Status, Dynamics and Results of Independent Qualifications Assessment Activities in 2020]. Nacional'noe agentstvo razvitiya kvalifikacij [National Qualifications Development Agency]. URL: <https://nspkrf.ru/documents/docs-1.html> (reference date: 02.03. 2022) (in Russian).
- [9] Doklad o sostoyanii, dinamike razvitiya i rezul'tatah deyatelnosti v sfere nezavisimoy ocenki kvalifikacii v 2019 godu [Report on the Status, Dynamics and Results of Independent Qualifications Assessment Activities in 2019]. Nacional'noe agentstvo razvitiya kvalifikacij [National Qualifications Development Agency]. URL: <https://nspkrf.ru/documents/docs-1.html> (reference date: 02.03. 2022) (in Russian).
- [10] Strategiya razvitiya nacional'noj sistemy kvalifikacij Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda. Protokol ot 12.03.2021 N 51 (odobrena Nacional'nym sovetom pri Prezidente Rossijskoj Federacii po professional'nym kvalifikaciyam) [Strategy of National Qualifications System Development of the Russian Federation for the period until 2030. Protocol N 51 of 12.03.2021 (approved by the National Council for Professional Qualifications under the President of the Russian Federation)]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_384038/ (reference date: 02.03. 2022) (in Russian).
- [11] Firsanova, O.V. Nacional'naya sistema kvalifikacij kak sfera interesov obrazovatel'nyh organizacij i rabotodatelej [National Qualifications Framework as an Area of Interest for Educational Institutions and Employers]. Gipoteza [Hypothesis]. 2019. – № 2(7). P. 5-18. – URL: <http://hypothesis-journal.ru/sites/default/files/2019> (reference date: 17.02. 2022) (in Russian).
- [12] Proaktivnaya social'naya politika: novye vozmozhnosti dlya kazhdogo [Proactive Social Policy: New Opportunities for Everyone]. Materialy strategicheskoy sessii [Policy Session Papers]. Moskva, 9 sentyabrya 2021 g. [Moscow, September 9th, 2021]. URL: <http://xn-8sbagnvabjdeyv6b3a3bxo.xn-p1ai/index.php/arkhiv-novostej/912-proaktivnaya-sotsialnaya-politika-novye-vozmozhnosti-dlya-kazhdogo-09-09-2021> (reference date: 19.02. 2022) (in Russian).

Independent Assessment of Future Nuclear Power Specialist Qualifications as a Factor of Nuclear Power Plant Safety

V.A. Rudenko¹, N.F. Privalova²

*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: 0000-0002-6464-188

e-mail: NFPrivalova@mephi.ru

Abstract – The paper considers the sectoral system of professional qualifications assessment in the field of nuclear energy, its structural components, and reveals the main tasks and activities for its improvement and development. The relevance of independent assessment of qualifications of future engineering personnel specialized in nuclear power industry at the stage of completion of higher education is disclosed.

Keywords: sectoral professional qualifications system, independent qualifications assessment, professional standard, labour market, vocational education.

AUTHOR INDEX

<i>Abidova E.A.</i>	60
<i>Al-Shamayleh A.I.</i>	46
<i>Duvarov K.A.</i>	31
<i>Elokhin A.P.</i>	6
<i>Golovko M.V.</i>	67
<i>Gubeladze A.R.</i>	24
<i>Gubeladze O.A.</i>	24
<i>Kalashnikov M.V.</i>	60
<i>Lapkis A.A.</i>	67
<i>Lobarev A.L.</i>	46
<i>Malakhov M.I.</i>	31
<i>Plotnikov D.A.</i>	46
<i>Potapov V.S.</i>	46
<i>Povarov P.V.</i>	60
<i>Privalova N.F.</i>	75
<i>Rodionov I.A.</i>	6
<i>Rudenko V.A.</i>	75
<i>Semenov A.A.</i>	46
<i>Sementsov A.V.</i>	31
<i>Setrakov A.N.</i>	67
<i>Shchukin N.V.</i>	46
<i>Shvets D.V.</i>	60
<i>Sinelshchikov V.V.</i>	41
<i>Solovyov D.A.</i>	46
<i>Tomilin S.A.</i>	41
<i>Vorobev E.V.</i>	60

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Абидова Е.А.</i>	60
<i>Аль-Шамайлех А.И.</i>	46
<i>Воробьев Е.В.</i>	60
<i>Головко М.В.</i>	67
<i>Губеладзе А.Р.</i>	24
<i>Губеладзе О.А.</i>	24
<i>Дуваров К.А.</i>	31
<i>Елохин А.П.</i>	6
<i>Калашиников М.В.</i>	60
<i>Лапкис А.А.</i>	67
<i>Лобарев А.Л.</i>	46
<i>Малахов М.И.</i>	31
<i>Плотников Д.А.</i>	46
<i>Поваров П.В.</i>	60
<i>Потапов В.С.</i>	46
<i>Привалова Н.Ф.</i>	75
<i>Родионов И.А.</i>	6
<i>Руденко В.А.</i>	75
<i>Семенов А.А.</i>	46
<i>Семенцов А.В.</i>	31
<i>Сетраков А.Н.</i>	67
<i>Синельщиков В.В.</i>	41
<i>Соловьёв Д.А.</i>	46
<i>Томилин С.А.</i>	41
<i>Швец Д.В.</i>	60
<i>Щукин Н.В.</i>	46

NOTES FOR AUTHORS

The full text of article intended for publication should be signed by authors, it has to be followed by a certificate of material verification through the anti-plagiarism program (permissible borrowing and self-citation - no more than 20%), an application from the institution in which the work was performed, and an expert resolution on publication possibility.

One file consists of one paper which has the following:

- UDC index;
- the title in Russian and English;
- the structured abstract (200-250 words) in Russian and English;
- keywords in Russian and English (not less than 10 speech units);
- 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 and E-mail address, contact phone number);
- ORCID и Researcher ID index of each author (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>).

The article should be structured: introduction (review of problems, objective of work); theory of the issue; a detailed presentation of the methods of conducting experiments, a description of materials and methods of analysis, statistical processing is desirable; the discussion of the results; conclusion. It is enough to describe the objective of the work and the results obtained for articles of a production nature.

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 clear when printing in 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).

An article should be processed in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format, 12 point font Times New Roman; print – 1 interval. Please do not use signs of forced transfer and additional gaps. Page parameters: all sides are 2,5 cm. 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 (12-20 sources). If the text of the article is less than 2500 type characters, it may not be considered.

In order to improve the quality and objectivity of publications, the authors are intended to reflect the advanced scientific experience of foreign countries, Russia and the CIS on the subject matter in the articles. The bibliography should be in accordance with State Standard Specification (GOST) 7.0.100-2018 «Bibliographic Record and Bibliographic Description. General Requirements and Drafting rules». References should include at least 12 sources (no more than 3 references to your own articles). There should be obligatory at least 5 sources later than 2016, and at least 4 references to foreign studies of recent years (from foreign countries, outside the former USSR). References are given at the end of article in order they mentioned. 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. 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»). The bibliography in English should be issued according to Scopus standard specification. Indicate article DOI if it in the presence.

To accept an article in the journal you should provide the following materials by e-mail **oni-viti@mephi.ru**:

- an article file in Word format;
- the same file in pdf format signed by the author;
- a certificate of material verification for anti-plagiarism
- an application from the institution where the work is made;
- an expert resolution on publication possibility.

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. URL: http://e-notabene.ru/pp/article_22498.html (in Russian).

For books:

- [3] Mogilev V.A., Novikov S.A., Faykov Yu.I. Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlya issledovaniya mekhanicheskoy stoykosti konstruksiy. [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 razvitiya 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. URL: <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: +79281883628

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Полный текст статьи, предназначенной для опубликования, должен быть подписан авторами, сопровождаться справкой о проверке материала через программу антиплагиата (допустимые заимствования и самоцитирование – не более 20%), представлением от учреждения, в котором выполнена работа, и экспертным заключением о возможности опубликования.

В одном файле помещается одна статья, частями которой являются:

- индекс УДК;
- название на русском и английском языках;
- структурированная аннотация (200-250 слов) на русском и английском языках;
- ключевые слова (не менее 10-и речевых единиц) на русском и английском языках;
- список литературы на русском и английском языках;
- сведения об авторах (ФИО, место работы, должность, ученая степень, звание, электронный адрес, телефон) на русском и английском языках;
- индексы ORCID и Researcher ID для каждого автора (<http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com>).

Статья должна быть структурирована: введение (обзор проблем, цель работы); теория вопроса; подробное изложение методики проведения опытов, описание материалов и методов анализа, желательна статистическая обработка; обсуждение результатов; заключение. Для статей производственного характера достаточно описать цель работы» и полученные результаты.

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 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 понятными при черно-белой печати, 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).

Статья оформляется в Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 через 1 интервал, шрифтом Times New Roman, размером 12 пт, без знаков принудительного переноса и дополнительных пробелов. Поля со всех сторон – 2,5 см. Желательный объем статьи – не более 15 страниц машинописного текста, включая таблицы и рисунки (не более 10-и), список литературы (12-20 источников). Если в тексте статьи менее 2500 знаков, статья может не рассматриваться.

С целью повышения качества и объективности публикаций авторы призваны отражать в статьях передовой научный опыт стран дальнего зарубежья, России и СНГ по рассматриваемой проблематике. Библиография оформляется согласно ГОСТу 7.0.100-2018 (дата введения – 01.07.2019) «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Список литературы включает в не менее 12-и источников (из них не более 3-х ссылок на собственные работы), с обязательным включением как минимум 5-и источников позднее 2017 г., и не менее 4 ссылок на зарубежные (из стран дальнего зарубежья, за пределами бывшего СССР) исследования последних лет. Список литературы приводится в конце статьи в порядке упоминания в тексте в квадратных скобках номера источника. Ссылки на иностранные источники даются на языке оригинала и сопровождаются, в случае перевода на русский язык, указанием на перевод. Учебники, учебные пособия, академические методические указания и рекомендации не включаются в список литературы. References приводятся после списка литературы на

русском языке (правила оформления см. в разделе The list of references standard in English). Библиография на английском языке должна быть оформлена в соответствии со стандартом Scopus. Укажите артикул DOI, если он есть.

Для принятия статьи в номер журнала необходимо предоставить следующие материалы по электронной почте **oni-viti@mephi.ru**:

- файл со статьей в формате Word;
- этот же файл в формате pdf с подписью авторов;
- справка о проверке материала на антиплагиат;
- представление от учреждения, в котором выполнена работа;
- экспертное заключение о возможности опубликования.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Для книг с одним автором:

Кесслер, Г. Ядерная энергетика / Г. Кесслер ; перевод с английского Ю.И. Митяев. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 264 с.

Для книг с двумя и более авторами:

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

Для журналов в статье с одним автором:

Пантелей, Д.С. Атомная энергетика как неотъемлемый компонент энергетического комплекса Российской Федерации / Д.С. Пантелей // Наукоедение. – 2017. – Т. 9, № 6. – С. 39.

Для журналов в статье с более четырех авторами:

Обогащение регенерированного урана в двойном каскаде газовых центрифуг с его максимальным возвратом в производство топлива / А.Ю. Смирнов, В.Е. Гусев, Г.А. Сулаберидзе, В.А. Невиница, П.А. Фомиченко // Вестник национального ядерного университета «МИФИ». – 2018. – Том 7, № 6. – С. 449-457.

Для диссертаций:

Беликов, С.О. Разработка методов интенсификации акустических резонансов и снижения уровня вибраций в главном паропроводе АЭС с ВВЭР-1000 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / С.О. Беликов. – Москва, 2013. – 30 с.

Для депонированных работ:

Кондраш, А.Н. Пропаганда книг / А.Н. Кондраш. – Москва, 1984. – 21 с. – Депонировано в НИЦ «Информпечать» 25.07.84. ФН 176.

Описание архивных материалов:

Харитон, Ю.Б. Письмо Б.Л. Ванникову о лаборатории для разработки атомных бомб // ЧУ «Центратомархив». Фонд № 1, опись № 1/с, дело № 228, л. 76-79. – URL : http://elib.biblioatom.ru/text/carhiv_001-1s-228_076/go/0/ (дата обращения : 26.03.2019).

Список ученых, участвующих в работе по использованию атомной энергии. 17 января 1946 // Атомная программа СССР : архивные документы. – ж URL : http://elib.biblioatom.ru/text/arhiv_akademik-artsimovich_2009_386/go/0/ (дата обращения : 03.09.2019).

Материалы конференций:

Сулаберидзе, Г.А. О некоторых разделительных проблемах при вовлечении регенерированного урана в топливный цикл / Г.А. Сулаберидзе, В.Д. Борисевич, Се Цюаньсинь // Сборник докладов IX Всероссийской (Международной) научной конференции «Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул», Россия, Звенигород, 4-8 октября. – Троицк : ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2004. – С. 78.

Шишков, Ю. Россия и мировой рынок: структурный аспект / Ю. Шишков // Социальные приоритеты и механизмы преобразований в России : материалы международной конференции, Москва, 12-13 мая 1998 г. – Москва : Магма, 1993. – С. 19-25.

Для патентов:

Патент 2187888 Российская Федерация, МПК7 Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство : заявитель и патентообладатель Воронежский научно-исследовательский институт связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Чугаева В. И. – 3 с.

Для электронных ресурсов:

Дирина, А.И. Право военнослужащих РФ на свободу ассоциаций / А.И. Дирина // Военное право : сетевой журнал – 2010. – № 2. – URL : <http://voennoepravo.ru/node/2149> (дата обращения: 01.08.2018).

Адрес редакции журнала:

347360, Россия, Ростовская область, г. Волгодонск, ул. Ленина, 73/94. Редакция журнала «Глобальная ядерная безопасность», e-mail: **oni-viti@mephi.ru**, тел.: +79281883628, Лобковская Надежда Ивановна

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2022, 1(42)

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

Сдано в набор 09.03.2022 г.

Компьютерная верстка Казак Ю.Ю.

Подписано к печати 16.03.2022 г.

Бумага «Снегурочка» 80 г/м². Объем 5,95 печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ



Ресурсный центр Госкорпорации «Росатом» - НИЯУ МИФИ

проводит практико-ориентированную подготовку иностранных студентов, обучающихся в российских университетах, в условиях наукоемкого и высокотехнологичного производства атомной отрасли.

**Занятия проводятся на ведущих предприятиях Госкорпорации «Росатом» в городе Волгодонске
Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск**



Изучение конструкции оборудования АЭС на полномасштабных образцах



**Учебно-тренировочное
подразделение Ростовской**



Проведение неразрушающих видов контроля на корпусе реактора



**Виртуальные 3-D комплексы
энергблока АЭС**



Приглашаем на следующие программы в Ресурсном центре:

- **Обучение персонала зарубежных АЭС**, подготовка иностранного персонала по надзору, контролю изготовления и приемке продукции для строящихся АЭС с проведением сертификации;
- **Адаптация процедуры подготовки на должность**, в соответствии с утвержденным штатным расписанием АЭС для иностранных студентов.
- **Технические туры** иностранных студентов.

Занятия проводятся на русском/английском языках

КОНТАКТЫ: ул. Ленина, д. 73/94, г. Волгодонск, Ростовская область,
Россия 347360 8(8639) 22-57-64 • www.viti-mephi.ru • viti@mephi.ru