

ISSN 2305-414X

2018, 1

**GLOBAL
NUCLEAR
SAFETY**



**ГЛОБАЛЬНАЯ
ЯДЕРНАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

<http://gns.mephi.ru>

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

GLOBAL NUCLEAR SAFETY

2018, 1(26)

Founded in November, 2011

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

Quarterly

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

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

Editor-in-Chief:

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

Editorial Staff:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A.V. Zhuk (PhD (History), associate professor (*Russia*))

Founder:

National Research Nuclear University MEPhI

Editorial address:

Kashirskoe shosse 31, Moscow, 115409, Russia

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

telephone: (8639)222717, e-mail: oni-viti@mephi.ru

Press address:

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

Moscow

© National Research Nuclear University MEPhI, 2018

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2018, 1(26)

Журнал основан в ноябре 2011 г.
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 10647
Выходит 4 раза в год, ISSN 2305-414X
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47155 от 3.11.2011 г.
Журнал включен в перечень ВАК РФ (№504)

Группы научных специальностей:

05.14.00 – Энергетика;

05.26.00 – Безопасность деятельности человека;

05.04.00 – Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение;

05.13.00 – Информатика, вычислительная техника и управление.

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

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

М.Н. Стриханов (главный редактор, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)),

В.А. Руденко (заместитель главного редактора, д-р соц. наук, проф. (Россия)),

Денис Флори (заместитель генерального директора МАГАТЭ (Австрия)),

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

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

Бухач 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. Пимишин (д-р техн. наук, проф. (Россия)),

Ю.П. Муха (д-р техн. наук, проф. (Россия)),

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

В.И. Ратушный (д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)),

Ю.С. Сысоев (д-р техн. наук, проф. (Россия)),

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

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

В.П. Поваров (к-т физ.-мат. наук (Россия)),

С.М. Бурдаков (к-т техн. наук, доц. (Россия)),

И.А. Бубликова (к-т техн. наук, доц. (Россия)),

А.В. Жук (к-т ист. наук, доц. (Россия))

Учредитель:

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

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

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

Москва

CONTENTS

2018, 1(26)

THE PROBLEMS OF NUCLEAR, RADIATION AND ECOLOGICAL SAFETY

Estimation of Spectrometric and Radiometric Characteristics of Alpha-Emissioning Radionuclides of Plutonium and their Influence on AMAD <i>Yousef N. Husein, D.A. Pripachkin, A.K. Budyka</i>	7
Perovskite Matrix Form by Using SHS Technology for Immobilization HLW <i>Yingyi Jiang</i>	18
Definition of Soil Pollution by Missile Fuel with the Help of Test-objects <i>M.E. Baranov</i>	24
Research of the Protection System Effectiveness for a Mobile Nuclear and Radiation Hazardous Facility <i>O.A. Gubeladze, A.R. Gubeladze, S.M. Burdakov</i>	36

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

Orbital Hybrid Laser-arc Welding Using a High-power Fibre Laser for Pipeline Construction <i>S.E. Gook, A.V. Gumenyuk, Michael Rethmeier</i>	47
Provision of Transport Frame Strength for Hydraulic Sharing Equipment Delivery to Eliminate Dangerous Goods Accident Consequences <i>Yu.Yu. Lushina, O.Yu. Zhabunina, A.E. Kipkaev, N.Yu. Parshukova</i>	58
The Utilization of Unified Modeling Language to Realize the Welding Process Mathematical Modeling Calculations in Multimedia MAW Simulator <i>V.V. Krivin, V.A. Tolstov, I.O. Ishigov</i>	68
Information System for Decision Support in the Management of Social and Economic Systems in the Nuclear Facility Territories <i>V.M. Kureichik, E.A. Tselik, R.V. Pirozhkov</i>	76

NUCLEAR FACILITIES EXPLOITATION

Optimizing the Neutronic Parameters for VVER-1200 Reactor Core Using WIMS-ANLS Code <i>Yubin Xu</i>	87
Installation of Long-Dimensionalradioactive Waste Fragmentation on the First Blocks of the Belayarsk NPP <i>O.A. Yarmolenko, N.N. Ufaev, A.I. Berela, S.A. Tomilin, A.G. Fedotov</i>	96
Variants of Constructive Schemes of Grippers for Lifting Dropped Horizontally Located Fuel Assemblies in the WWER Type Reactor <i>P.D. Kravchenko, D.N. Fedorenko</i>	104

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

Reducing Risk of Occurrence and Consequences of Technogenic Catastrophes by Minimizing Human Factor Impact on Reliability and Trouble-Free Operation of Nuclear Power Plants and Other Dangerous Objects <i>M.V. Alyushin</i>	111
Experience and Perspectives of LEAN-Specialist Training on the Basis of Effective Interaction between University and “Rosatom” State Corporation Enterprises <i>V.A. Rudenko, M.V. Golovko, I.A. Ukhalina, S.P. Agapova, A.V. Antsybor, N.A. Efimenko</i>	119

Author Index of vol. 1, 2018.....	129
-----------------------------------	-----

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 1, 2018

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Оценка спектрометрических и радиометрических характеристик альфа-излучающих радионуклидов плутония и их влияние на величину АМАД <i>Юсеф Набиль Хусейн, Д.А. Припачкин, А.К. Будыка</i>	7
Матричная форма перовскита с использованием технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) для иммобилизации высокоактивных радиоактивных отходов (ВАО) <i>Ини Цзян</i>	18
Определение загрязнения почвы ракетным топливом с помощью тест-объектов <i>М.Е. Баранов</i>	24
Исследование эффективности системы охраны подвижного ядерно- и радиационноопасного объекта <i>О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе, С.М. Бурдаков</i>	36

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

Орбитальная гибридная лазерно-дуговая сварка трубопроводов с использованием высокомощных источников лазерного излучения <i>С.Э. Гоок, А.В. Гуменюк, М. Ретмайер</i>	47
Обеспечение прочности транспортной рамы для доставки гидрорезного оборудования с целью ликвидации последствий аварий с опасными грузами <i>Ю.Ю. Лушина, О.Ю. Жабунина, А.Е. Кипкаев, Н.Ю. Паришкова</i>	58
Использование унифицированного языка моделирования для реализации расчетов по математическим моделям процесса сварки в мультимедийном тренажере РДС <i>В.В. Кривин, В.А. Толстов, И.О. Ишигов</i>	68
Информационная система поддержки выбора решения при управлении социально-экономическими системами на территориях размещения объектов атомной отрасли <i>В.М. Курейчик, Е.А. Цвелик, Р.В. Пирожков</i>	76

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Оптимизация нейтронных параметров активной зоны ВВЭР-1200 с использованием кода WIMS-ANLS <i>Юйбинь Сюй</i>	87
Установка фрагментации длинномерных радиоактивных отходов на блоках первой очереди Белоярской АЭС <i>О.А. Ярмоленко, Н.Н. Уфаев, А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов</i>	96
Варианты конструктивных схем захватов для подъема упавших расположенных горизонтально кассет в реакторе типа ВВЭР <i>П.Д. Кравченко, Д.Н. Федоренко</i>	104

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

Снижение риска возникновения и уменьшение последствий катастроф техногенного происхождения за счет минимизации влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов <i>М.В. Алюшин</i>	111
Опыт и перспективы подготовки lean-специалистов на основе эффективного взаимодействия вуза и предприятий ГК «Росатом» <i>В.А. Руденко, М.В. Головки, И.А. Ухалина, С.П. Агапова, А.В. Анцибор, Н.А. Ефименко</i>	119
Авторский указатель номера 1, 2018.....	129

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 502.175:628.4.047(075.8)

**ОЦЕНКА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ И РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ
ПЛУТОНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЕЛИЧИНУ АМАД**

© 2018 Юсеф Набиль Хусейн, Д.А. Припачкин, А.К. Будыка

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В статье предлагается рассмотреть использование новой экспериментальной установки для определения объемной активности и АМАД α -активных радионуклидов. Предлагается провести оценку спектрометрических и радиометрических характеристик α -излучающих радионуклидов плутония и определить их влияние на величину АМАД. Сравнить расчетные значения активности изотопов плутония в специальных аэрозольных источниках, полученные с помощью экспериментальной установки и установок МКС-01А, УМФ-2000. Оценить относительную ошибку определения АМАД с помощью экспериментальной установки.

Ключевые слова: радиоактивный аэрозоль, инерционный разделитель, эффективность осаждения, аэродинамический диаметр, АМАД, объемная активность, МКС-01А, УМФ-2000, α -излучения.

Поступила в редакцию: 10.03.2018

ВВЕДЕНИЕ

Радиационное воздействие α -активных радионуклидов на организм человека реализуется в основном через дозу внутреннего облучения. Внешнее облучение от α -активных радионуклидов незначительно из-за двух основных причин. Первое – пробег α -частиц в воздухе, который составляет не более 10 см, второе – пробег частиц в биологических тканях (коже) не более 100 мкм. Поэтому наибольшую радиационную опасность для здоровья человека представляют радиоактивные аэрозольные частицы содержащие α -активные радионуклиды поступающие внутрь организма через органы дыхания, которые в последствии могут быть причиной острых и хронических заболеваний.

Оценить дозу внутреннего облучения человека α -активными радионуклидами можно в соответствии с Нормами Радиационной Безопасности (НРБ-99/2009) [1] или на основе Международных Стандартов Безопасности МАГАТЭ (BSS) [2]. Для расчета дозы внутреннего облучения необходимо определить величину объемной активности α -активных радионуклидов в воздухе, умножить её на объем вдыхаемого воздуха и на соответствующий радионуклиду дозовый коэффициент [1], который зависит, в том числе и от активного медианного аэродинамического диаметра (АМАД).

Объемную активность радионуклидов во вдыхаемом воздухе оценивают на основе регулярных измерений активности радионуклидов, находящихся в воздухе рабочей зоны (для персонала) или в воздухе населенных пунктов (для населения). Для этого используют пробоотборные установки и методики выполнения измерений объемной активности (ОА)[3,4]. Методы определения ОА радионуклидов в воздухе

основаны на отборе пробы воздуха содержащего радиоактивные аэрозольные частицы на аналитические аэрозольные фильтры или каскадах импактора с последующим радиометрическим, спектрометрическим или иным измерением активности контролируемого радионуклида непосредственно на фильтрах или коллекторных пластинах.

Для определения АМАД радиоактивных аэрозолей используют или метод многослойных фильтров (ММФ) [5], или каскадные импакторы [6]. Аэрозольные частицы проходят через последовательно установленные разделители спектра по размерам, для ММФ это фильтры, для импактора – каскады. Такие устройств и методы расчёта АМАД используются в России в атомной промышленности и были утверждены в соответствующих Методических указаниях [7].

В соответствии с методиками определения объемной активности и АМАД отдельных радионуклидов требуется проведение радиометрических или спектрометрических измерений активности. Для этого разбирают пробоотборные устройства и извлекают фильтры или коллекторные пластины и в лабораторных условиях проводят измерения активности на радиометре или спектрометре.

В статье предлагается рассмотреть использование новой экспериментальной установки для определения объемной активности и АМАД α -активных радионуклидов. Предлагается провести оценку спектрометрических и радиометрических характеристик α -излучающих радионуклидов плутония и определить их влияние на величину АМАД. Сравнить расчетные значения активности изотопов плутония в специальных аэрозольных источниках, полученные с помощью экспериментальной установки и установок МКС-01А, УМФ-2000. Оценить относительную ошибку определения АМАД с помощью экспериментальной установки.

МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА

В исследованиях использовали экспериментальную установку, состоящую из: разделительной части (1), камеры детектирования (2), фильтра (3), ротаметра (4) и насоса, соединенных системой трубопроводов (рис. 1).

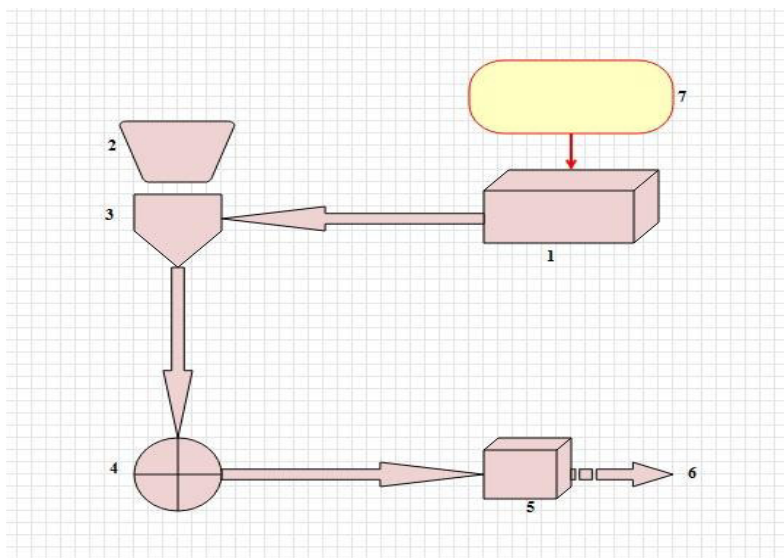


Рис. 1. – Схема экспериментальной установки [Experimental installation configuration]

Основной процесс разделение аэрозольных частиц на фракции происходит в разделительной части (1) с помощью инерционного разделителя. В качестве разделителя используется каскад импактора АИП-2 [8]. Часть аэрозольных частиц с аэродинамическим диаметром больше эффективного диаметра разделения (ECAD) [9] осаждаются в разделителе, а оставшиеся частицы уносятся воздушным потоком в камеру детектирования, где происходит осаждение их на фильтр. После камеры детектирования воздушный поток проходит ротаметр, который контролирует расход на выходе из камеры детектирования. В камере детектирования установлен ионно-имплантированный кремниевый детектор (рис. 2), который для регистрации α или β -частиц различных энергий. Эти детекторы имеют тонкое входное окно, обеспечивающее хорошее энергетическое разрешение даже при малых расстояниях альфа источника, а так же высокую эффективность регистрации α -частиц.

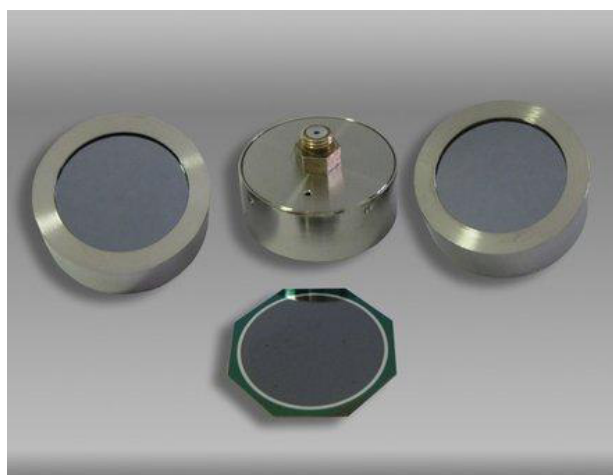


Рис. 2. – Ионно-имплантированный кремниевый детектор α, β -излучения
[Ion-implanted silicon detector of α, β -radiation]

Установка спектрометрическая МКС-01А «МУЛЬТИРАД-АС» (рис. 3) предназначена для измерения активности и удельной активности α -, β - и γ -излучающих нуклидов в специально приготовленных образцах продуктов питания, кормов для сельскохозяйственных животных, воды, воздуха, почвы, лесоматериалов, строительных материалов, а так же измерения мощности амбиентного эквивалента дозы и компарирования (поиска и сравнения) источников фотонного излучения с возможностью картирования точек измерения при подключении установки к GPS-приемнику. «МУЛЬТИРАД-АС» представляет собой лабораторное (в том числе, для передвижных лабораторий) оборудование с широким спектром возможностей и может применяться на предприятиях Минатома, Госсанэпиднадзора, МЧС, природоохранных предприятий различных ведомств.

Радиометр УМФ-2000 (рис.3) предназначен для измерения α - и β -активности малых активностей природной и питьевой воды, пищевых продуктов, почвы и воздушной среды. Прибор УМФ-2000 внесён в реестр средств измерений Российской Федерации – №16297-03. Радиометр УМФ-2000 для измерения α - и β -активности позволяет проводить измерения: суммарной активности α -излучающих нуклидов в «толстых» и «тонких» счетных образцах проб объектов окружающей среды; суммарной активности β -излучающих нуклидов в счетных образцах проб пищевых продуктов, почвы, воды, на воздушных фильтрах и проб, полученных методами селективной радиохимической экстракции; α -активности нуклидов в счетных образцах, полученных после селективной радиохимической экстракции.



Рис. 3. – Установки MKS-01A (слева) и УМФ-2000 (справа) [Installations MKS-01A (left) AND UMF-2000 (right)]

В исследовании использовали специальные аэрозольные источники (САИ) α -излучения на основе фильтра АФА-РСП-20с активностью $1.19 \cdot 10^2$ Бк и $1.12 \cdot 10^2$ Бк по радионуклидам ^{239}Pu и ^{238}Pu предназначенных для воспроизведения единицы объемной активности радионуклидов. (рис. 4) Относительная погрешность измерения активности (при доверительной вероятности $P=0,95$) не более 5 %.



Рис. 4. – Общий вид САИ на основе фильтра АФА-РСП-20 [General view of special aerosol sources based on the AFA-RSP-20 filter]

Кроме САИ был использован источник «тип 1П9» с активностью 80.7 Бк по радионуклидам ^{239}Pu и ^{238}Pu (рис. 5). Источник «тип 1П9» представляет собой подложку толщиной 1,1 мм, на рабочую поверхность которой (углубление) нанесен слой радиоактивного препарата, защищенный пленкой окисла металла. Измеренные значения активности радионуклидов в источнике не отличаются от номинальных более чем на 30%.

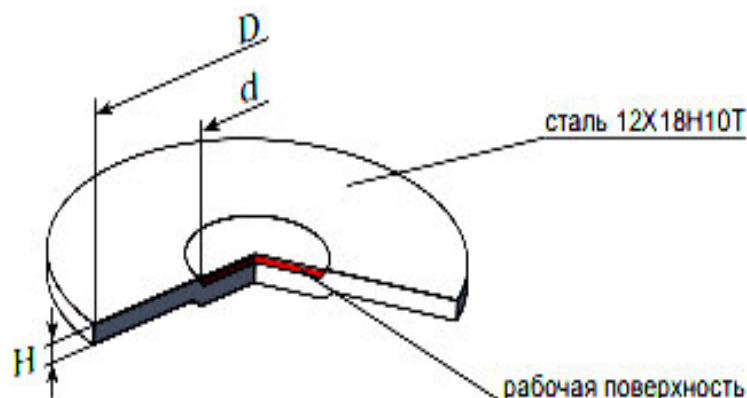


Рис. 5. – Источник тип 1П9 [Source type 1P9]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ

На экспериментальной установке были исследованы спектры α -излучения, определена эффективность регистрации и рассчитана активность для источника «тип 1П9» на основе ^{239}Pu с активностью 80.7 Бк и специальных аэрозольных источников α -излучения (САИ) на основе ^{239}Pu с активностью 119 и 112 Бк. По эффективности регистрации α -частиц результаты исследований сравнивали с измерениями тех же источников на α -спектрометре МКС-01А в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна и установке УМФ-2000 в НИЯУ МИФИ. По исследованию спектров α -излучения сравнивали только с МКС-01А.

Эффективность регистрации α -частиц определяли по формуле:

$$E = \frac{N}{A \cdot t}$$

где N – общее число импульсов (распадов);

t – время набора спектра, сек;

A – активность источника по паспорту, Бк.

В таблице 1 представлены результаты оценки эффективности регистрации для источника «тип 1П9» на трех установках: экспериментальной, МКС-01А и УМФ-2000. В установке УМФ-2000 источник расположен практически вплотную к детектору на расстоянии 1 мм. В экспериментальной установке расстояние между источником и детектором около 10 мм, в МКС-01А измерения проводили на расстоянии 45 мм от источника.

Таблица 1. – Оценка эффективности регистрации α -частиц для источника «тип 1П9»
[Efficiency estimation of α particle registration for a "1P9" source]

Название	Среднее за 10 измерений число импульсов	Длительность измерений, сек	Эффективность регистрации
УМФ-2000	7131	300	0.295±0.01
МКС-01А	7881	6972	0.014±0.001
Эксп. установка	4481	3600	0.015±0.001

Таблица 2. – Оценка эффективности регистрации α -частиц для САИ (119 Бк)
[Efficiency estimation of α particle registration for special aerosol sources (119 Bq)]

Название	Среднее за 10 измерений число импульсов	Длительность измерений, сек	Эффективность регистрации
УМФ-2000	8500	300	0.238±0.01
МКС-01А	17866	7766	0.019±0.001
Эксп. установка	5657	3600	0.013±0.001

Таблица 3. – Оценка эффективности регистрации α -частиц для САИ (112 Бк)
 [Efficiency estimation of α particle registration for special aerosol sources
 (112 Bq)]

Название	Среднее за 10 измерений число импульсов	Длительность измерений, сек	Эффективность регистрации
УМФ-2000	7841	300	0.233±0.01
МКС-01А	47702	22753	0.019±0.001
Эксп. установка	5049	3600	0.013±0.001

Из таблиц 1–3 следует, что эффективность регистрации α -частиц на установке МКС-01А и экспериментальной установке совпадают в пределах погрешности. Установка УМФ-2000 имеет эффективность регистрации на порядок выше, чем у остальных, это связано с геометрией взаимного расположения источника и детектора.

Кроме оценки эффективности регистрации были проведены исследования спектров α -частиц. На рисунках 4-6 представлены спектры для источника «тип 1П9» и САИ α -излучения. На установке МКС-01А была проведена энергетическая калибровка по источнику известного состава, содержащему три энергетические линии радионуклидов ^{242}Pu (4900 кэВ), ^{239}Pu (5157 кэВ), ^{238}Pu (5499 кэВ). На экспериментальной установке энергетическую калибровку спектра проводили по источнику «тип 1П9». На рисунках 4-6 эти энергии показаны вертикальными линиями.

Из рисунков 4-6 следует, что энергетические спектры, полученные на экспериментальной установке, позволяют идентифицировать радионуклиды ^{239}Pu и ^{238}Pu в составе САИ по соответствующим энергетическим линиям 5157 и 5499 кэВ.

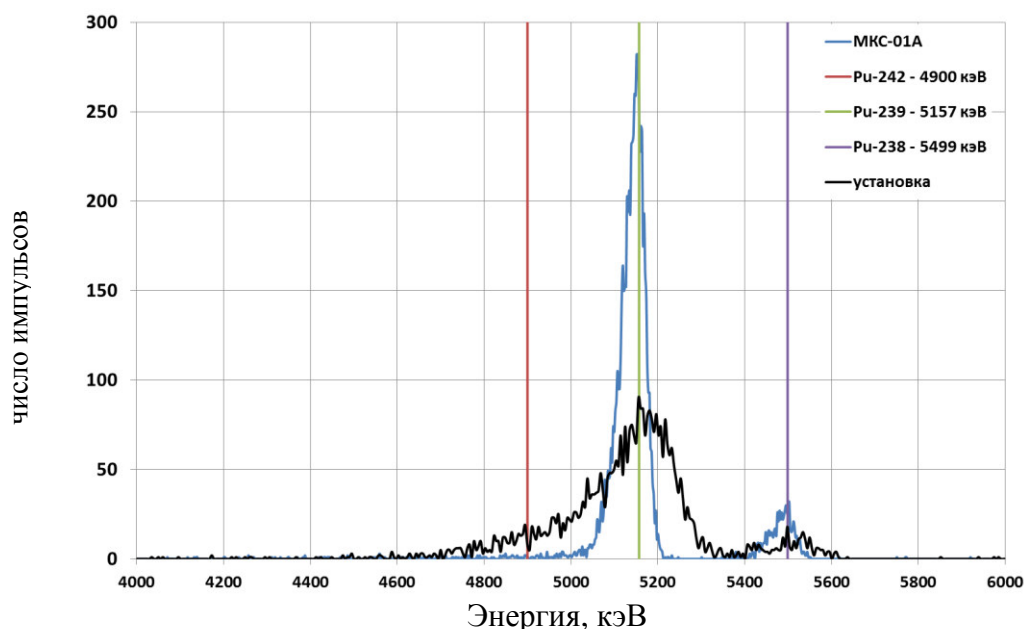


Рис. 4. – Спектр источника «тип 1П9» [Spectrum of the source "1P9 type "]

Источник «тип 1П9» имеет более четко выраженные энергетические линии 5157 и 5499 кэВ, чем САИ. Это связано с тем, что в САИ аэрозольные частицы, осевшие на фильтре распределены не только по фронтальной поверхности фильтра, но и в глубину фильтра, что приводит к размыванию спектра α -частиц, при их регистрации кремневым детектором. В источнике «тип 1П9» радиоактивное вещество, содержащее ^{239}Pu и ^{238}Pu ,

сосредоточено в виде точечного источника на металлической подложке, поэтому дополнительные потери энергии α -частиц при выходе из источника были меньше, чем у САИ. Соотношение импульсов в канале с энергией 5157 кэВ между экспериментальной установкой и МКС-01А для источника «тип 1П9» составило 1:3, а для САИ (119 Бк) и (112 Бк) 1:5 и 1:15, соответственно.

В таблицах 4 и 5 представлены оценки активности ^{239}Pu и ^{238}Pu с перекрестным использованием САИ для оценки эффективности регистрации и энергетической калибровки, на экспериментальной установке и МКС-01А. Активность ^{239}Pu определяли по числу импульсов в диапазоне от 4000 до 5230 кэВ, а ^{238}Pu в диапазоне от 5230 до 5800 кэВ. В таблице 6 представлены оценки суммарной активности ^{239}Pu и ^{238}Pu с перекрестным использованием для оценки эффективности регистрации САИ на установке УМФ-2000.

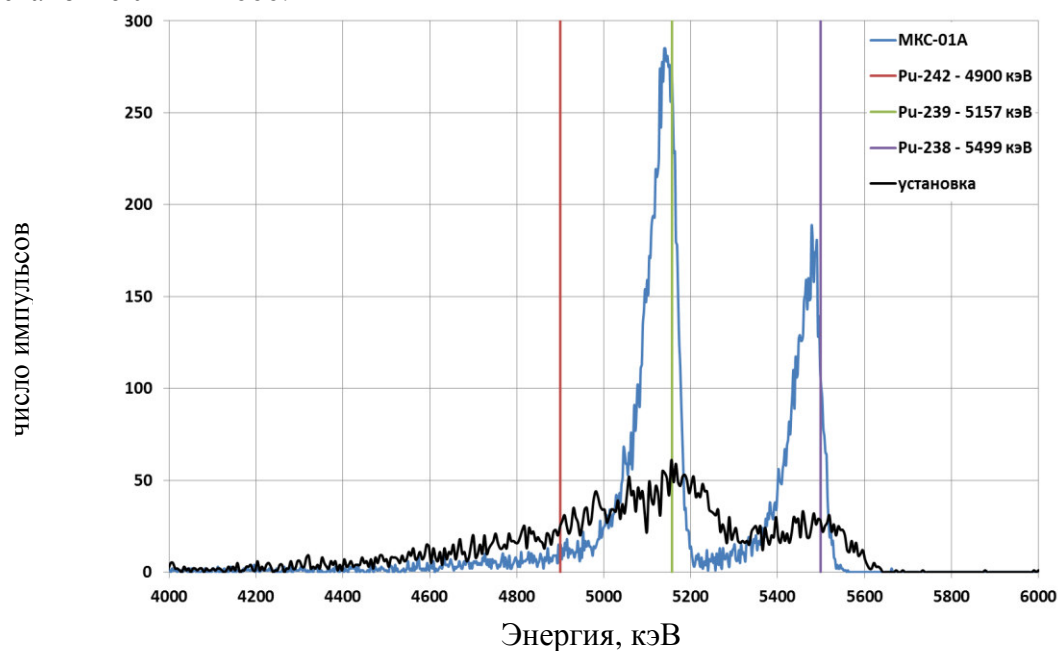


Рис. 5. – Спектр источника САИ (119 Бк) [Spectrum of the special aerosol sources (119 Bq)]

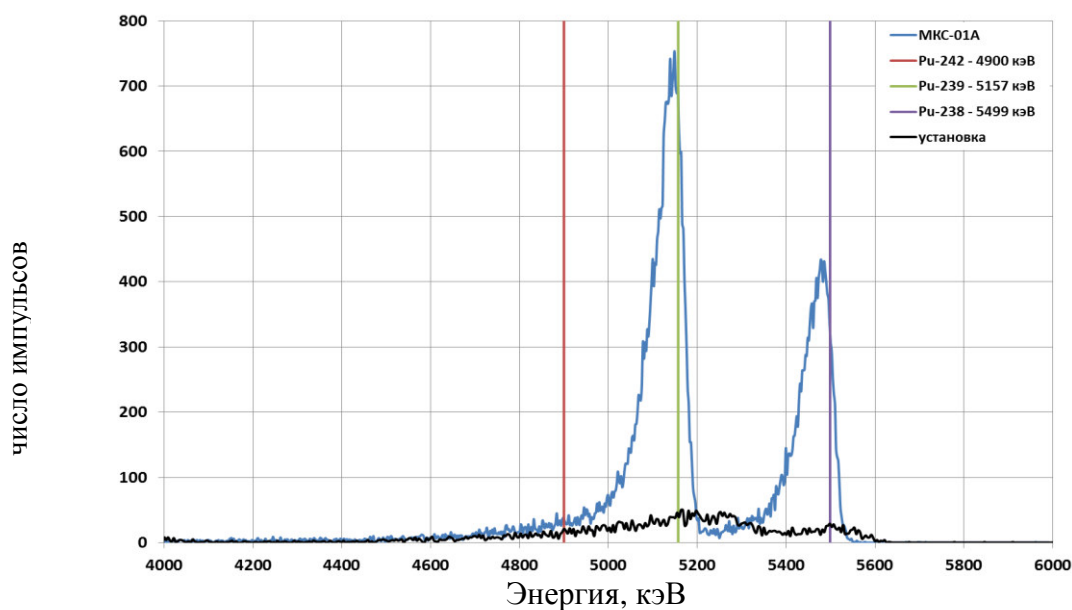


Рис. 6. – Спектр источника САИ (112 Бк) [Spectrum of the special aerosol sources (112 Bq)]

Таблица 4. – Активность ^{239}Pu и ^{238}Pu (Экспериментальная установка) [Activity of ^{239}Pu and ^{238}Pu (Experimental installation)]

Калибровочный источник	Активность, Бк			
	Pu-239	Pu-238	Суммарная (расчетная)	По паспорту
САИ (112)	86.1	34.8	120.9	119±6
САИ (119)	67.1	40.8	107.9	112±5

Таблица 5. – Активность ^{239}Pu и ^{238}Pu (МКС-01А) [Activity of ^{239}Pu and ^{238}Pu (MSK-01A)]

Калибровочный источник	Активность, Бк			
	Pu-239	Pu-238	Суммарная (расчетная)	По паспорту
САИ (112)	78.7	42.3	121	119±6
САИ (119)	72.3	38.0	110.3	112±5

Таблица 6. – Суммарная активность ^{239}Pu + ^{238}Pu (УМФ-2000) [Total activity of ^{239}Pu + ^{238}Pu (UMF-2000)]

Калибровочный источник	Суммарная (расчетная)	По паспорту
САИ (112)	121.6	119±6
САИ (119)	109.8	112±5

Если использовать САИ в качестве эталонного источника для оценки эффективности регистрации и энергетической калибровки детектора в составе экспериментальной установки, то относительная ошибка определения суммарной активности ^{239}Pu и ^{238}Pu не будет превышать 5 %. А в случае с перекрестным использованием САИ, для определения активности отдельных радионуклидов, относительная ошибка не будет превышать 20 %.

Для оценки величины АМАД и СГО, с помощью экспериментальной установки, применяется метод определения дисперсного состава радиоактивных аэрозолей на основе инерционных разделителей [10]. При реализации метода используются расчетные значения активности радионуклида, соответствующие фиксированным ЕСАД. Если учитывать, что относительная ошибка определения активности ^{239}Pu и ^{238}Pu с помощью экспериментальной установки не более 20 %, то можно определить ошибку рассчитываемых значений АМАД и СГО.

Для этого распределение активности ^{239}Pu с характеристиками дисперсного состава АМАД=1 мкм и СГО=2.5, было разделено на части в соответствии с ЕСАД (23, 9, 5.8, 3.3 и 1.1 мкм). Активность каждой части распределения отклоняли случайным образом на 20 % от исходных значений, соответствующих распределению АМАД=1 мкм и СГО=2.5. Для получения распределений АМАД и СГО было проведено 10^5 численных расчетов.

На рисунке 7 представлено, распределение значений АМАД и СГО при относительной ошибке оценки активности 20 %. Из рисунка 7 следует, что разброс значений АМАД не более 0,43 мкм, а СГО не более 0,4. При этом относительная ошибка оценки АМАД и СГО методом [10] не превышает 22 % и 8 %, соответственно.

Согласно данным, приведенным в Публикации 68 МКРЗ[11], дозовый

коэффициент изменяться в 2-3 раза для α -излучающих нуклидов при изменении величины АМАД в пределах двух порядков. Поэтому относительная ошибка АМАД, полученная при численном моделировании не будет существенно сказываться на значении дозового коэффициента для ^{239}Pu .

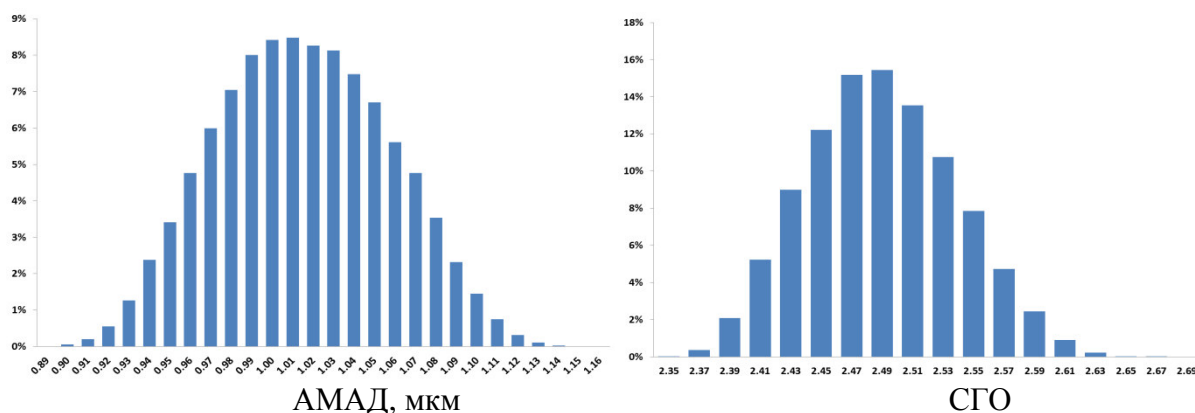


Рис. 7. – Распределение АМАД и СГО при случайном изменении активности ^{239}Pu на 20 % [The distribution of AMAD and SGO with a random change in the activity of ^{239}Pu by 20%]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что использование разработанной экспериментальной установки для отбора проб радиоактивных аэрозолей и последующей радиометрии и спектрометрии проб с помощью кремневого детектора, позволяет оценить суммарную активность α -излучающих радионуклидов ^{239}Pu и ^{238}Pu в составе источников «тип 1П9» и САИ с относительной ошибкой около 5 %. Оценка активности отдельных нуклидов была выполнена на основе суммирования импульсов в определенных энергетических диапазонах. Для рассмотренной комбинации радионуклидов относительная ошибка оценки активности не превышала 20 %.

Однако необходимо отметить, что другие комбинации α -излучающих радионуклидов, могут давать большую ошибку при оценке активности отдельных радионуклидов. При этом, чем больше количество радионуклидов в пробе, тем больше будет ошибка в оценке активности отдельных радионуклидов на экспериментальной установке. Тем не менее, в случаях измерений одного или двух радионуклидов имеющих энергетические линии, разнесенные на сотни кэВ оценить активность можно с приемлемой ошибкой.

Численное моделирование показало, что если ошибка в оценке активности ^{239}Pu , соответствующих фракций аэрозольных частиц не превышает 20 %, тогда ошибка при расчете дисперсных характеристик всего спектра радиоактивных аэрозольных частиц содержащих ^{239}Pu не будет превышать для АМАД - 22 % и СГО - 8 %. Согласно [7], полученные оценки ошибки АМАД, для рассмотренной комбинации α -излучающих радионуклидов ^{239}Pu и ^{238}Pu считаются приемлемыми (не превышают 30%) и могут использоваться при оценках дозы внутреннего облучения при ингаляционном поступлении α -излучающих нуклидов плутония в организм человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Сан Пин 2.6.1.2523-09 [Текст]. – М.: Минздрав России, 2009. – 93 с.
2. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards: General safety requirements.

- Part 3. No.GSR Part 3, Vienna, 2014.
3. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / П.А. Коузов: Изд. 3-е, перераб. – Л.: «Химия», 1987.
 4. МУ 2.6.5.009-2016 Объемная активность радионуклидов в воздухе на рабочих местах. Требования к определению величины среднегодовой активности [Текст]. – М.: ФМБА России, 2016. – 20 с.
 5. Будыка, А.К. Развитие основ метода многослойных фильтров для дисперсного анализа реакторных аэрозолей [Текст] / А.К. Будыка : автореф. ... дисс. к.-ф.-м.н. – М.: МИФИ, 1986.
 6. Припачкин, Д.А. и др. Экспериментальное исследование дисперсного состава аэрозолей методом многослойных фильтров и каскадным устройством [Текст] / Д.А. Припачкин, А.К. Будыка, В.О. Хмелевский, А.И. Ризин // Атомная энергия. – 2013. – Т. 115. – Вып. 3. – Март. – С. 174–177.
 7. МУК 2.6.1.08 – 2004 Определение характеристик распределения радиоактивного аэрозоля по размерам [Текст]. – М.: ФМБА России, 2004. – 19 с.
 8. Патент RU 2239815 C1 от 10.11. 2004: Цовьянов А.Г., Бадьян В.И., Молоканов А.А., Припачкин Д.А., Фертман Д.Е., Ризин А.И. и др. – М., 2004.
 9. Райст, П. Аэрозоли, введение в теорию [Текст] / П. Райст. – М.: Мир, 1987. – 278 с.
 10. Припачкин, Д.А. и др. Метод определения дисперсного состава радиоактивных аэрозолей на основе инерционных разделителей [Текст] / Д.А. Припачкин, А.К. Будыка, Ю.Н. Хусейн, А.Е. Карев, А.Г. Цовьянов // АНРИ. – 2016. – № 3(86). – С. 57–63.
 11. ICRP, 1994. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24(4).

REFERENCES

- [1] Normi Radiacynnoi Bezopasnosti [Radiation Safety Standards] (NRB-99/2009). SanPin 2.6.1.2523-09. M, 2009, 93 pp. (in Russian)
- [2] IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards: General safety requirements Part 3. No. GSR Part 3, Vienna, 2014. (in English)
- [3] Kozov P.A. Osnovi analiz dispersnogo sostava promeshlienyh piley i izmelchenih materialov [Fundamentals of Analysis of the Disperse Composition of Industrial Dusts and Crushed Materials]. Leningrad. 1987. (in Russian)
- [4] MY 2.6.5009-2016 Obyomnaya aktivnost radionukleda v vozduhe na rabochih mestah [Volumetric Activity of Radionuclides in the Air at the Workplace]. Trebovaniya k opredeleniyu velichiny srednegodovoy aktivnosti [Requirements for determining the average annual activity]. M. 2016, p. 20. (in Russian)
- [5] Budyka A.K. Razvitie osnov metoda mnogosloynnyh filtrov dlya dispersnogo analiza reaktornyh aerorozley [Development of the Basis of the Multilayer Filter Method for Disperse Analysis of Reactor Aerosols]. M. 1986. (in Russian)
- [6] Pripachkin D.A., Bydika A.K., Khmelevsky V.O., Rizin A.I. Experimtalnye issledivaniya dispersnogo sostava aerorozley metodom mnogoslavnyh filtrov i kaskadnym ustroystvom [Experimental Study of the Disperse Composition of Aerosols by the Method of Multilayer Filters and a Cascade Device]. Atomnaya energia [Atomic Energy], 2013, Vol.115, Issue 3, March, pp. 174–177. (in Russian)
- [7] MKY 2.6.1.08–2004 Opredelenia kharakteristik raspredeleniya radioaktivnogo aerorozlya po razmeram [Determination of the Characteristics of the Radioactive Aerosol Distribution by Size]. M. 2004, p 19. (in Russian)
- [8] Patent RU 2239815 C1 ot 10.11. 2004. Tcovenof A.G., Badian B.U., Molokanof A.A. etc. (in Russian)
- [9] Raist. P. Airozoli, vvedeniye v teoriyu [Aerosols, an Introduction to the Theory]. M. 1987, p 278. (in Russian)
- [10] Pripachkin D.A., Budyka A.K., Husein Yu.N., Karev A.E., Covyanov A.G. Metod opredeleniya dispersnogo sostava radioaktivnyh aerorozley na osnove inercionnyh razdelitelej [Determination Method of Aerosol Radioactive Particles Size Based on Used the Inertial Separators]. ANRI, № 3(86), pp. 57 – 63. (in Russian)
- [11] ICRP, 1994. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24(4). (in English)

Estimation of Spectrometric and Radiometric Characteristics of Alpha-Emitting Radionuclides of Plutonium and their Influence on AMAD

Yousef N. Husein^{*}, D.A. Pripachkin^{**}, A.K. Budyka^{***}

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

^{}ORCID: 0000-0002-1247-054X
WoS Researcher ID: B-7515-2017
E-mail: yousefhusein@yahoo.com;*

*^{**}ORCID: 0000-0002-5672-1515
WoS Researcher ID: M-0730-2010
E-mail: dmrwer@mail.ru;*

*^{***}ORCID: 0000-0001-8314-842X
WoS Researcher ID: G-1786-2013
E-mail: AKBudyka@rosatom.ru*

Abstract – This article is proposed to consider using a new experimental stand for determining the volumetric activity and AMAD of α -particles. It is proposed to evaluate the spectrometric and radiometric characteristics of the α -emitting Radionuclides plutonium and to determine their influence on the value of AMAD. The work compares the calculated values of the activity of plutonium isotopes in a special aerosol sources, obtained using the experimental stand and others such as MKS-01A and UMF-2000. The paper estimates the relative error in the determination of AMAD using experimental stand.

Keywords: radioactive aerosol, inertial separator, deposition efficiency, aerodynamic diameter, AMAD, volume activity, MKS-01A, UMF-2000, α -radiation.

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.039.7

**МАТРИЧНАЯ ФОРМА ПЕРОВСКИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕХНОЛОГИИ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА (СВС) ДЛЯ
ИММОБИЛИЗАЦИИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ
ОТХОДОВ (ВАО)**

© 2018 Ини Цзян

Томский государственный университет, Томск, Томская обл., Россия

Синрок признан в качестве вторичного отхода для захоронения высокоактивных радиоактивных отходов (ВАО). В этом исследовании один из самых изученных синрок-минералов, перовскит (CaTiO_3), был получен путем самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Nd_2O_3 и Al_2O_3 были использованы в качестве окислителей, с Ni в качестве восстановителя. Перовскит в этом случае был успешно синтезирован. Синтезированные образцы легко затвердевали с желаемой плотностью и твердостью по Виккерсу.

Ключевые слова: технология СВС, матричная форма перовскита, CaTiO_3 , радиоактивные отходы высокого уровня.

Поступила в редакцию: 12.02.2018

1. Introduction

The immobilization of high-level waste (HLW) radionuclides from the reprocessing of spent nuclear fuel from commercial or military reactors is an international challenge that has occupied much attention over many decades. At present, vitrification of borosilicate and phosphate glasses is the exclusive approach for industrial scale application of HLW management. However, the low solubility of minor actinides in glass matrix and the metastable nature of glasses are the major limitations. Synroc waste forms, which are mainly composed of multiple mineral phases such as zirconolite ($\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$), pyrochlore ($\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_6\text{X}$), perovskite (CaTiO_3), hollandite ($\text{BaAl}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$), rutile (TiO_2), spinel (AB_2O_4), nepheline ($\text{KNa}_3(\text{AlSiO}_4)_4$) etc., were recognized as promising host materials for HLW immobilization. From isomorphism substitution theory, radioactive nuclides can be incorporated into the lattice structure of above-mentioned mineral phases, which significantly promote the long-term stability and safety for HLW disposal.

In the Synroc family, perovskite is an important component phase. The majority of chemical elements from the periodic table can form ABX_3 compounds with the perovskite structure. The diversity of chemical elements, which form perovskite structures, their ability to create cation- or anion-deficient structures, and a rich variety of distorted perovskite structures lead to an extremely broad range of physical properties. Because of this, the perovskite structure is often called the 'inorganic chameleon'. Ferro- nad piezoelectricity, high electronic and ionic conductivity, diverse magnetism, and colossal magnetoresistive effects, paraelectricity and superconductivity, all of these phenomena are known to occur in perovskite-type compounds.

However, in previous studies, perovskite waste forms were mainly synthesized from two approaches: (1) high temperature solid state reaction, (2) liquid phase synthesis.

Meanwhile, compulsive densification processes, such as hot pressing (HP) or hot-isostatic pressing (HIP), must be incorporated to get highly compacted specimens. Muthuraman et al. Have proposed a novel synthesis approach, self-propagating high-temperature synthesis (SHS), for the management of nuclear wastes. As an exothermic chemical reaction, the combustion of SHS reactants can be sustainably propagated after ignition. Compared with conventional solid state reaction process, SHS leads to high temperature and high reaction speed, as well as low energy consumption, low cost, simplified equipment requirement and convenient handling. However, the generated high temperature and high reaction speed in SHS reaction cause this process hardly be controlled, which may be a crucial limitation for industrial application of this technique. On the other hand, SHS reaction usually results in porous materials because of the high reaction speed and lack of compression process.

In this paper, the main goal is that using SHS technology to create immobilization solidified body - NdAlO_3 and analyze the sample component.

2. Experimental details

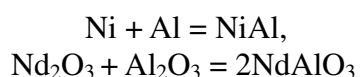
As initial components in the synthesis of matrix material by the SHS method, commercially manufactured powders of aluminum oxide, neodymium oxide, aluminum, nickel were used:

- neodymium oxide, grade x.h., TU 48-4-186-72;
- aluminum oxide GOST 8136 grade AOA-2;
- Nickel grade PNK-OT1;
- aluminum grade PA-4.

In accordance with the following exothermic reaction:



The process of formation of the final components should be of a two-stage nature and proceed along the following reaction channels:



Synthesis of materials by the SHS method in this work included the following stages:

- mixing the powders of the starting reagents according to the stoichiometric calculation according to the corresponding reaction equation (2.1) with the addition of a different amount of the $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ additive in a cubic mixer;
- drying of the initial burden of reagents in a vacuum;
- pressing the initial mixture of reagents into cylindrical tablets;
- implementation of the SHS process in a laboratory installation and obtaining samples of functional materials;
- processing of obtained samples.
- Mixing of powders of the initial reagents was carried out in a cubic mixer AR 403 All-Purpose Equipment (Germany), which is a hollow rotating cube with three stainless steel rods (rice), designed to enhance mixing of the components of the mixture, for 30 minutes.



Fig. 1.1 Cubic Mixer ERWEKA

After mixing, the initial charge was dried under a vacuum for 3 hours at a temperature of the order of 400 K (Fig.).

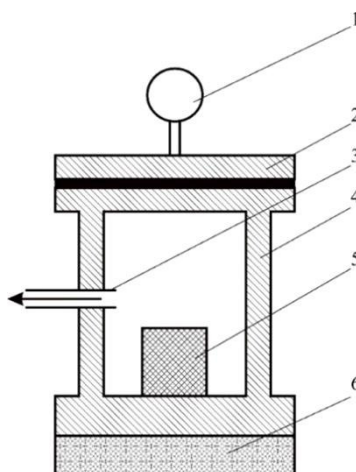


Fig. 1.2 Diagram of installation for vacuum drying: 1 - manometer; 2 - the camera cover; 3 - fitting; 4 - steel chamber; 5 - cuvette with charge; 6 - heating element

Pressing of the initial charge was carried out using a hydraulic laboratory press PGL-12 (maximum pressure of 50 MPa per surface area of 30 cm²), designed specifically for equipping the production analytical and research laboratories. The charge of reagents was pressed into cylindrical samples with a diameter of 30 mm and a height of 12-15 mm at different pressures - 15, 20, 25, 30 and 40 MPa, in order to obtain samples of different density.

Metal molds are made of tool steel. The pressing time was 30 minutes.

The synthesis was carried out under the conditions of a technical vacuum at the experimental stand of pyrometric studies of the regularities of the SHS process, including the SHS reactor (Fig. Heating of the sample and initiation of the synthesis reaction were carried out using a tungsten filament connected to a linear current converter. The temperature regimes were recorded with the help of tungsten-rhenium thermocouples connected to a multichannel pulse counter Aries SI8, with data recording by a personal computer.

In this experiment the equipment was not closed under vacuum, which means that the temperature at which the reaction occurred was higher than the temperature in the vacuum.

- Measured temperature: 1000 C
- Vacuum temperature (usual): 800 C – Using about 0,9 kgf/cm³

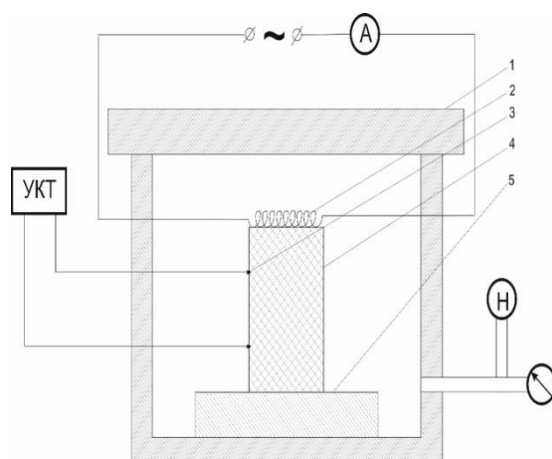


Fig. 1.3 The scheme of the experimental setup for the production of SHS materials: 1 – the reactor cover; 2 – tungsten filament; 3 – thermocouple; 4 – synthesized sample; 5 – fireproof stand

If the vacuum is not realized, there will be impurities in the atmospheric air that can react with the elements and influence the result of the experiment. Just like the energy that is lost by convection into the air.

Important indications for a quality experiment:

Suitable pressure, dust quality, heating temperature, temperature / cooling time.

The final sample should have a good aspect and don't have any bubble in the surface.

After this process, the pellet is sent to an x-ray analysis laboratory where it is analyzed and the composition is described.

Results and discussions

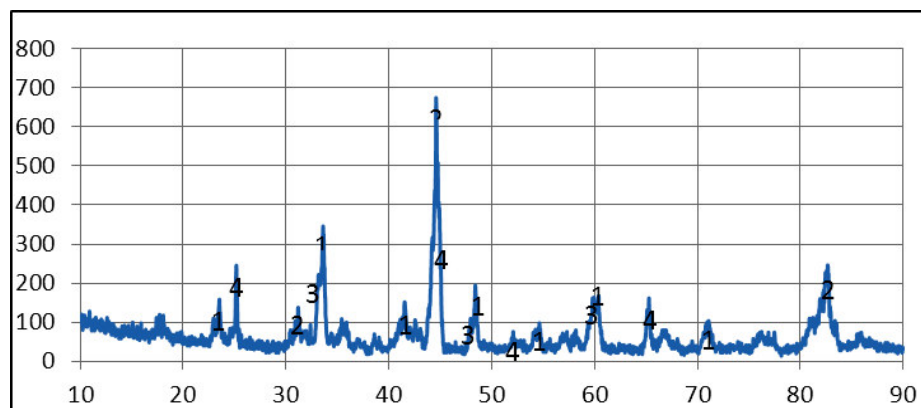


Fig. 2.1 The XRD pattern of the sample

Tab. 2.1 The mass percentage of composition

Composition	Mass percentage
NdAlO_3	10.1%
NiAl	56.5%
NdAl_2	9.4%
Ni_2Al_3	23.9%

The products of SHS reaction were analyzed with the XRD pattern presented in Figure 2.1 and Table. The phase composition conforms to the original phase, we obtained the perovskite phase as NdAlO_3 . Besides it, there are some other phases, like NiAl , NdAl_2 and Ni_2Al_3 . The diffraction peak of Nd_2O_3 completely disappeared in the sample, indicating that Nd^{3+} has been solidified in the crystal lattice of NdAlO_3 .

3. Conclusion

In order to create NdAlO_3 , SHS technology was adopted. SHS technology, is the technology that using a large amount of heat released by the chemical reaction to maintain its own reaction to obtain a new material with the specified composition and structure. According to the XRD pattern shows, we obtained NdAlO_3 , and there is no Nd_2O_3 , it means that Nd^{3+} has been solidified in the crystal lattice of NdAlO_3 . However the final product has a big part of NdAl , these are not the target products. We need to adjust the more suitable experimental conditions to conduct experiment, such as pressure for powder, cooling process etc.

REFERENCES

- [1] Bish D.L. and Post J.E., editors. 1989. Modern Powder Diffraction. Reviews in Mineralogy, v. 20. Mineralogical Society of America. (in English)
- [2] Cullity B.D. 1978. Elements of X-ray diffraction. 2nd ed. Addison-Wesley, Reading, Mass. (in English)
- [3] Klug H.P., and Alexander L.E.. 1974. X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials. 2nd ed. Wiley, New York. (in English)
- [4] Moore D.M. and R.C. Reynolds, Jr. 1997. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 2nd Ed. Oxford University Press, New York. (in English)
- [6] Brady, John B., and Boardman, Shelby J., 1995, Introducing Mineralogy Students to X-ray Diffraction Through Optical Diffraction Experiments Using Lasers. Jour. Geol. Education, Vol. 43, №5, pp. 471–476. (in English)
- [7] Brady, John B., Newton, Robert M., and Boardman, Shelby J., 1995, New Uses for Powder X-ray Diffraction Experiments in the Undergraduate Curriculum. Jour. Geol. Education, Vol. 43, №5, pp. 466–470. (in English)
- [8] Dutrow, Barb, 1997, Better Living Through Minerals X-ray Diffraction of Household Products, in: Brady, J., Mogk, D., and Perkins D. (eds.) Teaching Mineralogy, Mineralogical Society of America, pp. 349–359. (in English)
- [9] Hovis, Guy, L., 1997, Determination of Chemical Composition, State of Order, Molar Volume, and Density of a Monoclinic Alkali Feldspar Using X-ray Diffraction, in: Brady, J., Mogk, D., and Perkins D. (eds.) Teaching Mineralogy, Mineralogical Society of America, pp. 107–118. (in English)
- [10] Brady, John B., 1997, Making Solid Solutions with Alkali Halides (and Breaking Them) , in: Brady, J., Mogk, D., and Perkins D. (eds.) Teaching Mineralogy, Mineralogical Society of America, pp. 91–95. (in English)
- [11] Perkins, Dexter, III, and Sorensen, Paul, Mineral Synthesis and X-ray Diffraction Experiments, in: Brady, J., Mogk, D., and Perkins D. (eds.) Teaching Mineralogy, Mineralogical Society of America, pp. 81–90. (in English)
- [12] Hollecher, Kurt, A Long-Term Mineralogy Practical Exam, in: Brady, J., Mogk, D., and Perkins D. (eds.) Teaching Mineralogy, Mineralogical Society of America, pp. 43–46. (in English)
- [13] Chen Song, Li Yuxiang. Research Status of High - efficiency Waste Substrate Curing Substrate [J]. Materials Herald, 2005, №11(19): 53256. (in English)
- [14] Ringwood A.E., Kesson S.E., Ware N.G., et al. Immobilization of High Level Reactor Waste in Synroc [J]. Nature (London), 1979, №3(278): 2192223. (in English)
- [15] Hough A., Marples J.A.C. The Radiation Stability of Synroc :Final Report [Z]. UK: AEA Technology Report Fuel Services, 1993. (in English)
- [16] R.C. Ewing, W.J. Weber and F.W. Clinard, Jr. 1994. Radiation effects in nuclear waste forms for high-level radioactive waste[J]. Nuclear Energy, Vol. 29 (in English)
- [17] Trocellier P. Chemical Durability of High level Nuclear Wasteforms Trocellier [J] . Ann Chin Scimat, 2001, №26(2):1132130. (in English)

- [18] Weber W.J., Ewing R.C., Catlow C.R.A., et al. Radiation Effects on Crystalline Ceramic for the Immobilization of High level Waste and Plutonium [J]. Journal of Materials Research, 1998, №6(13): 143421484. (in English)
- [19] Katherinc L.S., Blackford M.G., Lumpkin G.R., et al. Lon Beams Induced Amorphization of Freudenbergit [J]. Journal of Nuclear Materials, 2000, №1(277): 1592168. (in English)
- [20] Lumpking G.R., Hart K.P., Mcglinn P.J., et al. Retention of Actinides in Natural Pyrochlores and Ziconolites [J]. RadiochimActa, 1994, №66(67): 469. (in English)
- [21] Yang Jianwen, Luo Shanggen, Li Baojun, etc. Pyrolysis green stone artificial rock solidification simulated actinide waste [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2001, №35(5): 1042109. (in English)
- [22] Zhao Yulong, Li Baojun, Zhou Hui, etc. Study on Simulation of ^{137}Cs Waste by Artificial Rock immobilization [J]. Nuclear Chemistry and Radiation Chemistry, 2005, №3(27): 1522157. (in English)
- [23] Zhang Ruizhu. SHS material on immobilization of HLW [J]. Silicate notification, 2008, №3(27): 6592662. (in English)
- [24] A. Erdal Osmanlioglu. Immobilization of Radioactive Waste by Cementation with Puried Kaolin Clay [J]. Waste Management, 2002, №5(22): 4812483. (in English)
- [25] D. Caurant, O. Majerus, P. Loiseau, I. Bardez, N. Baffier, J.L. Dussossoy, J. Nucl.Mater. 354 (2006) 143e162. (in English)

Perovskite Matrix Form by Using SHS Technology for Immobilization HLW

Yingyi Jiang

*National Research Tomsk Polytechnic University, Institute of Physics
Lenin St., 2, Tomsk region, Russia 634050*

Abstract – Synroc is recognized as the second generation waste form for the disposal of high-level radioactive waste (HLW). In this research, one of the mostly studied Synroc minerals, perovskite (CaTiO_3), was prepared by self-propagating high-temperature synthesis (SHS). Nd_2O_3 and Al_2O_3 were employed as the oxidants with Ni as the reductant. Perovskite was successfully synthesized. The as-synthesized samples were readily solidified with desirable density and Vickers hardness.

Keywords: SHS technology, perovskite matrix form, CaTiO_3 , high level radioactive waste.

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

УДК 504.054+ 630.11

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ РАКЕТНЫМ
ТОПЛИВОМ С ПОМОЩЬЮ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ**

© 2018 М.Е. Баранов

*Сибирский государственный университет науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия*

На сегодняшний день существует множество способов определения химического загрязнения почвы. Самым распространенным и универсальным по праву считается метод биотестирования. Использование различных методов биотестирования позволяет получать достаточно точные результаты.

Объектом исследования является почвенный покров на объекте эксплуатации ракетной техники. После ликвидации воинской части в Емельяновском районе, Красноярского края из-за попадания в почву значительного количества компонентов ракетного топлива (КРТ) сложилась неблагоприятная экологическая обстановка, что нашло своё отражение в сохранении высокого уровня фитотоксичности. В настоящее время территория воинской части является бесхозной, имеются разрушенные спецсооружения. На почвенном покрове имеются видимые маслянистые пятна, присутствует специфический запах. По показаниям войскового прибора химической разведки (ВПХР) с индикаторными трубками ИТ-Г1 и ИТ-2Т установлено наличие в почве КРТ 0,001 мг/л, что соответствует уровню «Опасно». В связи с этим необходимо провести мониторинг химически загрязненной почвы, выявить экологически неблагоприятные зоны, оценить возможность использования почвы в лесном хозяйстве.

Для проведения эксперимента было отобрано 10 проб из различных участков, расположенных на определенном расстоянии друг от друга и охватывающий зоны приближенные к техническим сооружениям, а также две контрольные пробы на удалении трех и пяти километров от объекта исследования.

Целью исследования является выявление загрязнения почвы. В связи с этим требуется определить влияние химического загрязнения на тест объекты: сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. и кресс-салат *Lepidium sativum* L., провести статистическую обработку полученных экспериментальных данных для минимизации площади подлежащей рекультивации.

Ключевые слова: почва, химическое загрязнение, ракетное топливо, биотестирование.

Поступила в редакцию: 10.02.2018

ВВЕДЕНИЕ

В результате аварийных ситуаций при сливе из ракет и специальных емкостей КРТ происходит химическое загрязнение почвы [1]. Ракетное топливо очень подвижно в ландшафтах, хорошо смешивается с водой, что также предопределяет возникновение отдельных техногенных аномалий. Гидразиновые горючие при попадании в почву разлагаются и окисляются с образованием воды, углекислого газа и молекулярного азота, а также ряда высокотоксичных продуктов: диметиламина, формальдегида, синильной кислоты и других опасных веществ [2]. Такие горючие прочно связываются с органоминеральным комплексом почвы и могут длительное время (месяцы и годы) сохраняться, накапливаясь в поверхностном слое и мигрируя в более глубокие слои [3].

Исследования загрязненных компонентами ракетного топлива мест эксплуатации ракетной техники разной давности (от 5 до 23 лет) показало, что уменьшение концентрации гидразиновыми горючими до уровня 1-2 ПДК происходит более чем за 20 лет. Концентрации остатков топлива в местах заправки и хранения КРТ могут достигать 1.2-3.4 мг/кг. Максимальные концентрации отмечаются в верхних горизонтах почвы, что эквивалентно 10-30 ПДК [4]. Гидразиновые горючие имеют выраженную щелочную реакцию (рН12). При их проливе на растительный покров происходят щелочные ожоги. Пораженная растительность приобретает вид «вареной» зелени, высыхая, становится коричневой. Проникая в ткани растений, они способны сохраняться длительное время (более 1 года) и варьировать в пределах концентраций 0.1-5 мг/кг. Несимметричный диметилгидразин (гептил) – один из самых токсичных компонентов ракетного топлива [5].

Проблема гептила является одной из основных при обеспечении экологической безопасности территорий ликвидированных воинских частей [6]. В связи с этим возникает необходимость проведения экологических исследований в области воздействия объектов эксплуатации ракетной техники на природную среду, которые могли бы дать объективную информацию о масштабах и интенсивности этого воздействия.

Целью исследования является выявление химического загрязнения почвы, оценка влияния КРТ на биологические объекты.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись почва и растительный покров с бывшего места дислокации воинской части Ракетных войск в Емельяновском районе Красноярского края.

Территория объекта расположена в лесном массиве на специально оборудованной площадке. После ликвидации воинской части остались бесхозными строительные сооружения различного назначения. Примыкающая площадь представлена следующими типами почв: чернозем выщелоченный – 17,7%, чернозем обыкновенный – 16,1%, серые лесные – 12,8%, лугово-черноземные – 10,8%, пойменные – 6,3%, болотные – 2,3%, необследованные – 34%. С севера к изучаемой территории прилегает лесополоса, с западной протекает река Кача. В южной и восточной части изучаемой территории расположены железнодорожная ветка и асфальтированная дорога. Основной древесной формой соприкасающейся непосредственно с объектом является сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), растительный покров разнотравно-злаковый.

Отбор проб проводился в течение вегетационного периода 2017 года. Пробы отбирались в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [7], на исследуемом объекте было выбрано 10 пробных площадок размером 20х20 метров. Площадки № 1, 2, располагались вблизи сооружений для хранения КРТ. Площадки № 3, 4 располагались вблизи ракетной шахты, где непосредственно проводилась работы по заправке ракет. Площадки 5-10 располагались вблизи сооружений для хранения и нейтрализации агрегатов заправочного оборудования. Контрольные площадки 1-2 располагались на удалении 3 км на восток и 5 км на запад от объекта. Точечные пробы почвы отбирали на пробных площадках послойно с глубины 0-5 и 5-20 см методом конверта. Объединенную почвенную пробу составляли путем смешивания 5 точечных проб, отобранных на одной пробной площадке.

Среди высших растений наиболее чувствительны к загрязнению окружающей среды хвойные растения. В исследованиях по биоиндикации чаще всего используется сосна обыкновенная, как наиболее распространенное хвойное дерево [8]. Загрязняющие

вещества накапливаются в ее хвое, коре и древесине. Они оказывают влияние на рост, жизнеспособность и общую продолжительность жизни деревьев. Особенно заметно это воздействие на хвое. В загрязненных районах хвоинки закручиваются на концах или спирально по всей длине, покрываются пятнами, сохнут раньше времени и опадают [9].

В условиях промышленного загрязнения ухудшение состояния деревьев сосны обыкновенной сопровождалось возрастанием относительного содержания запасных и структурных форм углеводов, увеличением соотношения белковый - небелковый азот, в пользу последнего. С ухудшением жизненного состояния в хвое сосны наблюдается снижение числа макроэргических соединений, сахарофосфатов, зеленых пигментов и увеличение неорганического фосфора, крахмала и глюкозы [10-11]. При общем снижении продолжительности жизни хвои, нарушения в ней, содержание и соотношение отдельных элементов минерального питания, изменения в содержании пигментов определяются видовой принадлежностью. С увеличением степени загрязнения в хлоропластах хвои сосны *Pinus sylvestris* L., происходит снижение общего количества хлорофиллов и каротиноидов [12]. Изменение окраски листьев или хвои представляет собой в большинстве случаев неспецифическую реакцию на различные стрессоры [13].

На каждой пробной площадке обследовали по 10 деревьев. Средний возраст деревьев 5 лет, высота 3-5 метров, диаметр ствола 5-8 см. Сначала внимательно осмотрели все хвоинки побега сосны обыкновенной и определили класс усыхания по следующим критериям: Класс 1 – Нет сухих участков. Класс 2 – Кончик хвоинки на 2-5 мм усох и пожелтел (шипик на конце хвоинки всегда светлый и его окраска не включается в оценку). Класс 3 – Хвоинка усохла до 1/3. Класс 4 – Вся хвоинка пожелтела, более половины длины сухая.

Фитотоксичность грунта определяли биотестированием по снижению энергии прорастания и всхожести кресс-салата (*Lepidium sativum* L) в сравнении с контролем. В каждый образец почвы были посеяны по 200 семян. Энергию прорастания и всхожесть определяли согласно ГОСТ 12038-84 [14]. В качестве основных параметров оценки (*Pinus sylvestris*) выбраны морфометрические показатели годичного линейного прироста: длина годичного прироста, количество хвои осевого побега, длина хвои, диаметр осевого побега [15].

Математическую обработку результатов проводили стандартными методами с использованием пакета анализа MS Excel и StatSoft STATISTICA 6.0 [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Биотестирование почвенных образцов показало его высокую фитотоксичность. Во всех образцах отмечено снижение всхожести тест-культуры относительно контроля. Максимальная антропогенная нагрузка отмечена на пробных площадках 1 и 2, где предположительно имелись аварийные проливы в ходе работ с КРТ (табл. 1).

При использовании в качестве показателя фитотоксичности энергии прорастания тест-культуры фитотоксический эффект был менее выражен (табл. 2).

Исследования морфометрических показателей (*Pinussilvestris*) в конце вегетационного периода 2017 года показали существенные отличия от контрольных площадок (табл. 3). Повреждение некрозом и хлорозом хвои сосны обыкновенной наблюдались на всей территории объекта (табл. 4). Возможно, это связано с ухудшением жизненного состояния сосны вследствие влияния химического загрязнения. Не исключается факт миграции КРТ в почве с атмосферными осадками.

Всхожесть тест-культуры положительно коррелировала с морфометрическими

показателями сосны и отрицательно – с показателями повреждений некрозом и хлорозом. Для энергии прорастания подобные корреляции отсутствовали (табл. 5).

Связь между всхожестью тест-культуры и морфометрическими показателями сосны, а также между всхожестью и показателями повреждения сосны, носила нелинейный характер (рис. 1, 2).

Таблица 1. – Всхожесть тест-культуры (*Lepidumsativum* L) в образцах почвы в процентах от общего числа посеянных семян [The germination capacity of the test culture (*Lepidumsativum* L) in soil samples as a percentage of the total number of seeds sown]

№ пробной площадки	Всхожесть, %	Всхожесть, % к контролю	Снижение относительно
1	48	50,5	49,5
2	53	55,8	44,2
3	67	70,5	29,5
4	68	71,6	28,4
5	78	82,1	17,9
6	78	82,1	17,9
7	83	87,4	12,6
8	88	92,6	7,4
9	89	93,7	6,3
10	88	92,6	7,4
Контрольная площадка №1	95	100,0	0,0
Контрольная площадка №2	95	100,0	0,0

Таблица 2. – Энергия прорастания тест-культуры (*Lepidumsativum* L) в образцах почвы с разных пробных площадок [The germination energy of the test culture (*Lepidumsativum* L) in soil samples from different test plots]

№ пробной площадки	Энергия прорастания, %	% к контролю	Снижение относительно контроля, %
1	66	98,5	1,5
2	66	98,5	1,5
3	63	94,0	6,0
4	64	95,5	4,5
5	50	74,6	25,4
6	65	97,0	3,0
7	37	55,2	44,8
8	57	85,1	14,9
9	40	59,7	40,3
10	67	100,0	0,0
Контрольная площадка №1	67	100,0	0,0
Контрольная площадка №2	67	100,0	0,0

Таблица 3. – Средние морфометрические показатели *P. silvestris* на территории объекта исследований в конце вегетативного периода [The average morphometric parameters of *P. silvestris* on the territory of the research object at the end of the vegetative period]

№ пробной площадки	Длина годичного прироста, мм	Количество хвои	Длина хвои, мм	Величина радиального прироста, мм
1	90	75	15	3
2	95	77	15	3
3	100	78	15	3,2
4	105	78	16	3,2
5	105	82	16	3,4
6	115	84	16	3,4
7	120	86	18	3,6
8	120	86	18	3,6
9	130	88	18	3,8
10	135	90	18	3,8
Контрольная площадка №1	155	95	20	4
Контрольная площадка №2	160	97	20	4

Таблица 4. – Показатели повреждений некрозом и хлорозом хвои сосны обыкновенной на территории объекта исследований (%) [Indicators of damage by necrosis and chlorosis of pine needles in the territory of the research object (%)]

№ пробной площадки	Количество хвои с признаками некроза (%)	Количество хвои с признаками хлороза (%)
1	50	75
2	50	60
3	40	60
4	45	55
5	30	35
6	30	39
7	25	35
8	25	25
9	20	20
10	20	20
Контрольная площадка №1	5	3
Контрольная площадка №2	5	3

Таблица 5. – Корреляционные связи всхожести и энергии прорастания тест-культуры с морфометрическими показателями и показателями повреждений сосны. Выделенные жирным шрифтом коэффициенты корреляции статистически значимы на уровне $p < 0,001$ [Correlation relations of germination and energy of the test culture with morphometric indices and indicators of pine damage. The bold correlation coefficients are statistically significant at the level of $p < 0.001$]

Показатель	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %
Энергия прорастания, %	-0,250	
Длина годовичного прироста, мм	0,891	0,036
Количество хвои	0,922	-0,039
Длина хвои, мм	0,894	-0,115
Длина осевого стебля, мм	0,959	-0,167
Количество деревьев поврежденных некрозом	-0,949	0,123
Количество деревьев поврежденных хлорозом	-0,961	0,127

Дискриминантный анализ показал, что при использовании всхожести тест-культуры, морфометрических показателей и показателей повреждения (см. табл. 4) в качестве набора переменных статистическая значимость различий между контрольными площадками и пробными площадками составляет $p < 0,001$. В то же время энергия прорастания тест-культуры не является значимым показателем для разделения контрольных и пробных площадок. Последовательное сокращение числа переменных показывает, что наиболее значимыми показателями для разделения контрольных и пробных площадок являются длина годовичного прироста, величина радиального прироста и количество деревьев, поврежденных некрозом. На рисунке 3 показана проекция пробных и контрольных площадок на эти три показателя.

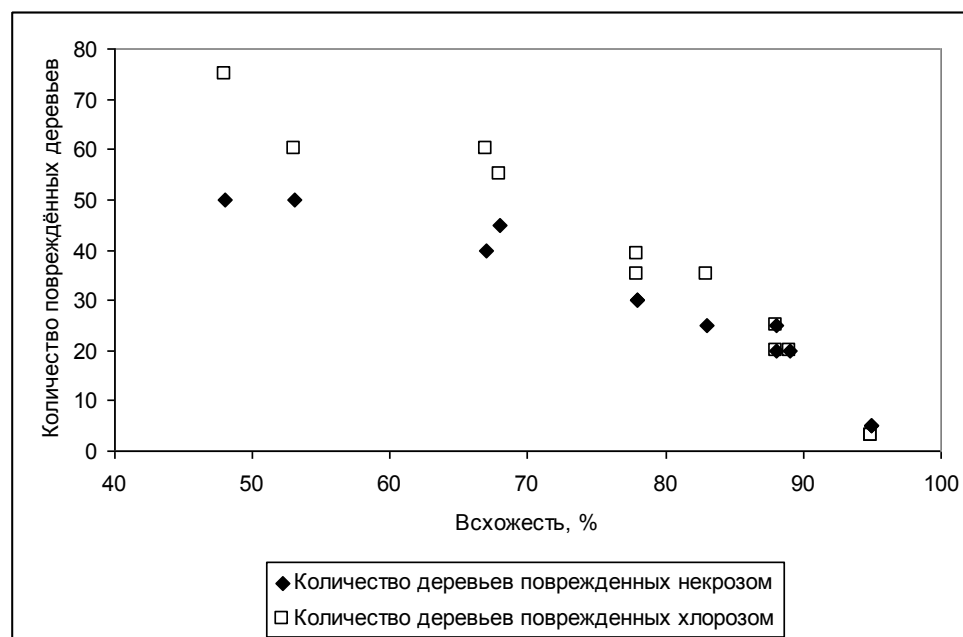


Рис. 1. – Связь между всхожестью тест-культуры и показателями повреждения сосны [The relationship between the germination of the test culture and the indicators of pine damage]

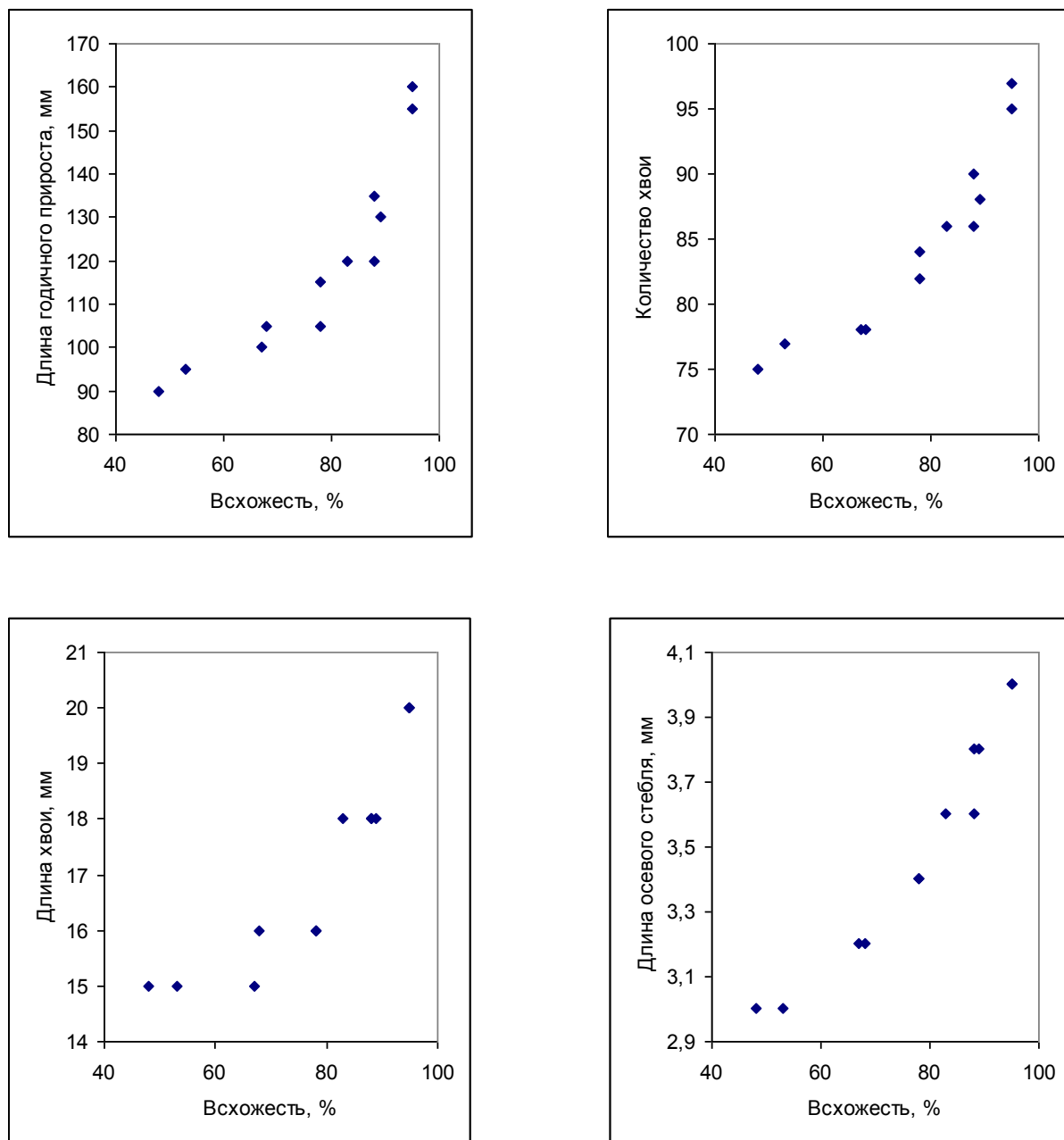


Рис. 2. – Связь между всхожестью тест-культуры и морфометрическими показателями сосны [The relationship between the germination of the test culture and the morphometric parameters of pine]

Как видно из представленной проекции, по степени угнетающего воздействия на сосну пробные площадки группируются в строгом соответствии с принадлежностью к сооружениям на объекте (см. рис. 2). При проведении кластерного анализа по всему набору изученных показателей пробные площадки П1 и П2 (Место хранения ракетного топлива), П3 и П4 (Место заправки ракет), П5 и П6 (Станция очистки стоков) образуют хорошо обособленные кластеры вне зависимости от метода кластеризации. Пробные площадки П7, П8 (Станция нейтрализации), П9, П10 (Сооружения для хранения агрегатов заправочного оборудования) образуют общий кластер (рис. 4).

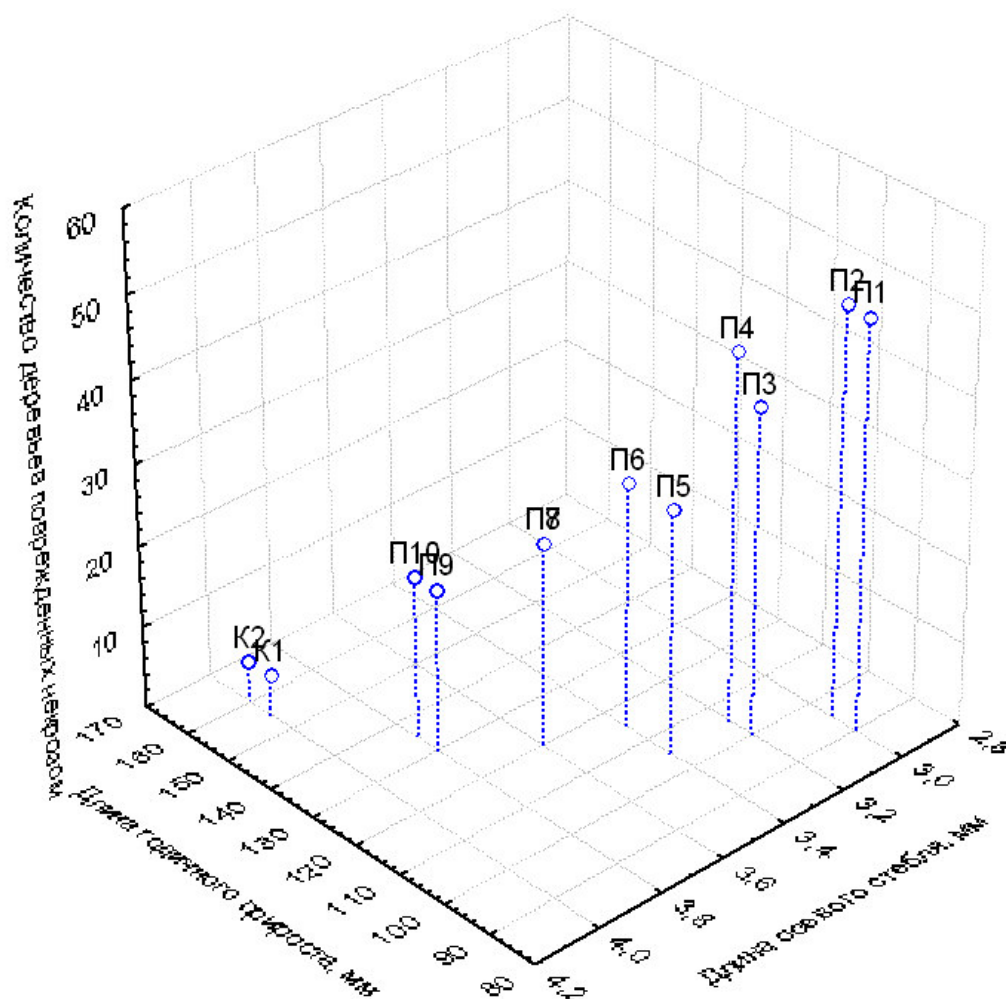


Рис. 3. – Расположение пробных (точки П1-П10) и контрольных (точки К1, К2) площадок в координатах «длина годичного прироста», «величина радиального прироста» и «количество деревьев, поврежденных некрозом» [Location of test (points P1-P10) and control (points K1, K2) sites in the coordinates "length of annual growth," the value of radial growth "and" the number of trees damaged by necrosis "]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На объекте эксплуатации ракетной техники сохранилось остаточное загрязнение. Это загрязнение проявляется в фитотоксичности грунта, выявляемой методом биотестирования на кресс-салате, в снижении морфометрических показателей *P. silvestris*, а также в повышенной хлоротизации и некротизации хвои *P. silvestris* в сравнении с контрольными площадками.

2. При проведении биотестирования всхожесть тест-культуры положительно коррелирует с морфометрическими показателями сосны (коэффициенты корреляции от 0,891 до 0,959) и отрицательно коррелирует с показателями некроза и хлороза (коэффициенты корреляции соответственно -0,949 и -0,961). Для энергии прорастания подобные корреляции отсутствуют. Таким образом, при оценке экологического состояния на объектах эксплуатации ракетной техники методом биотестирования следует ориентироваться не на энергию прорастания, а на всхожесть тест-культуры.

3. По уровню остаточного загрязнения участки на объекте располагаются в следующем порядке (в порядке убывания загрязнения): место хранения ракетного топлива (максимальное загрязнение - пробные площадки 1-2), место заправки ракет,

станция очистки стоков, станция нейтрализации, сооружения для хранения агрегатов заправочного оборудования (минимальное загрязнение пробные площадки 3-10).

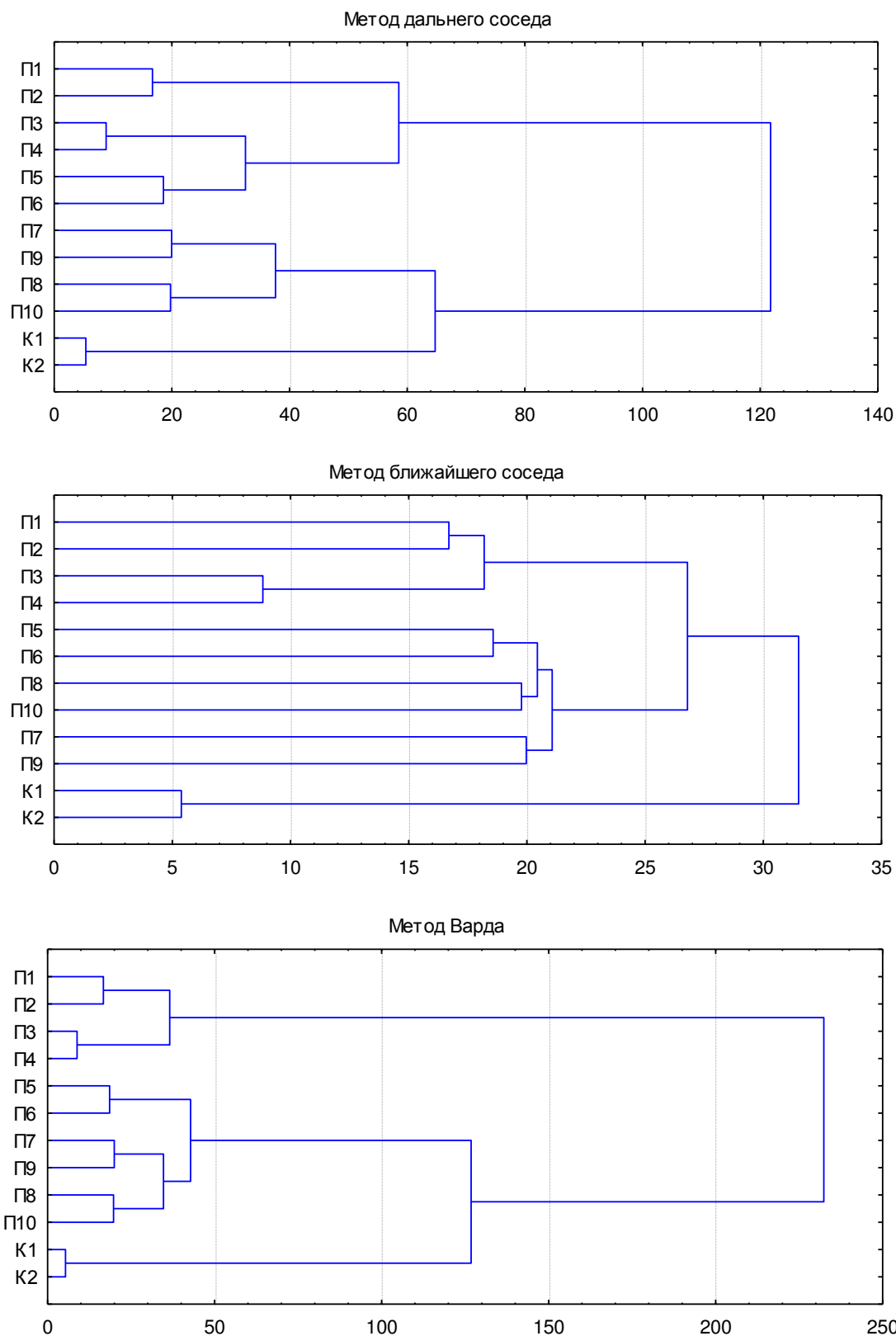


Рис. 4. – Кластеризация пробных площадок по комплексу показателей, представленных в таблице 4 (использовано Евклидово расстояние) [Clustering of test plots by the set of indicators presented in Table 4 (used Euclidean distance)]

4. С учётом возможной миграции НДМГ, следует провести химический мониторинг прилегающих территорий и реки Кача.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зрелов, В. и др. Жидкие ракетные топлива [Текст] / В. Зрелов, Е. Серегин. М. : Химия, 1975. – 320 с.
2. Занозина, В.Ф. и др. Независимый экологический мониторинг состояния окружающей природной среды вокруг центра ликвидации межконтинентальных баллистических ракет [Текст] / В.Ф. Занозина, М.В. Хмелева, Л.Е. Самсонова и др. // Экологические проблемы промышленных городов. Сборник научных трудов по материалам 6-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ч. 1. Саратов, 2013. – С. 192–194.
3. Ермаков, Е.И. и др. Влияние несимметричного диметилгидразина на состояние почвенно-растительной системы [Текст] / Е.И. Ермаков, Г.Г. Попова, З.М. Петрова // Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду. Мат. научно-практич. конф. – СПб.: РНЦ Прикладная химия, 1996. – С. 15–19.
4. Справочник по токсикологии и гигиеническим нормативам (ПДК) потенциально опасных химических веществ [Текст] / под ред. канд. мед. наук Кушневой В.С. и канд. мед.наук Горшковой Р.Б. – М.: ИздАт, 1999. – 272 с.
5. Седова, Г.И. и др. К вопросу о стабильности НДМГ в подзолистой супесчаной почве [Текст] / Г.И. Седова, И.В. Коваленко // Бюллетень токсикологии, гигиены и профпатологии ракетных топлив. – 1976. – №23. – С. 163.
6. Бушмарин, А.Б. и др. Комплексная экологическая оценка районов падения отделяющихся частей ракет-носителей на полигоне «Плесецк» [Текст] / А. Б. Бушмарин, Б. М. Ласкин, В. Г. Пимкин. и др. // Материалы научн. практ. конф. «Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду». – СПб.: РНЦ «Прикладная химия», 1996. – С. 5–8.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1984. – С. 6–8.
8. Ковылина, О.П. и др. Оценка жизненного состояния сосны обыкновенной в зоне техногенного загрязнения [Текст] / О.П. Ковылина, И.А. Зарубина, А.Н. Ковылин // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – №3. – С. 284–289.
9. Павлов, И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения [Текст] / И.Н. Павлов : монография. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2005. – 370 с.
10. Судачкова, Н.Е. и др. Биохимические индикаторы стрессового состояния древесных растений / Н.Е. Судачкова, И.В. Шеин, Л.И. Романова и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение РАН, 1997. – С. 129–134.
11. Фуксман, И.Л. и др. Физиолого-биохимическая индикация состояния сосны обыкновенной в связи с воздействием промышленных поллютантов [Текст] / И.Л. Фуксман, Я. Пойкалайнен, С.М. Шредерс и др. // Экология. – 1997. – №3. – С. 213–217.
12. Шумейко, П. и др. Влияние атмосферного загрязнения на корреляционные связи между биохимическими показателями деревьев на примере сосны обыкновенной [Текст] / П. Шумейко, В. Осипов // Успехи современной биологии. – 1992. – Т. 113. – Вып. 4. – С. 507–511.
13. Буйволов, Ю. и др. «Методика оценки жизненного состояния леса по сосне» [Текст] / Ю. Буйволов, А. Боголюбов. - М.: «Экосистема», 1998.
14. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1984. С. 5–7.
15. Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов европейской части России по программе ICP-Forests (методика ЕЭК ООН) [Текст]. – М., 1995. – 42 с.
16. Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных [Текст] / А.А. Халафян. – М.: Бином- Пресс, 2007. – 512 с.

REFERENCES

1. Zrellov V. Seregin E. Zhidkie raketnye topliva [Liquid Rocket Propellants]. M. Pub. Khimiya [Chemistry], 1975, 320 p. (in Russian)
2. Zanozina V.F., Hmeleva M.V., Samsonova L.E., Zorin A.D., Goryacheva N.M., Markova M.L., Gareev D.R. Nezavisimiy ekologicheskii monitoring sostoiianiia okruzhaiushchei prirodnoi sredy

- vokrug tcentra likvidatsii mezhkontinentalnykh ballisticheskikh raket [Independent Environmental Monitoring of the Environment around Center for the Elimination of Intercontinental Ballistic Missiles]. *Ekologicheskie problemy promyshlennyykh gorodov. Sbornik nauchnykh trudov po materialam 6-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Ecological problems of industrial cities. Collection of scientific papers on the materials of the 6th All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation.], Part. 1. Saratov, 2013, pp. 192–194. (in Russian)
3. Ermakov E.I., Popova G.G., Petrova Z.M. Vliyanie nesimmetrichnogo dimetilgidrazina na sostoyanie pochvenno-rastitelnoy sistemy [Influence of Unsymmetrical Dimethylhydrazine on the Soil-Plant System State]. *Ekologicheskie aspekty vozdeystviya komponentov zhidkiy raketnykh topliv na okruzhayushchuyu sredu. mat. nauchno-praktich. konf. s-pb.: rnc prikladnaya khimiya* [Ecological Aspects of the Effect of Liquid Rocket Fuel Components on the Environment. Materials of the scientific-practical conference.], 1996, pp. 15–19. (in Russian)
 4. Kushneva V.S., Gorshkova R.B. Spravochnik po toksikologii i gigienicheskim normativam (PDK) potencial'no opasnykh himicheskikh veshchestv [Handbook of Toxicology and Hygienic Standards (Mac) of Potentially Hazardous Chemicals]. M. Pub. IzdAt, 1999, 272 p. (in Russian)
 5. Sedova G.I., Kovalenko I.V. K voprosu o stabilnosti NDMG v podzolistoi supeschanoi pochve [The Stability of UDMH in Podzolic Sandy Loam Soil]. *Byulleten toksikologii, gigieny i profpatologii raketnykh topliv* [Bulletin of Toxicology, Hygiene and Occupational Pathology of Missile Fuels]. 1976, №23, p. 163 (in Russian)
 6. Bushmarin A.B., Laskin B.M., Pimkin V.G., Solovjev V.V., Careva O.A. Kompleksnaya ekologicheskaya otsenka raionov padeniya otdel'nykh chastei raket-nositelei na poligone «Plesetsk» [Integrated Environmental Assessment of Areas Separating from Parts of Rockets at the site "Plesetsk"]. *Materialy nauchn. prakt. konf. «Ekologicheskie aspekty vozdeystviya komponentov zhidkiy raketnykh topliv na okruzhayushchuyu sredu»*. Sankt-Peterburg. Pub. «Prikladnaya khimiya», 1996, pp. 5–8. (in Russian)
 7. GOST 17.4.4.02-84. Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gelmintologicheskogo analiza [State Standard 17.4.4.02-84. Protection of Nature. Soil. Methods of Selection and Preparation of Samples for Chemical, Bacteriological, Helminthological Analysis]. M. Pub. «Izdatelstvo standartov», 1984, pp. 6–8. (in Russian)
 8. Kovylin O.P., Zarubina I.A., Kovylin A.N. Otsenka zhiznennogo sostoyaniya sosny obyknovennoy v zone tekhnogennoy zagryazneniya [Assessment of the Vital State of Scots Pine in the Technogenic Pollution Zone]. *Khvoynye borealnoy zony* [Coniferous Boreal Zone], 2008, №3, pp. 284–289. (in Russian)
 9. Pavlov I.N. Drevesnye rasteniya v usloviyakh tekhnogennoy zagryaznenii: monografiya [Woody Plants in Conditions of Technogenic Pollution]. Ulan-Ude, 2005, 370 p. (in Russian)
 10. Sudachkova N.E., Shein I.V., Romanova L.I. Biokhimicheskie indikatory stressovogo sostoyaniya drevesnykh rasteniy [Biochemical Indicators of the Stress State of Woody Plants]. Novosibirsk. Pub. Nauka [Science], 1997, pp. 129–134. (in Russian)
 11. Fuksman I.L., Poykalaynen Ya., Shreders S.M. etc. Fiziologo-biokhimicheskaya indikatsiya sostoyaniya sosny obyknovennoy v svyazi s vozdeystviem promyshlennykh pollyutantov [Physiological and Biochemical Indication of the Condition of Scots Pine in Connection with the Effect of Industrial Pollutants]. *Ekologiya* [Ecology], 1997, №3, pp. 213–217. (in Russian)
 12. Shumeyko P., Osipov V. Vliyanie atmosfernogo zagryazneniya na korrelyatsionnye svyazi mezhdru biokhimicheskimi pokazatelyami derev'ev na primere sosny obyknovennoy [перевод]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Influence of Atmospheric Pollution on the Correlation between Biochemical Indicators of Trees on the Example of Scots Pine], 1992, Vol. 113, Issue 4, pp. 507–511. (in Russian)
 13. Buyvolov Yu., Bogolyubov A. Metodika otsenki zhiznennogo sostoyaniya lesa po sosne [Methods of Assessing the Forest Vital State by Pine], M. Pub. «Ekosistema», 1998. (in Russian)
 14. GOST 12038-84 Semena sel'skhozaystvennykh kultur. Metody opredeleniya vskhozhesti [State Standard 12038-84. Seeds of Agricultural Crops. Methods for Determination of Germination]. M. Pub. «Izdatelstvo standartov», 1984, pp. 5–7. (in Russian)
 15. Metodika organizatsii i provedeniya rabot po monitoringu lesov evropeyskoy chasti Rossii po programme ICP-Forests (metodika EEK OON) [Methods of Organizing and Working on Monitoring Forests in the European part of Russia under the ICP-Forests Program], M., 1995, 42 p. (in Russian)
 16. Khalafyan, A.A. Statistika 6. Statisticheskii analiz dannykh [Statistika 6. Statistical Analysis of Data]. M. Pub. Binom-Press, 2007, 512 p. (in Russian)

Definition of Soil Pollution by Missile Fuel with the Help of Test-objects

M.E. Baranov

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, Russia, 660037
e-mail: me_baranov@mail.ru*

Abstract – Nowadays there are many ways to determine the chemical contamination of the soil. The most common and universal method is considered to be biotesting. The use of different methods of biotesting makes it possible to obtain fairly accurate results.

The object of the study was the soil cover on the object of missile operation. An unfavorable environmental situation which was reflected in the preservation of a high level of phytotoxicity took place in Emelyanovsky district, Krasnoyarsk territory after the liquidation of the military unit due to the hit in the soil of a large number of components of rocket fuel (KRT). Today the territory of the military unit is unattended, special structures are destroyed. There are visible oily stains on the soil, there is a specific smell. According to testimony from military chemical reconnaissance device (VPHR) the presence in the soil KRT 0.001 mg/l, which corresponds to the level of "Danger" was established. In this regard, it is necessary to monitor the chemically contaminated soil, identify environmentally unfavorable zones, assess the possibility of soil use in forestry. For the experiment we selected 10 samples from different sites located at a certain distance from each other and covering the area close to technical facilities, as well as two control samples in the removal of three and five kilometers from the object of study.

The objective of the study is to identify soil pollution, to assess the impact of KRT on biological objects. In this regard it is necessary to determine the effect of chemical contamination on the test objects: pine ordinary *Pinus sylvestris* L. and cress lettuce *Lepidium sativum* L. conduct statistical processing of the experimental data to minimize the area to be recultivated.

Keywords: soil, chemical pollution, rocket fuel, biotesting.

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

УДК 002.2:355.05:519.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ
ПОДВИЖНОГО ЯДЕРНО - И РАДИАЦИОННООПАСНОГО
ОБЪЕКТА**

© 2018 О.А. Губеладзе*, А.Р. Губеладзе**, С.М. Бурдаков*

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

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

Одним из наиболее опасных процессов на этапе эксплуатации ядерно- и радиационноопасных объектов (ЯРОО), особенно в условиях возможного воздействия террористических диверсионных групп, является транспортирование. Целью работы является разработка подхода к исследованию эффективности подразделений перспективной системы охраны подвижного ЯРОО как при нахождении на площадке, так и при движении по маршруту.

Ключевые слова: ядерный терроризм, система охраны, ядерные энергетические установки, мобильный агрегат с ядерной установкой, транспортно-упаковочный комплект.

Поступила в редакцию: 12.02.2018

Двадцать первый век не стал веком стабильности. Сталкиваются интересы различных этнических, религиозных, социальных и политических групп. Террористические организации выражают интересы влиятельных людей, которых не устраивает существующая структура общества. Ядерный терроризм предполагает использование в качестве оружия радиоактивных материалов. Это может быть: ядерное взрывное устройство; заражение местности радиоактивными веществами без проведения ядерного взрыва; нападение террористов на ядерный реактор с намерением его разрушить и осуществить радиоактивное заражение местности.

Одним из наиболее опасных процессов на этапе эксплуатации ядерно- и радиационноопасных объектов (ЯРОО) является транспортирование [1, 2]. Для перевозки малогабаритных ядерных энергоустановок (ЯЭУ) и ядерных делящихся материалов (ЯДМ) используются различные транспортные упаковочные комплекты (ТУК). В скором времени может быть реализован проект по созданию малогабаритных атомных энергоустановок (МАЭУ) мощностью 100 киловатт и 1 мегаватт для освоения Арктики. Впервые со времени советского проекта «Памир» будет возрождена тема мобильного атомного реактора с учетом новых технологий. Новый энергоисточник будет перемещаться на транспортной платформе с тягачом высокой проходимости, что позволит ему обеспечивать энергией как удаленные, так и нестационарные объекты.

Рассмотрим случай, когда транспортный агрегат (ТА) с ЯЭУ находится на площадке (в позиционном районе). Разбиваем процесс выполнения боевой задачи

подразделениями системы охраны (СО) на этапы [3,4]. Вероятность успешного выполнения боевой задачи имеет вид

$$P_{у.в.} = P_{обн.} \cdot P_{бл.} \cdot P_{ун.}, \quad (1)$$

где $P_{обн.}$ – вероятность своевременного обнаружения противника;
 $P_{бл.}$ – вероятность успешного блокирования в районе обнаружения;
 $P_{ун.}$ – вероятность уничтожения противника.

Получение информации об объектах включает их обнаружение и распознавание. Вероятность обнаружения объекта за время поиска τ одним средством определяется:

$$P_{обн} = 1 - \exp(-\gamma\tau), \quad (2)$$

где γ – интенсивность поиска.

Если поиск проводят независимо n средств, то вероятность обнаружения объекта, хотя бы одним средством может быть представлена в виде:

$$P_{обн} = 1 - \exp\left[-\sum_{i=1}^n u_i(\tau)\right], \quad (3)$$

где $u_i(\tau)$ – потенциал поиска i -го средства.

В случае многократного дискретного наблюдения, предполагая, что каждое наблюдение проводится в тех же условиях независимо от других:

$$P_{обн} = 1 - (1 - P_{обн1})^m, \quad (4)$$

где $P_{обн1}$ – вероятность обнаружения при одном мгновенном наблюдении,
 m – число мгновенных наблюдений.

Оценка эффективности распознавания проводится методами теории распознавания образов. Одним из приемов является принцип дихотомии – распознавание проводится сначала по укрупненным признакам, а затем по более детальным. Эффективность распознавания определяется степенью подобия объектов по признакам распознавания.

Этап блокирования представим в виде двух моделей: модель фазы распределения и модель фазы наведения. Распределение сил и средств, предназначенных для блокирования обнаруженного противника, заключается в установлении однозначного соответствия между каждой диверсионной группой и средствами, предназначенными для ее уничтожения. В общем случае такая модель представляет собой оптимизацию по критерию эффективности при ограничениях на расходуемые ресурсы. В качестве ресурсов рассматриваются силы и средства, предназначенные для уничтожения противника [5]. Тогда эффективность распределения зависит от способов распределения сил и средств, а также характеристик противника. Общая постановка

задачи распределения при этом может иметь следующую форму. Определяется матрица распределения

$$C = \begin{pmatrix} m_{11} & \dots & m_{1i} & \dots & m_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{v1} & \dots & m_{vi} & \dots & m_{vk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{s1} & \dots & m_{si} & \dots & m_{sk} \end{pmatrix} \quad (5)$$

обеспечивающая минимум эффективности противника при системе ограничений:

$$C_1 n_1 + C_2 n_2 + \dots + C_i n_i + \dots + C_k n_k \leq M, \quad (6)$$

где m_{vi} – количество средств v -го типа, выделяемых на каждую группу i -го типа;

n_i – число групп противника i -го типа;

k – число типов групп противника;

C_i – i -й вектор-столбец матрицы C ;

M – вектор-столбец распределяемых средств.

В случае однотипных средств распределение характеризуется вектором :

$$C = \{m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_k\}. \quad (7)$$

$$\text{Система ограничений: } \sum_{i=1}^k m_i n_i \leq M. \quad (8)$$

В условиях высокой степени неопределенности, а также того, что на практике предельные случаи распределения не всегда реализуются, в моделях предусматривается комбинированное распределение. Это достигается заданием коэффициента централизации, характеризующего долю средств, распределенных централизованно.

Фаза наведения определяется задачей выхода сил и средств противодиверсионной борьбы в район непосредственного воздействия по выделенной на предыдущей фазе группе противника. В качестве выходных характеристик модели фазы наведения рассматриваются: точность наведения Δ_n ; вероятность наведения $P_n(\tau)$ к заданному моменту времени; математическое ожидание времени наведения t_n . Могут использоваться дополнительные характеристики, например, распределение параметров относительного движения (дальность, направление подхода и т.д.).

Рассмотрим ситуацию, когда получена информация о том, что в позиционном районе ожидается действие террористической группы противника. В данном случае – объект обнаружения является подвижным маневрирующим. Средства обнаружения (табл.1) имеются в количестве:

n – i -го типа (стационарные пункты); m – j -го типа (патрули, дозоры);

p – k -го типа (автономные подвижные средства охраны и разведки);

q – l -го типа (беспилотные летательные аппараты).

Интенсивность поиска одним подвижным средством определяется выражением

$$\gamma = \frac{2D_{обн}v_{cp}}{S_p}, \quad (9)$$

где $D_{обн}$ – дальность обнаружения (км);

v_{cp} – скорость движения средства обнаружения (км/ч);

S_p – площадь района поиска (км²).

Вероятность обнаружения в этом случае имеет вид (2). Вероятность обнаружения стационарным пунктом (СП) можно определить по формуле (4).

В случае, когда зоны наблюдения нескольких СП соприкасаются, и времена мгновенных наблюдений совпадают, то можно считать, что наблюдения ведутся одним СП с площадью зоны наблюдения равной сумме площадей зон наблюдения всех пунктов. Однако, существуют не просматриваемые участки местности, а также не соблюдается условие одновременности обзора каждым СП.

Рассмотрим подробнее проведение контрольного поиска в заданном районе.

Если A – обнаружение противника одним средством, H_i – нахождение противника в i -ом районе, а $P^I_{обн}$ – вероятность обнаружения одним средством, то для m – районов вероятность обнаружения противника n – средствами (при ограничении – определенная часть средств может обследовать только один район) вероятность события A определяется выражением:

$$P(A) = P(A/H_1) + P(A/H_2) + \dots + P(A/H_i) + P(A/H_m), \quad (10)$$

где k_i – количество средств, выделенных для i -ого района;

$P(A/H_i) = [1 - (1 - P^I_{обн})^k_i] P_i$; P_i – вероятность нахождения противника в

i -ом районе, причем $\sum k_i = n$.

Тогда можно записать:

$$P(A) = \sum [1 - (1 - P^I_{обн})^k_i] P_i. \quad (11)$$

Таблица 1. – Средства обнаружения [Detection tools]

Средства обнаружения	Стационарные		Подвижные					
	i		j		k		l	
Информация от средств обнаружения	непрерывная	дискретная	непрерывная	дискретная	непрерывная	дискретная	непрерывная	дискретная
Определяемые параметры объекта обнаружения*	$\Delta_{инф}$ $t_{уст}$	$\Delta_{инф}$ $t_{уст}$ $\Delta t_{инф}$	$\Delta_{инф}$ $t_{уст}$	$\Delta_{инф}$ $t_{уст}$ $\Delta t_{инф}$	$\Delta_{инф}$ $t_{уст}$	$\Delta_{инф}$ $t_{уст}$ $\Delta t_{инф}$	$\Delta_{инф}$ $t_{уст}$	$\Delta_{инф}$ $t_{уст}$ $\Delta t_{инф}$
Выходные характеристики	$P_n(\tau), \Delta_n, t_n$							
* $\Delta t_{инф}$ – периодичность поступления информации; $\Delta_{инф}$ – точность информации; $t_{уст}$ – время устаревания информации.								

Функция $P(A)$ будет иметь максимум в точке, где производная равна нулю $dP(A)/dh = 0$.

После этого можно определить теоретическую и реальную производительность поиска для каждого из районов. Теоретическая производительность:

$$W_T = b_{no} v_{cp}, \quad (12)$$

где $b_{по} = (ki - 1)dc + 2M_{обн}$ – эффективная ширина полосы обследования группой средств ki ;

dc – расстояние между средствами обнаружения при поиске;

$M_{обн}$ – математическое ожидание дальности обнаружения;

$v_{cp} = \xi(vc + v_{дрг})$ – средняя относительная скорость поиска;

vc и $v_{дрг}$ – скорости средства и объекта (ДРГ) соответственно;

ξ – выбирается из таблицы 2.

Таблица 2. – Значения функции ξ [ξ function values]

$vc/v_{дрг}$ или $v_{дрг}/vc$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,50	0,60	0,80	1,00
ξ	1,00	0,91	0,84	0,79	0,71	0,68	0,65	0,64

Реальная производительность поиска:

$$W_P = \frac{cS_P}{N_{дрг} \tau_n}, \quad (13)$$

где c – общее число групп, обнаруженных за время поиска;

$N_{дрг}$ – среднее количество групп террористов, находившихся в районе за время поиска;

τ_n – фактическая продолжительность поиска всеми средствами.

На основе выходных характеристик принимают решение о блокировании района нахождения противника. Если рубеж блокирования был выбран верно, то условие выполнения задачи одним подразделением по блокированию одной группы имеет вид:

$$\frac{S_1 - v_{дрг} \tau_{\delta}}{v_{дрг}} \geq 0, \quad (14)$$

где S_1 – протяженность предполагаемого маршрута группы противника до вероятного рубежа блокирования;

$\tau_{\delta} = \sum_{i=1}^n \tau_i = \tau_{он} + \tau_{лс} + \tau_{ов} + \tau_{зан}$; $\tau_{он}$ – время от момента обнаружения противника до подачи сигнала на приведение подразделения противодиверсионной борьбы в готовность к выполнению боевой задачи;

$\tau_{лс}$ – время готовности личного состава подразделения к выполнению боевой задачи;

$\tau_{ов} = k_{сут} k_{сез} k_{мест} \frac{S}{v_n}$; $k_{сут}$ – коэффициент, учитывающий влияние на скорость

Система уравнений будет иметь вид:

$$\begin{aligned} y_1 = x_1; y_5 = x_5 y_4; \bar{y}_3 = \bar{x}_3 \bar{y}_1; y_2 = x_2; y_6 = y_1 y_2; \bar{y}_4 = \bar{x}_4 \vee \bar{y}_2; \\ y_3 = x_3 y_1; y_7 = y_6 \vee y_5; \bar{y}_5 = \bar{x}_5 \bar{y}_4; y_4 = x_4 (y_2 \vee y_3); \bar{y}_1 = \bar{x}_1; \\ \bar{y}_6 = y_1 \vee y_2; \bar{y}_2 = \bar{x}_2; \bar{y}_7 = \bar{y}_6 \vee y_5. \end{aligned} \quad (15)$$

Далее определяются вероятностные параметры элементов P_i и задаются логические критерии функционирования системы.

Критерий безопасности:

$$Y_{BO} = y_7 = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot x_5. \quad (16)$$

Критерий возникновения АС:

$$Y_{AC} = \bar{y}_7 = x_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5. \quad (17)$$

В (16) и (17) представлены все возможные вариации исходных опасностей, а также минимальные безопасные и аварийные последовательности событий формирования элементов. Преобразуем исходную функцию «работоспособности» системы. Тогда:

– вероятность безопасности:

$$P_{BO} = \bar{P}_1 \bar{P}_2 + P_1 P_3 P_4 P_5 \bar{P}_2 + P_2 P_4 P_5; \quad (18)$$

– вероятность АС:

$$P_{AC} = P_1 \bar{P}_3 \bar{P}_2 + P_1 P_3 \bar{P}_4 \bar{P}_2 + P_2 \bar{P}_4 + P_2 P_4 \bar{P}_5 + P_1 P_3 P_4 \bar{P}_5 \bar{P}_2. \quad (19)$$

Следующий этап - расчет системных характеристик безопасности. Подставляя в (18) и (19) значения P_i и $\bar{P}_i$ получим вероятность безопасности участка маршрута движения.

К факторам, оказывающим влияние на вероятность уничтожения противника, относятся: принятие решения на уничтожение противника; огневая мощь (наличие тяжелого стрелкового вооружения и техники) и состояние (исправность) вооружения; характер действий противника, его боеспособность; количественное соотношение сил; характер местности; время года и суток. Наличие такого количества влияющих факторов и свойств создает объективные трудности при математизации исследуемой СО. Например, трудно определить, какие аналитические зависимости можно использовать для описания морального состояния военнослужащих [7]. В случаях отрицательного эмоционального состояния человека его боеспособность снижается в 2÷3 раза. Предлагается наряду с непосредственными потерями учитывать потери, вызываемые морально-психологическим воздействием. Величина этих потерь должна зависеть от степени подготовки личного состава подразделений в морально-психологическом отношении к ведению боя. Однако, существуют сомнения в том, что с помощью этой зависимости реальный процесс будет описываться достаточно адекватно по причине чрезвычайной малочисленности противодиверсионного подразделения. Здесь от действий каждого военнослужащего может зависеть

выполнение боевой задачи. Например, потеря 30% личного состава окажет большее влияние на моральную способность солдат к продолжению боя, чем потеря половины частей в соединении, ибо потери в подразделении происходят у них на глазах, а потерь соединения в целом они себе практически не представляют.

С целью определения боевых возможностей подразделений противодиверсионной борьбы необходимо провести расчеты по модели боевых действий. В качестве показателя боевой эффективности предлагается принять состояние и положение на местности каждой боевой единицы во временном масштабе боя, что позволяет определить ее состояние и ее местонахождение в районе боевых действий на любой момент времени.

Определяется цель боя – уничтожение у противоположной стороны (противника) максимального числа боевых единиц и выход на предполагаемый рубеж. Принимается, что при вероятности попадания в цель $P_{\text{пп}}=0,9$ цель поражена с вероятностью $P_{\text{пор}}=0,9$. При $P_{\text{пор}} \geq 0,8$ считается, что цель уничтожена. При $0,5 \leq P_{\text{пор}} < 0,8$ цель временно выведена из строя. В остальных случаях боевая единица считается непораженной. Вероятность поражения может быть представлена как параметрическая функция:

$$P_{\text{пор}} = P_{\text{пор}}(k_{\text{жц}}, q_{\text{бз}}, B_z^{\text{mtx}}, B_Y^{\text{mtx}}, B_z^{\text{yc}}, B_Y^{\text{yc}}, k_{\phi}), \quad (20)$$

где $k_{\text{жц}}$ – коэффициент живучести цели, зависящий от защищенности, маскировки (использование камуфляжа и т.д.), профессиональной выучки, размеров;

z – высота, Y – ширина;

$q_{\text{бз}}$ – мощность боевого заряда;

$B_z^{\text{mtx}}, B_Y^{\text{mtx}}$ – суммарные срединные отклонения по высоте и боковому направлению, зависящие от ТТХ оружия;

$B_z^{\text{yc}}, B_Y^{\text{yc}}$ – суммарные срединные отклонения, зависящие от условий применения;

k_{ϕ} – коэффициент фигурности цели (степень отличия формы цели от прямоугольника).

При одном выстреле вероятность поражения цели определяется по выражению [3,6]:

$$P_{\text{пор}}^1 = 0,25 \left[\Phi\left(\frac{z/2}{B_z^{\text{mtx}}}\right) - \Phi\left(\frac{z/2}{B_z^{\text{yc}}}\right) \right] \times \left[\Phi\left(\frac{Y/2}{B_Y^{\text{mtx}}}\right) - \Phi\left(\frac{Y/2}{B_Y^{\text{yc}}}\right) \right] \cdot k_{\phi} \cdot k_{\text{жц}}. \quad (21)$$

Здесь $\Phi(\alpha)$ – функция нормального распределения (функция Лапласа).

При нескольких одиночных выстрелах вероятность поражения определится:

$$P_{\text{пор}}^{(n)} = 1 - (1 - P_{\text{пор}}^{(1)})^n, \quad (22)$$

где $(1 - P_{\text{пор}}^{(1)})$ – вероятность промаха.

Для одной очереди:

$$P_{пор}^{(оч)} = 1 - (1 - P_{пор}^{пер}) \cdot (1 - P_{пор}^{пос})^n, \quad (23)$$

где $P_{пор}^{пер}$ – вероятность поражения первой пулей;

$P_{пор}^{пос}$ – вероятность поражения последующими пулями.

Определение вероятности поражения целей автоматическим огнем по формуле (23) дает завышенные результаты, их следует уменьшить на 5–7%.

Адекватность модели будет наиболее полной, если при этом учитывается пространственный фактор. На моделях кинематики боя можно вести исследования влияния взаимного расположения подразделений, их маневра, местности, ее инженерного оборудования на эффективность боевого применения подразделения. При построении модели следует учитывать, прежде всего, вопросы темпов наступления и маневра. Так как маневр происходит на местности, которая характеризуется рельефом, покровами растительности, различными местными предметами, препятствиями и элементами инженерного оборудования, то все это должно найти в модели свое отражение. Подробное описание местности возможно, но оно приводит к резкому повышению объема исходной информации. Имеет смысл учитывать только наиболее характерные особенности, оказывающие наибольшее влияние на перемещение боевых порядков. Таким образом, модель кинематики боя описывает маршрут движения боевых групп (подразделений) наступающей стороны в сторону некоторого фиксированного рубежа выполнения задачи. Маневр в бою моделируется по принципу сведения к непрерывному измерению проходимого боевой единицей пути и дирекционного угла направления движения и вычислению на основе этих данных координат местоположения единицы на текущий момент.

В любом случае неперенным условием выполнения боевой задачи является сохранение боеспособности подразделения. Огневые возможности подразделения могут быть выражены суммарным объемом огневых задач, которые могут решаться штатными огневыми средствами.

В результате проведения исследования эффективности может быть предложено несколько вариантов СО, которые позволят решать боевые задачи с одинаковым качеством. Если обоснованные выше составы подразделений по своим боевым потенциалам равнозначны, то проводится сравнительный анализ их стоимостных характеристик по алгоритму обоснования оптимального боевого состава. Затем проводится сравнительная оценка выбранного варианта [8,9,10] с существующими СО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месхи, Б.Ч. и др. Пожарная безопасность ядерно- и радиационноопасных объектов [Текст] / Б.Ч. Месхи, О.В. Денисов, О.А. Губеладзе – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2014. – 162 с.
2. РД-07-01-2004. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Методические указания по проведению оценки физической защиты ядерно и радиационноопасных объектов по результатам проведенной инспекции. Приказ №126 от 11.10.2004 г. [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=337925#007041239045211478> – 5.12.2017. URL:
3. Абчук, В.А. и др. Справочник по исследованию операций [Текст] / В.А. Абчук, Ф.А. Матвейчук, Л.П. Томашевский. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.

4. Сахабудинов, Р.В. и др. Научно-методические основы обеспечения физической защиты ядерноопасных объектов. [Текст] / Р.В. Сахабудинов, О.А. Губеладзе. – Ростов н/Д: ООО «Терра», 2006. – 153с.
5. Тараканов, К.В. Математика и вооруженная борьба [Текст] / К.В.Тараканов. – М.: Воениздат, 1974. – 240 с.
6. Губеладзе, О.А. Исследование эффективности системы физической защиты ядерноопасных объектов [Текст] / О.А. Губеладзе // Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – Спецвыпуск. – С. 127–129.
7. Ушаков, И.Б. и др. Человеческий фактор в системе безопасности ядерного оружия и ядерно-энергетических установок [Текст] / И.Б. Ушаков, Б.И. Давыдов, В.Г. Зуев // Военно-теоретический журнал «Военная мысль». – 2003. – №9. – С. 25–29.
8. Денисов, О.В. и др. Комплексная безопасность населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Проблемы и решения: моногр. [Текст] / О.В. Денисов, О.А. Губеладзе, Б.Ч. Месхи, Ю.И. Булыгин; под общ. ред. Ю.И. Булыгина. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016. – 278 с.
9. Губеладзе, О.А. и др. Обоснование выбора варианта военной системы [Текст] / О.А. Губеладзе, Р.В. Сахабудинов, Р.А. Гончаров // Сборник материалов МНПК. – Ч. I. – Ростов н/Д. : РЮИ МВД России, 2006. – С. 96–99.
10. Губеладзе, О.А. и др. Организационные мероприятия по совершенствованию физической защиты ядерноопасных объектов позиционного района. Сб. научных трудов. «Проблемы обеспечения безопасности» Т. 4. [Текст] / О.А. Губеладзе, Р.А. Гончаров. – М.: Военная академия Ракетных войск стратегического назначения, 2008. – С. 62–68.

REFERENCES

- [1] Meskhi B.Ch., Denisov O.V., Gubeladze O.A. Pozharnaya bezopasnost' yaderno- i radiatsionnoopasnykh ob'ektov. [Fire Safety of Nuclear and Radiation Hazardous Objects]. Rostov-on-Don. Pub. Don State technical university [Publishing center Don State technical university], 2014, 162 p. (in Russian)
- [2] RD-07-01-2004. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskemu i atomnomu nadzoru. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu otsenki fizicheskoy zashchity yaderno i radiatsionnoopasnykh ob'ektov po rezul'tatam provedennoy inspektsii. Prikaz №126 ot 11.10.2004 g. [Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision. Methodical instructions on evaluating physical protection yaderno and radiation-hazardous objects by results of the carried-out inspection. Order No. 126 from 10/11/2004], Ofitsial'nyy sayt kompanii «Konsul'tant Plyus» [Official site of the Consultant Plus company], 2016. Available at: <http://consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=337925#007041239045211478> – 5.12.2017. (in Russian)
- [3] Abchuk V.A., Matvejchuk F.A., Tomashevskij L.P. Spravochnik po issledovaniju operacij [Reference Book on Research of Operations]. M. Pub. "Voenizdat" [literature publishing house], 1979, 368 p. (in Russian)
- [4] Sakhabudinov R.V., Gubeladze O.A. Nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniya fizicheskoy zashchity yadernoopasnykh ob'ektov [Scientific and Methodical Bases of Ensuring Physical Protection of Nuclear-Dangerous Objects]. Rostov-on-Don. "LLC Terra " [Limited liability company "Terra"], 2006, 153 p. (in Russian)
- [5] Tarakanov K.V. Matematika i vooruzhennaja bor'ba [Mathematics and Armed Struggle]. M. "Voenizdat" [literature publishing house], 1974, p. 240. (in Russian)
- [6] Gubeladze O.A. Issledovanie effektivnosti sistemy fizicheskoy zashchity yadernoopasnykh ob'ektov [Research of Physical Protection System Effectiveness of Nuclear-Dangerous Objects] [Scientific-educational and applied journal. University news north-caucasian region. Technical science series. Application], 2008, Special Issue, ISSN 0321-3005, pp. 127–129. (in Russian)
- [7] Ushakov, I.B., Davydov B.I., Zuev V.G. Chelovecheskij faktor v sisteme bezopasnosti jadernogo oruzhija i jaderno-jenergeticheskikh ustanovok [Human Factor in Security System of Nuclear Weapon and Nuclear Power Stations]. Military and theoretical magazine "Voyennaya Mysl", 2003, № 9. pp. 25–29. (in Russian)
- [8] Denisov O.V., Gubeladze O.A., Meskhi B.Ch., Bulygin Yu.I. Kompleksnaya bezopasnost' naseleniya i territoriy v chrezvychaynykh situatsiyakh [Complex Safety of the Population and Territories in Emergency Situations. Problems and Solutions]. Rostov-on-Don. Pub. "Don State technical university" [Publishing center Don State technical university], 2016, p. 278. (in Russian)

- [9] Gubeladze, O.A., Sahabudinov R.V., Goncharov R.A. Obosnovanie vybora varianta voennoj sistemy [Justification of the Choice of Military System Option] [Collection of materials of the international scientifically practical conference]. Rostov-on-Don. Pub. "Rostov legal institute of the ministry of internal affairs of the Russian federation" [Publishing center Rostov legal institute of the ministry of internal affairs of the Russian federation], 2006. pp. 96–99. (in Russian)
- [10] Gubeladze O.A., Goncharov R.A. Organizacionnye meroprijatija po sovershenstvovaniju fizicheskoy zashchity jadernoopasnykh ob'ektov pozicionnogo rajona. Sb. nauchnykh trudov. «Problemy obespechenija bezopasnost» Tom. 4. [Organizational Actions for Physical Protection Improvement of Nuclear Dangerous Objects of the Position Area. Paper scientific works. "Safety Problems" Vol. 4.] M. Pub. "Military academy of the Strategic Missile Troops" [Publishing center Military academy of the Strategic Missile Troops], 2008, pp. 62–68. (in Russian)

Research of the Protection System Effectiveness for a Mobile Nuclear and Radiation Hazardous Facility

O.A. Gubeladze^{*1}, A.R. Gubeladze^{**2}, S.M. Burdakov^{*3}

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

^{**} Don State Technical University

Gagarin square 1, Rostov-on-Don, Russia, 344000

¹ e-mail: buba26021966@yandex.ru

ORCID iD: 0000-0001-6018-4989

WoS ResearcherID: F-6921-2017;

² e-mail: buba26021966@yandex.ru

ORCID iD: 0000-0002-6966-6391

WoS ResearcherID: F-7215-2017 ;

³ e-mail: SMBurdakov@mephi.ru

ORCID iD: 0000-0002-8599-6008

WoS ResearcherID: F-6903-2017

Abstract – Transportation is one of the most dangerous processes at the stage of operation of nuclear and radiation hazardous facilities especially in the context of the possible impact of terrorist subversive groups. The aim of the work is to develop an approach to research the effectiveness of prospective system units for the protection of mobile nuclear and radiation hazardous facilities both at the site and during the route.

Keywords: nuclear terrorism, security system, nuclear power plants, mobile unit with a nuclear installation, transport and packaging kit.

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

УДК 621.791.72

**ОРБИТАЛЬНАЯ ГИБРИДНАЯ ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА
ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОМОЩНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

© 2018 С.Э. Гоок*, А.В. Гуменюк***, М. Ретмайер*****

* Общество Фраунгофера, Институт производственных систем и технологий конструирования ИПК,
Берлин, Германия

** Федеральное ведомство по исследованию и испытаниям материалов БАМ,
Берлин, Германия

*** Берлинский технический университет, Берлин, Германия

Целью настоящей работы являлось исследование орбитального гибридного лазерно-дугового процесса для оценки его применимости для сварки кольцевых неповоротных стыков толстостенных труб большого диаметра.

На трубах диаметром 36" с толщиной стенки 16 мм успешно продемонстрирована сварка кольцевого стыка в два полуорбитальных прохода на спуск со средней скоростью процесса 2 м/мин и мощностью лазера 19 кВт. Потолочное положение сварки (участок от 150° до 180°) является наиболее сложным с точки зрения обеспечения качественного формирования корня. Адаптация скорости подачи сварочной проволоки, скорости сварки, а так же применение формирующего газа заметно улучшают качество корня в потолочном положении сварки. Сканирующая оптика зарекомендовала себя как эффективный инструмент позволяющий расширить допуски на зазоры в стыке, а так же компенсировать небольшие ошибки позиционирования сварочной головки относительно стыка. Установленная для свариваемой толщины 16 мм величина зазора, при котором еще возможен стабильный процесс без дефектов сплавления, составляет 0,7 мм. При сварке обычной оптикой без сканирующего модуля величина максимально допустимого зазора кромок составляет 0,3 мм. С применением предварительного подогрева достигнуто увеличение времени охлаждения $t_{8/5}$ с одной секунды до 16 секунд, что способствовало значительному снижению микротвердости в зоне термического влияния.

Настоящие исследования проведены в рамках проекта MNPQ FK19/07 при финансовой поддержке Федерального Министерства образования и исследований Германии. Авторы выражают благодарность партнерам со стороны производства, фирмам Vietz GmbH и HIGHYAG, за плодотворное сотрудничество и предоставление оборудования для проведения экспериментов.

Ключевые слова: сварка, гибридная лазерно-дуговая сварка, орбитальная сварка, трубопроводы высокого давления, оптоволоконные лазеры.

Поступила в редакцию: 12.02.2018

1. Introduction

The growing necessity of constructing onshore and offshore pipelines for transporting oil and gas was the economic and technical background of this study. In pipeline construction, conventional manual or semi-automated arc welding processes are still used, which very often lead to a higher occurrence of weld imperfections compared to the fully automated arc welding processes [1]. Oil and gas transmission pipe lines are very large constructions, e. g. with outer diameters of 1.22 m (48") and wall thicknesses of 32 mm. Multi-pass welding is a

method commonly used for joining thick plates and, in conjunction with arc welding, it is a highly elaborate and time-consuming process [2].

For fast, economically efficient and safe construction as well as laying of future pipelines, it is necessary to apply new welding techniques which will be able to join pipes fully automatically in a single operation.

The only applicable method for solving this task seems to be laser welding, or laser-hybrid welding which is a combination of two processes, i.e. a laser beam welding process and an arc welding process. The electron beam welding process has a significantly higher technical complexity and can therefore not be used for these applications [3].

For joining a pair of pipes, the so-called girth welding process is applied, where the welding head is moved around the pipe circumference.

Girth pipeline welding has long been known, and there are also many examples showing the applicability of the laser beam in all-position welding. Many experiments have been carried out to establish the girth welding process using CO₂- and Nd:YAG-lasers for pipelines with wall thicknesses ranging from 10 mm to 15 mm. It has been shown that a stable process can be realized in all welding positions with a 12 kW CO₂-laser for maximum wall thicknesses of 13 mm [4]. With greater thicknesses, welding should be carried out in a horizontal welding position to prevent droplet formation. The required wall thickness could not be welded using Nd:YAG-lasers on grounds of a comparatively poor beam quality, so that the final pass should be performed by gas metal arc (GMA) welding [5]. It could be shown that laser-hybrid welding has in principle a significant advantage over laser welding because of the lower requirements as regards the gap and edge mismatch. The positive effects on the crystalline structure of the welds have been pointed out in [6]. It was furthermore clear that laser welding does not provide sufficient weld quality with increasing wall thickness. Weld imperfections occurring at the centre line of laser welds are typical in thick plate welding [7].

With the recent introduction of multi-kilowatt fibre lasers combining high beam quality with an impressive energy efficiency, it was possible to broaden the spectrum of laser beam and laser-hybrid welding applications widely. Application of these lasers for welding thick-walled structures, such as pipes with wall thicknesses from 16 mm onwards, is interesting, because the fibre lasers with output power of above 15 kW offer sufficient penetration depth to allow economically efficient welding of the pipes, i.e. with a reduced number of welding passes and with a lower amount of filler material.

The focus of this paper is to show the application of a laser-hybrid welding process using a 20 kW fibre laser and a GMA torch for orbital welding of pipelines with a wall thickness of 16 mm. The main goal of the investigation is to realize a stable and crack free girth welding process for the complete circumferential weld.

2. Materials, joint preparation and experimental setup

The plates (16 mm x 70 mm x 300 mm) and pipe rings of X65 with outer diameter of 36" and a wall thickness of 16 mm were used for the welding experiments. The rings were cut out from a pipe manufactured in accordance with the American Petroleum Industry (API) standard which corresponds approximately to EN 10208-2. The chemical composition of the base material is given in Table 1.

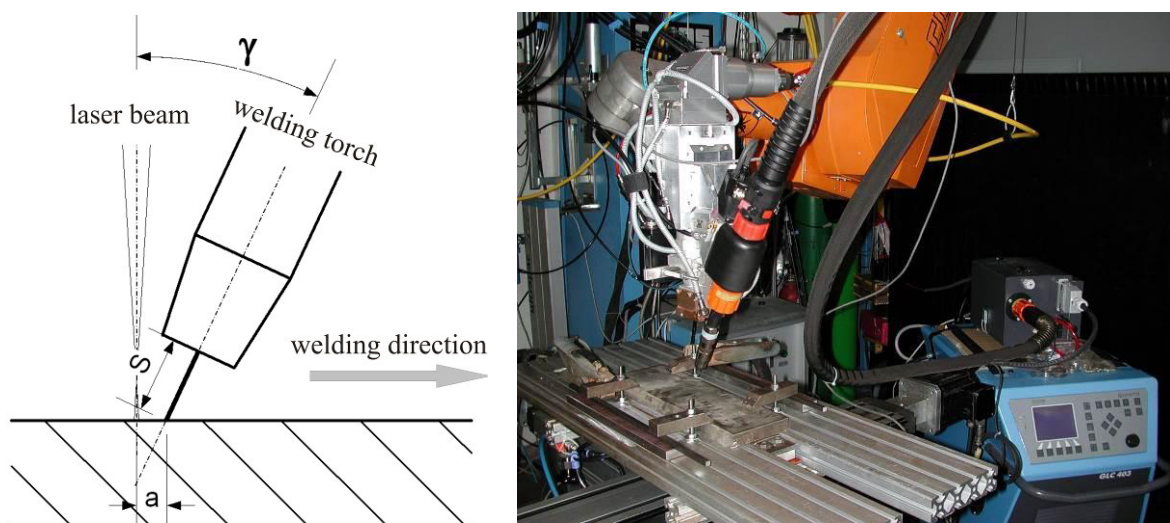
For both materials, the percentage of phosphorus and sulphur are below the accepted level for laser beam welding [8].

Tab. 1: Chemical composition of the base material API 5L X65 according to chemical analysis

<i>material,</i> <i>t = 16 mm</i>	<i>C</i> in wt.-%	<i>Si</i> in wt.-%	<i>Mn</i> in wt.-%	<i>P</i> in wt.-%	<i>S</i> in wt.-%
plates	0.04	0.34	1.48	0.006	0.001
pipe rings	0.089	0.363	1.56	0.012	0.001
	<i>Cr</i> in wt.-%	<i>Ni</i> in wt.-%	<i>Cu</i> in wt.-%	<i>Mo</i> in wt.-%	<i>Fe</i> in wt.-%
plates	0.17	0.03	0.20	0.01	balance
pipe rings	0.03	0.043	0.022	0.008	balance

The gas mixture ARCAL 21 (8% CO₂ in Ar) was used as shielding gas in accordance with EN 439-M21. The welds were produced using the filler wires G3Si1 and G3Ni1 with a diameter of 1.2 mm in accordance with DIN EN 440.

The welding experiments were performed with a 20 kW Yb fibre laser (IPG) (wave length 1.07 μ m, beam parameter product 11.2 mm * mrad). A micro-processor controlled welding machine GLC 603 Quinto (Cloos) with a rated output of 600 A was used as the GMA power source. The experimental hybrid welding system used for welding experiments with plates and experimental execution can be seen in Fig. 1. Welding was carried out with leading arc, backhand with a fixed angle γ of 25° and varying parameters a and S . During the welding trials it was observed that backhand torch configuration leads to better process stability. The root dropping of the molten metal could be reduced significantly, especially when thicker plates were welded. Furthermore, the penetration was deeper than with forehand torch configuration, when identical welding parameters were used.

**Fig. 1:** Hybrid welding system used for the welding experiments with plates and experimental execution

An orbital welding device (Vietz) was used for producing the girth welds, Fig. 2. The device includes a guide ring (1) and an orbital carriage (2) that can be motor-displaced along the guide ring. A hybrid welding head (3) that combines the laser optic (HighYag) (4) and the GMA torch (5) is mounted on the orbital carriage. The specimen (6) can be fixed centrally to the guide ring. The radial alignment of the specimen was adjusted with mounting screws (7).

The optic used for the experiments with plates had a focal length of 300 mm and optic used for the girth welds had a focal length of 350 mm. The laser beam was transmitted by an optical fibre with a core diameter of 0.2 mm and focussed to the diameter of 0.5 mm and 0.56 mm accordingly. A scanner optic with a scanner mirror was also tested for the girth

welds. The diameter of the beam focus spot delivered by this optic was 0.42 mm. The plates and pipe rings were butt welded in one pass.

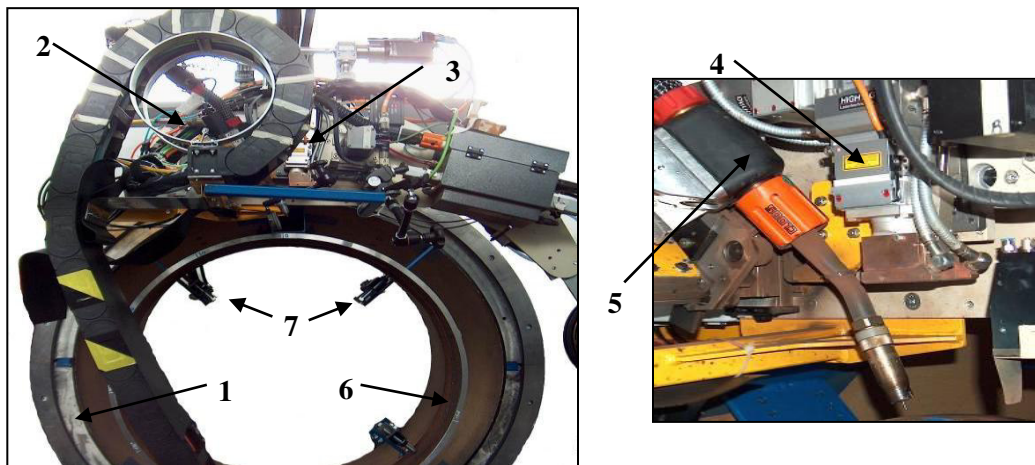


Fig. 2: Orbital welding device with welding head

3. Results and discussion

3.1 Welding experiments in discrete positions

In the first step of the study, the relationship between material behaviour, e.g. outer appearance of the weld bead and welding parameters, was investigated for welding in discrete positions. The experiments in positions PF (up) and PG (down) at angles of 30°, 60° and 90° were performed for 16 mm plates of X65. The experimental setup is shown in Fig. 3.

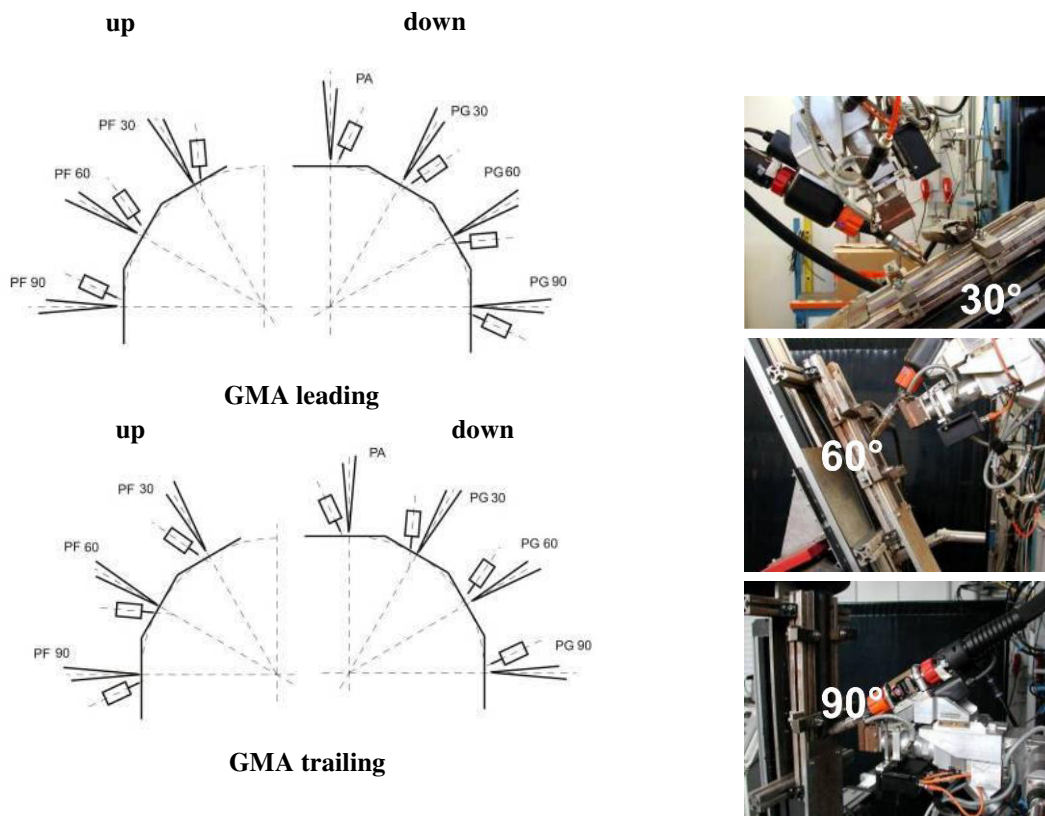


Fig. 3: Experimental setup for positional welding

The first results indicated that the laser-hybrid process can be used in PG (down) up to 90°. Welding in PG positions results in typical weld sink formation (see Fig. 4).

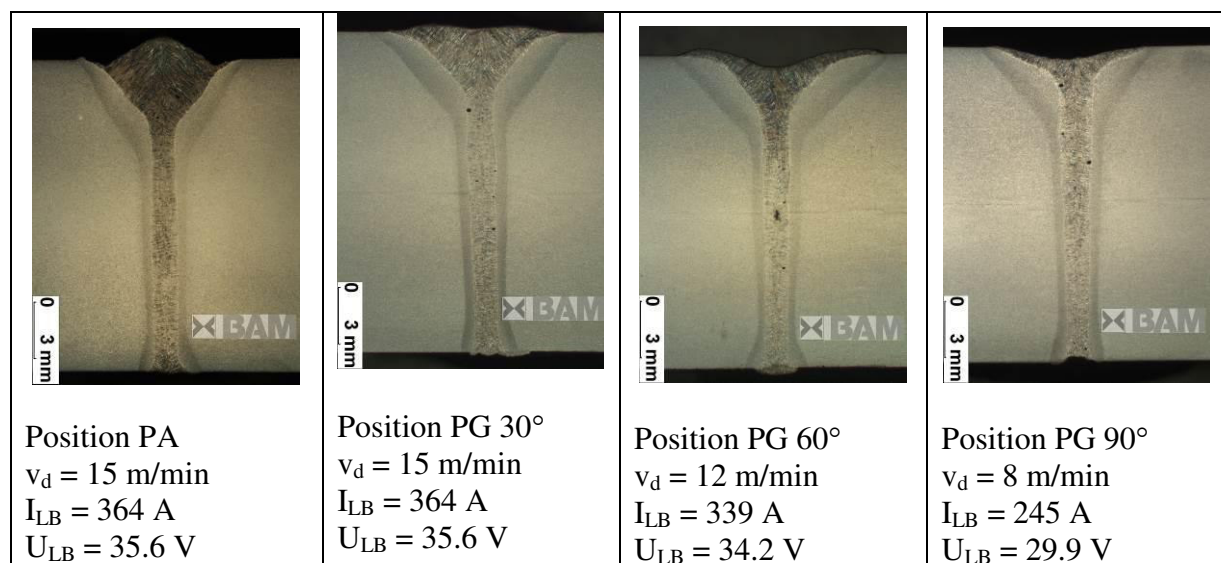
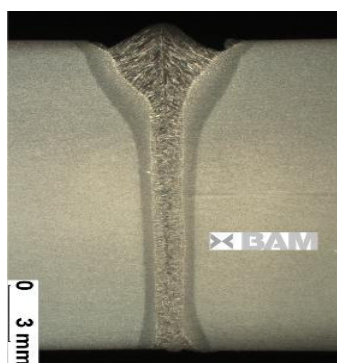


Fig. 4: Positional welding PG (down), $P_L = 17 \text{ kW}$, $v_s = 2 \text{ m/min}$, $t = 16 \text{ mm}$

For PG 30°, the same welding parameters as for PA can be used. With increasing angle, the welding parameters of the GMA process have to be adapted. The welding process in PG (down) proved to be more stable on the root side than in PA position, which can be explained by the change of forces in the weld pool (hydrostatic pressure). That leads in the end to less root dropping and fewer need of filler material.

Welding in position PF (up) leads to a stable process up to an angle of 30°. Instead of an undercut, significant weld reinforcement is observed (see Fig. 5).



$t = 16 \text{ mm}$
 $P_L = 17 \text{ kW}$
 $v_w = 2 \text{ m/min}$
 $\Delta Z = -4 \text{ mm}$
 $v_d = 10 \text{ m/min}$
 $I_{LB} = 272 \text{ A}$
 $U_{LB} = 29.5 \text{ V}$

Fig. 5: Positional welding PF (up) 30°

With a further increase of the angle (60°, 90°), the process becomes instable and droplet-like bead formation occurs. For the position PG 60° (up), a solution was found through a cooling treatment of the weld pool. This was realized by an additional argon shielding gas which was blown to the back part of the weld pool (see Fig. 6).

Position PG 90° (up) was not suitable for welding with the laser-hybrid process. Good results were achieved with laser beam welding (see Fig. 7). Additional use of a cold wire led to better results with a tendency towards a weld reinforcement instead of a weld sink (see Fig. 7 right).

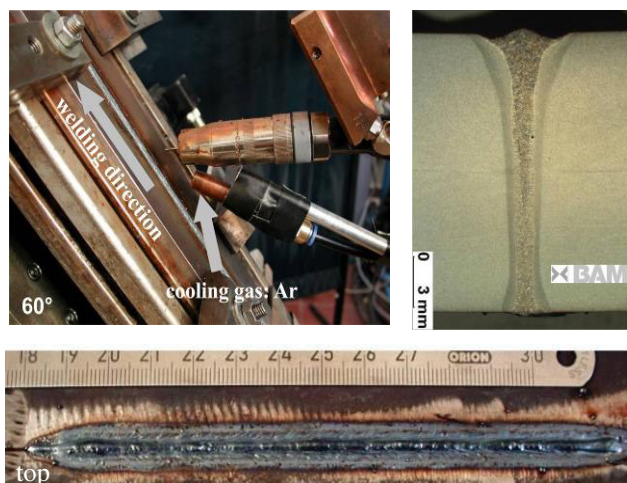


Fig. 6: Positional welding PF (up) 60°,
t = 16 mm

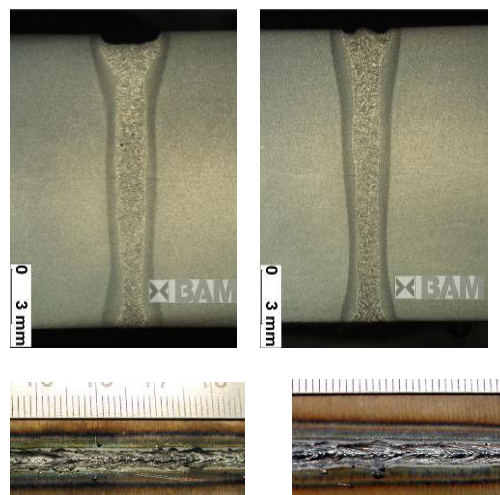


Fig. 7: Positional welding PF (up) 90°,
t = 16 mm

3.2 Girth welding experiments

The girth welding experiments were performed in vertical down position, so that the girth weld can be completed in two halves. The welding parameters used for the experiments are given in the Table 2.

Tab. 2: Welding parameters

Laser power P_L in kW	19
Welding speed v_s in m/min	1.8...2.2
max. Arc current I in A	410
max. Arc voltage U in V	33
Arc mode	Pulse U/I
Arc length L_{LB} in %	-12...5
Wire feed speed v_d in m/min	6...15
Flow rate of shielding gas in l/min	22...30

Continuous welding from the flat (0°) to the overhead position (180°) was performed by interpolating proper welding parameters which were obtained from the discrete welding positions. The distance between the laser beam and the arc was fixed to be 3.5 mm, based on the results of preliminary examinations.

As shown in Fig. 8, a girth weld can be completed in the positions from 0° to 180° with four sets of welding parameters (P) which can be sequentially changed according to the actual welding position by using a corresponding control system.

A beam power of 19 kW was used in order to get full penetration welds at an acceptable welding speed of about 2 m/min. Too low welding speeds (<1.8 m/min) resulted in the appearance of droplets on the root side, especially in the flat position. The beam power and welding speed were kept constant for all welding positions. An acceptable weld bead

configuration could be obtained by adaptation of the wire feed speed. The wire feed speed at the start of the welding should be reduced from 14 m/min in the flat position to 8 m/min in the 90° position.

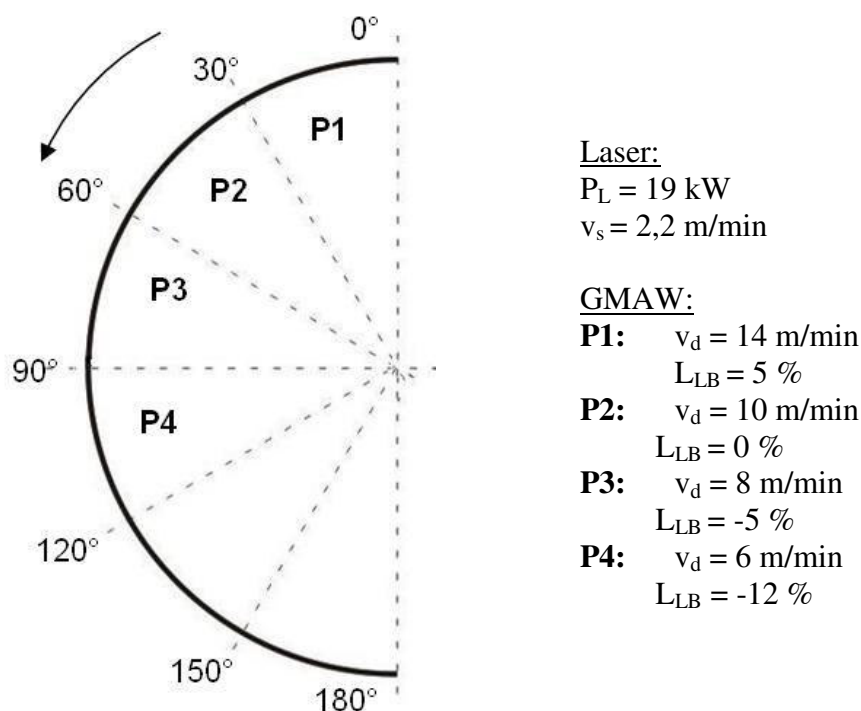


Fig. 8: Schematic diagram of the girth welding experiments with adapted process parameters

From this position through to the overhead position (180°), the wire feed speed had to be kept at 6 m/min to avoid outflow of metal from the molten pool. In addition to the wire feed speed, the arc length had to be controlled, i.e. decreased from +5 % to -12% relative to the appropriate arc length for the GMAW parameters (arc current and arc voltage) by travelling from the flat position to the overhead position. The shorter arc with accordingly higher arc pressure acting on the molten pool resulted in a good bead formation on the top side of the welds in the overhead position.

Figure 9 shows cross-sections as well as outer appearances of the welds made using the welding parameters indicated in Fig. 8.

A visual inspection of the welds shows that the most stable weld bead formation was obtained from the flat position of 0° through to the vertical position of about 150°. Slight underfilling on the top side of the welds could however be observed in the positions from about 50° to 80°.

In the welding positions between 150° and 180°, it was most difficult to obtain a weld bead with an acceptable root side quality. In these positions, the critical problem was lack of molten metal on the back side because it hung down under the force of gravity. On the other hand, the process was very sensitive to the precision of the welding head positioning relative to the butt joint. The laser beam displacements of about 0.3 mm from the butt resulted in a lack of side-wall fusion on the back side. The adaptation of welding parameters such as welding speed and wire feed speed did not lead to stable and reproducible results in these positions.

The most promising results were obtained by adopting a method for beam modulation using a scanner optic.

Some specimens have been tacked with a predefined misalignment of up to 2.0 mm. It was possible to produce sound welds as already shown in [9].

3.3 Welding experiments using a scanner optic

The experiments using a scanner optic were carried out to investigate the possibilities of influencing errors arising from welding head positioning and from dimensional tolerances such as a gap.

The applied scanner optic has a mirror module with a scanner mirror made of copper and silver coated. The scanner mirror can be rotated by a motor at an adjustable angle, so that a maximum scan width of about 13.2 mm (± 6.6 mm) can be achieved. The scanner frequencies up to 1 KHz can be supported by the control unit. The chosen wave form was sinus.

First, several test welds were produced in the flat position on the 16 mm plates of X65 without gap with a variation of the scanner amplitude and frequency. It was seen that a stable welding process is realizable with a frequency in the range from 200 Hz to 400 Hz and a scan width of up to 1.0 mm. An increased molten area can be also seen on the cross-sections of welds in Fig. 10.

The results were transferred onto pipe rings where the process was investigated for discrete welding positions as well as for half circumferential welds (from 0° to 180°). The experiments have shown that the application of a scanner optic yield an improved weld bead formation, especially for the overhead position.

Thus, the bead width could be adapted so that errors due to deviations in positioning of the welding head with respect to the butt joint were compensated and therefore a stable welding process with good side-wall fusion was obtained, Fig. 11. However, further investigations have to be made in order to reduce the occurring welding splashes.

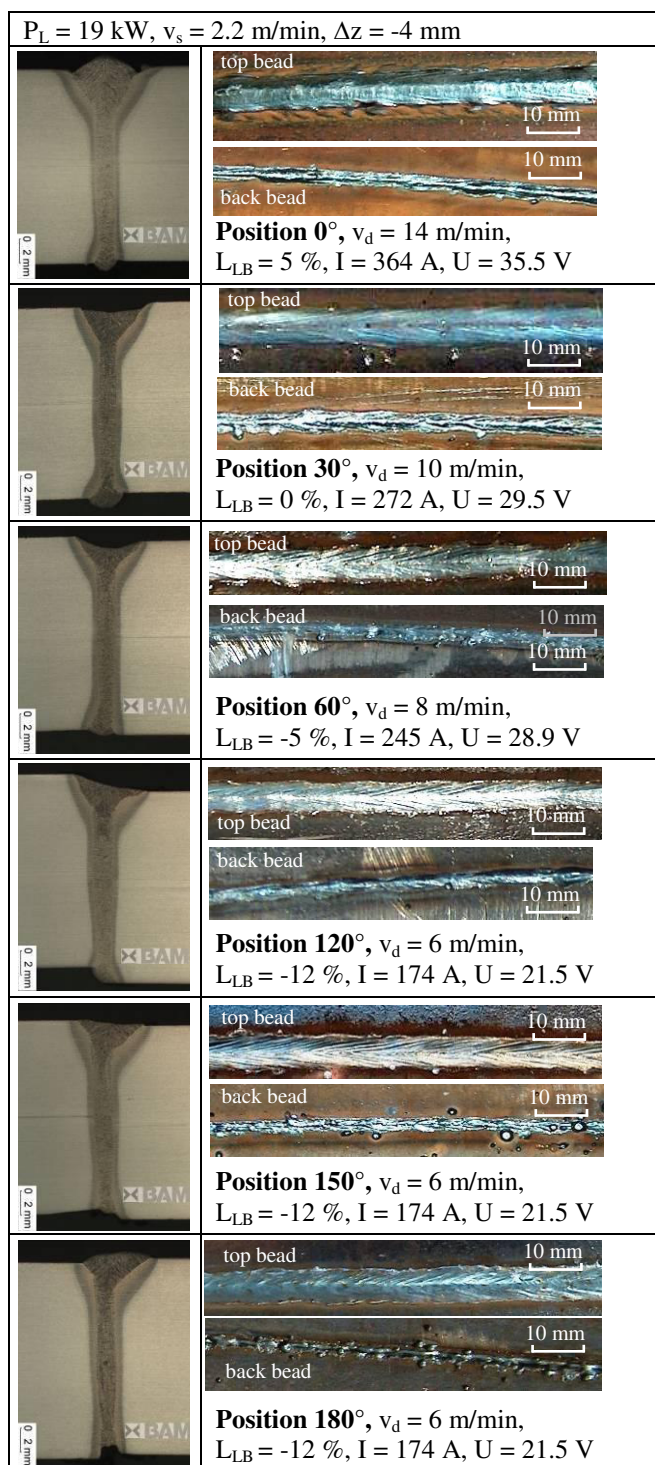


Fig. 9: Cross-sections and outer appearances of the laser-hybrid welds of 16 mm thick pipes X65 with outer diameter of 36"

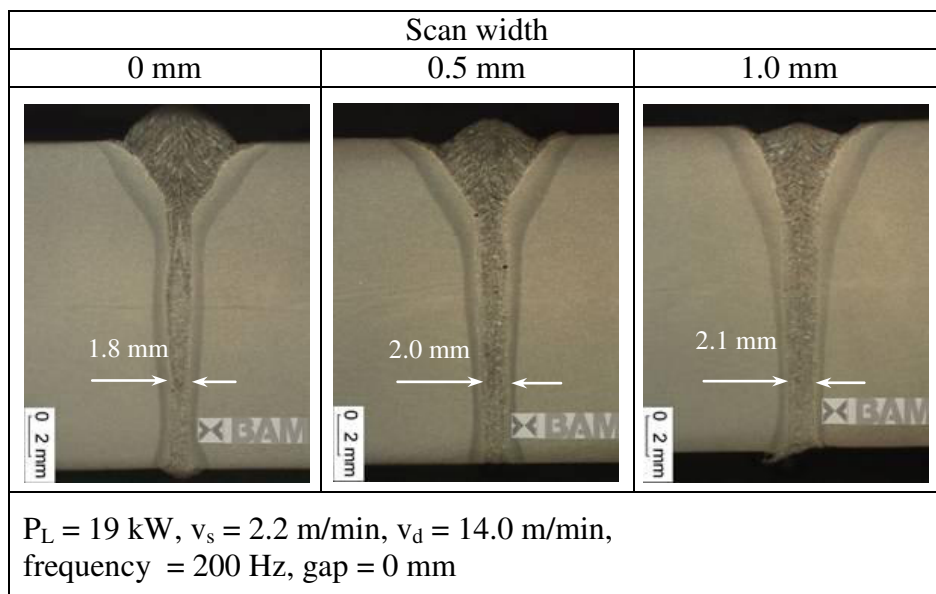


Fig. 10: Cross-sections of laser-hybrid welds of 16 mm plates X65 using a scanner optic

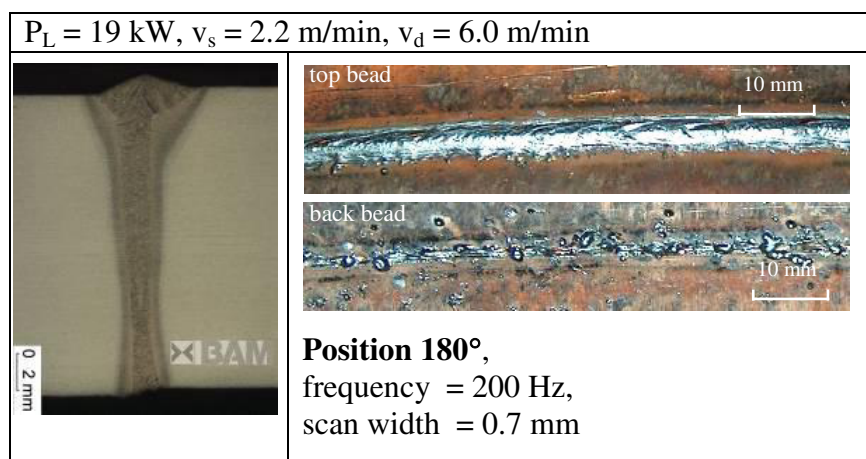


Fig. 11: Cross-section and outer appearance of a laser-hybrid weld in the 180° position produced using a scanner optic

The influence of scanner parameters on the gap bridging ability was investigated. The 16 mm plates of X65 with gap widths ranging between 0.2 mm and 0.7 mm were welded to identify an acceptable criterion of the gap width, at first for the flat position.

As Fig. 12 shows, an acceptable shape of the weld bead can be obtained with the gap widths of up to 0.7 mm. A tolerable gap width using conventional optic for this thickness was limited to about 0.3 mm [9, 10, 11]. Larger gaps resulted in lack of side-wall fusion and undercuts, Fig. 12 left.

Further welding experiments with gap and mismatch will be made on the pipe rings to investigate dimensional tolerances of edge misalignment in all welding positions.

4. Conclusions

This study has investigated the process of girth laser-hybrid welding of pipelines using a 20 kW fibre laser. The welding process was examined for pipe rings of X65 with an outer diameter of 36" (914 mm) and wall thickness of 16 mm. The results obtained may be summarised as follows:

- (1) An acceptable weld bead can be obtained in principle in each welding position ranging from flat position (0°) to overhead position (180°). The most difficult welding position to obtain a weld bead with an acceptable root side quality is a section between 150° and 180° .
- (2) The welding parameters were found to establish an appropriate laser-hybrid welding conditions for the 16 mm thick pipe of X65. Beam power and welding speed can be kept constant for all welding positions. The wire feed speed and arc length should be adapted by travelling from the flat position to the overhead position.
- (3) The scanner optic is an effective tool for the compensation of errors due to deviations in positioning of the welding head with respect to the butt joint and different gap sizes. By applying this technique, acceptable root quality could be obtained for the welds produced in overhead position where the process is very sensitive to the positioning of the welding head relative to the butt joint. The upper limit of the gap obtained for the plates of X65 in flat position was 0.7 mm which is more than two times bigger as without a scanner optic.

Acknowledgement

The girth welding experiments were carried out within the Project MNPQ-Transfer FK19/07 financed by BMWi Federal Ministry of Economics and Technology, Germany.

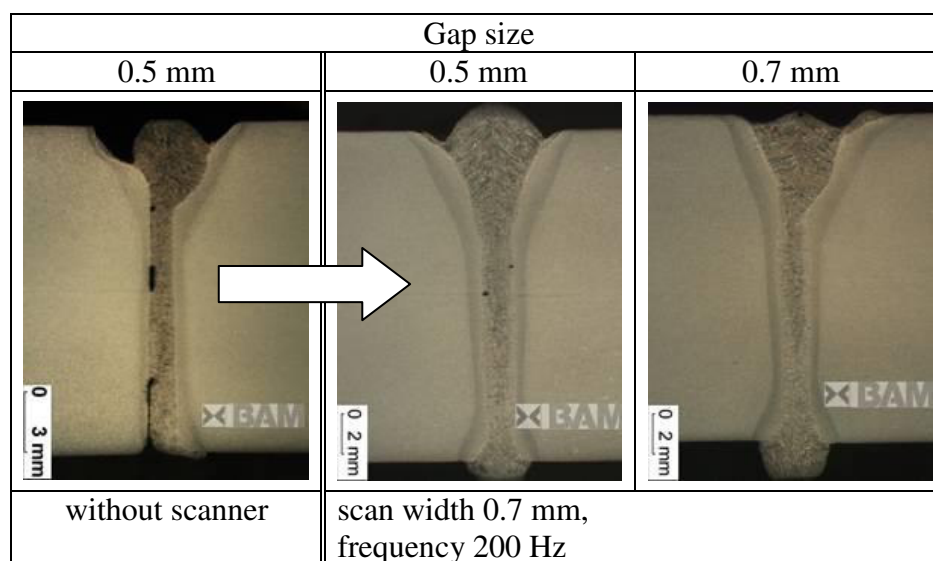


Fig. 12: Cross-sections of laser-hybrid welds of 16 mm thick plates X65 with gaps

REFERENCES

- [1] Nakamura S., Ikuno Y., Maeda T., Furukawa Y., Kodama S.: Automatic control technology of welding machine MAG-II for onshore pipelines. Nippon Steel Technical Report (2005) H. 92, S. 51-55. (in English)
- [2] Yapp D., Blackman-S.A.: Recent developments in high productivity pipeline welding JOM 11, 11th International Conference on the Joining of Materials, Helsingör, DK, May 25-28, 2003. (in English)
- [3] Koga S. et. al.: Study on all position electron beam welding of large diameter pipeline joints (Report1,2) Welding International 15 (2001) pp. 28-33, 92-99. (in English)
- [4] Gainand Y. et al.: Laser orbital welding applied to offshore pipe line construction. Pipeline technology Vol. II Elsevier Science 2000 pp. 327-343. (in English)
- [5] Moore P.L. et al.: Development of Nd: YAG laser and laser / MAG hybrid welding for land pipeline applications. Welding and Cutting, Vol. 3, No. 3 (2004), pp. 38-43. (in English)
- [6] Wahba, M., M. Mizutani, and S. Katayama.: Single pass hybrid laser-arc welding of 25 mm thick

- square groove butt joints. *Materials & Design* 97 (2016): 1-6. (in English)
- [7] Russel J.D.: Laser weldability of C-Mn steels. Assessment of Power Beam Welds, European Symposium, Geesthacht/Germany, February 1999. (in English)
- [8] N.N.: Guidelines for Approval of CO₂-Laser Welding in Ship Hull Construction. Classification Societies unified, 1996. (in English)
- [9] Gook S., Gumenyuk A., Stelling K., Lammers M., Rethmeier M.: Schweißen im Dickblechbereich mit einem 20 kW-Faserlaser. DVS-Berichte Bd. 250, DVS-Verlag, Düsseldorf, 2008, pp. 264-270. (in German)
- [10] Rethmeier M., Gook S., Lammers M., and Gumenyuk A.: Laser-Hybrid Welding of Thick Plates up to 32 mm Using a 20 kW Fibre Laser. Proceedings of the 8th International Welding Symposium - Innovations in Welding and Joining for a New Era in Manufacturing. Japan Welding Society. LW-11, 2008, p. 43. (in English)
- [11] Gumenyuk, A., Rethmeier, M.: Developments in hybrid laser-arc welding technology. In Handbook of Laser Welding Technologies, pp. 505-521, 2013. (in English)

Orbital Hybrid Laser-arc Welding Using a High-power Fibre Laser for Pipeline Construction

S.E. Gook^{*1}, A.V. Gumenyuk^{*,**2}, Michael Rethmeier^{*,**,***3}

^{*} *Fraunhofer Institute for Production Systems and Design Technology, Pascalstraße 8-9, 10587 Berlin, Germany*

¹ *ORCID: 0000-0002-4350-3850*

WoS ResearcherID: F-8636-2017

e-mail: sergej.gook@ipk.fraunhofer.de ;

² *e-mail: andrey.gumenyuk@bam.de*

^{**} *Federal Institute for Materials Research and Testing, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Germany*

^{***} *Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Germany*

³ *ORCID: 0000-0001-8123-6696*

WoS ResearcherID: B-9847-2009

Abstract – Recently developed fibre lasers provide multi-kilowatt beam power with high quality at impressive energy efficiency. Combined with gas metal arc welding (GMAW) equipment these lasers can be used in a hybrid process to weld thick-walled constructions single-pass, that are currently welded using multi-pass techniques. The main benefits are a reduction of heat induced distortions, due to the low heat input, as well as savings in filler material and process time. Probable applications can be found in power generation, ship building and pipeline constructions. An orbital (girth) laser-hybrid process using a 20 kW fibre laser and a GMAW torch is currently examined at the BAM, Berlin. The aim of this research is to obtain a stable and crack free girth welding process and to demonstrate its application in pipeline construction. The experiments are carried out on 16 mm thick plates as well pipe rings with 36" (914 mm) pipe diameter of X65. Particular welding parameters, such as welding speed, GMAW power, arc length are varied and their influence on the appearance of the weld in the different welding positions is analyzed. Even though issues remain that demand further research it could already be shown that the rings can be welded using a girth hybrid process that is divided into two half girth processes in downward direction.

Keywords: high-power fibre laser, pipeline, laser-hybrid welding, thick plates.

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

УДК 614.87

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ РАМЫ
ДЛЯ ДОСТАВКИ ГИДРОРЕЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ЦЕЛЬЮ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ
С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ**

© 2018 Ю.Ю. Лушина*, О.Ю. Жабунина, А.Е. Кипкаев**,
Н.Ю. Паршукова***

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

*** Федеральное государственное унитарное предприятие «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл., Россия*

Темой работы является проблема обеспечения безопасности и сохранности при перевозке гидрорезного оборудования железнодорожным и автомобильным транспортом к месту проведения работ по ликвидации аварий с опасными грузами. С целью гарантированной доставки оборудования к месту аварии предлагается усилить имеющиеся виды креплений путем использования разработанной транспортной рамы. Обоснование прочности и надежности конструкции рамы выполнено аналитически и численно – проведены прочностные расчеты конструкции рамы в программе конечно-элементного анализа в условиях действия транспортных синусоидальных нагрузок. Результаты выполненных расчетов показали, что предлагаемая конструкция транспортной рамы удовлетворяет всем нормативным требованиям прочности.

Ключевые слова: опасный груз, транспортировка, гидрорезное оборудование, генераторный модуль, насосный модуль, элементы крепления, прочность, надежность.

Поступила в редакцию: 12.02.2018

Обеспечение безопасности при обращении с опасными грузами (ОГ), подвергшимися аварийным воздействиям, является актуальной задачей.

В качестве решения данной проблемы применяется гидрорезное оборудование, в состав которого входят генераторный и насосный модули. Гидрорезное оборудование обеспечивает выполнение широкого спектра задач по дистанционной гидроабразивной разрезке корпусов ОГ в полевых условиях (в том числе пожаро-взрывоопасных) для доступа к отдельным элементам ОГ, подвергшимся аварийным воздействиям, и ликвидации последствий аварий с ними.

Для доставки оборудования к месту выполнения работ по ликвидации аварий с ОГ используется железнодорожный и автомобильный транспорт.

В обоих случаях предъявляемое к транспортировке гидрорезное оборудование должно быть подготовлено таким образом, чтобы в процессе перевозки были обеспечены безопасность движения транспортного средства, сохранность оборудования и самого транспортного средства [1]. С этой целью при перевозке оборудования должна быть обеспечена прочность узлов и деталей, предназначенных для крепления в транспортном средстве. Требования и подходы по обеспечению прочности приведены в [1–6].

Для крепления грузов в вагонах применяются растяжки, обвязки, стяжки, увязки, деревянные стойки и другие элементы; для крепления в автомобильном транспорте могут использоваться стяжные ремни, деревянные распорки, распорные планки, воздушные пакеты и т. д. [1, 7]

Каждый из перечисленных элементов крепления имеет свои преимущества и недостатки. Так, деревянные распорки и стойки не всегда способны выдерживать возникающие нагрузки во время транспортировки груза. И зачастую масса крепежного материала значительно увеличивает массу погрузки, а это приводит к перегрузу транспортного средства [7]. Стяжные ремни, обвязки, увязки требуют постоянной проверки, поскольку при транспортировке возможен износ вследствие истирания [4, 5].

Поэтому для обеспечения большей надежности в процессе грузоперевозки дополнительно рекомендуется использовать транспортную раму.

Рама служит для транспортировки гидрорезного оборудования к месту своего назначения, а также является промежуточным скрепляющим элементом для оборудования и транспортного средства. Поскольку такое оборудование является сложным массивным грузом, то для него требуется создание индивидуальной рамы. С этой целью была разработана транспортная рама, которая способствует безопасной перевозке генераторного и насосного модулей (гидрорезного оборудования) на железнодорожном и автомобильном транспорте.

Транспортная рама представляет собой сварную балочную конструкцию, сечением которой является швеллер 12П ГОСТ 8240–97 [8], изготовленный из материала – Ст3сп 5 ГОСТ 535–2005 [9]. Схема рамы приведена на рисунке 1.

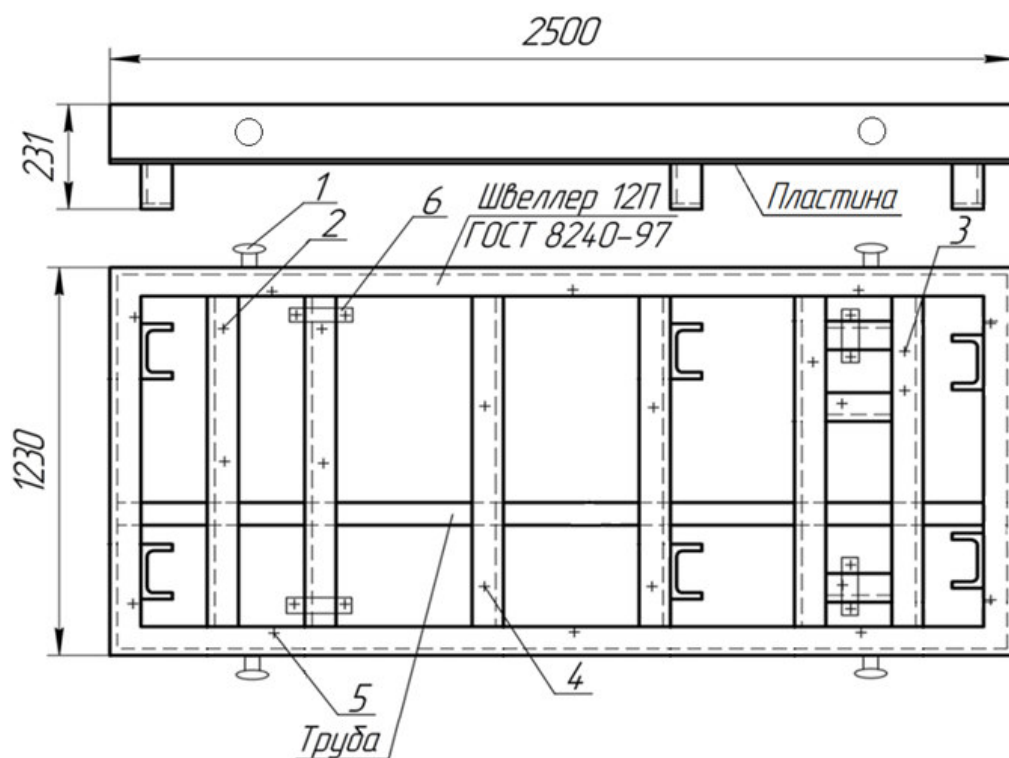


Рис. 1. – Схема транспортной рамы [Transport frame scheme].

На схеме позициями обозначены резьбовые соединения [10 – 12] диаметрами М10 (10 болтовых соединений), М16 (четыре стремянки и 7 болтовых соединений), М20 (шесть болтовых соединений) и М36 (четыре грузовых винта), выполненные из материалов сталь 20, сталь 45 и сталь 30ХГСА [6, 13].

Конструкция рамы обеспечивает крепление к ней гидрорезного оборудования посредством болтовых соединений [11, 12]. Это позволяет предварительно перед погрузкой устанавливать оборудование на раму и осуществлять его передвижение совместно с рамой.

Присоединение рамы с установленным на ней гидрорезным оборудованием к транспортному средству осуществляется следующими элементами крепления:

- растяжками, крепящими через грузовые винты раму с гидрорезным оборудованием к железнодорожной платформе;
- стремянками, крепящими раму с гидрорезным оборудованием к раме прицепа грузового автомобиля.

Для сохранности транспортируемого оборудования и самого транспортного средства необходимо, чтобы была обеспечена прочность и надежность транспортной рамы и её элементов крепления – растяжек, стремянок и резьбовых соединений в процессе грузоперевозки. В соответствии с этим были поставлены следующие задачи:

- провести аналитический расчет элементов крепления рамы с гидрорезным оборудованием к транспортному средству (железнодорожная платформа, прицеп грузового автомобиля) и расчет элементов крепления гидрорезного оборудования к транспортной раме по методикам, приведенным в [1–3, 6];
- провести расчет на прочность конструкции рамы в программе конечно-элементного анализа в условиях действия транспортных нагрузок.

Аналитический расчет элементов крепления рамы с гидрорезным оборудованием на железнодорожной платформе был выполнен с учетом следующих усилий [1]:

- продольной инерционной силы;
- поперечной инерционной силы;
- вертикальной инерционной силы;
- ветровой нагрузки;
- силы трения.

Результаты расчета усилий, действующих на генераторный и насосный модули, на железнодорожной платформе приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Значения усилий, действующих на генераторный и насосный модули
[Force values impacting on the generator and pump modules]

Усилия	Генераторный модуль	Насосный модуль
Продольная инерционная сила, тс	1,67	2,92
Поперечная инерционная сила, тс	0,63	0,98
Вертикальная инерционная сила, тс	0,67	1,15
Ветровая нагрузка, тс	0,20	0,21
Продольная сила трения, тс	0,56	0,98
Поперечная сила трения, тс	0,29	0,52

По рассчитанным усилиям было определено максимальное усилие в растяжках, которое составило $R_{max} = 615$ кгс.

Поэтому для перевозки модулей рекомендуется использовать растяжки, состоящие не менее чем из двух нитей проволоки диаметром не менее 5 мм. Также

возможны другие сочетания сечения проволоки и количества ее нитей в растяжке с допускаемыми растягивающими нагрузками, превышающими рассчитанное максимальное усилие в растяжках (см. таблицу 2).

Таблица 2. – Допускаемые растягивающие нагрузки в растяжках в зависимости от диаметра проволоки и количества ее нитей в растяжке (кгс) [Allowable tensile loads in stretchings, depending on wire diameter and the number of threads in the stretch (kgf)]

Число нитей в растяжке	Диаметр проволоки, мм			
	4,0	4,5	5,0	≥ 5,5
2	Не рекомендуется применять		680	≥ 840
3	660	840	1020	≥ 1260
≥ 4	≥ 880	≥ 1120	≥ 1360	≥ 1680

Кроме этого, растяжки крепятся за грузовые винты на раме. Следовательно, возникающее усилие в растяжке передается на винтовое соединение. Поэтому были выполнены расчеты на прочность винтовых соединений по следующим критериям [2, 3, 6]:

- по усилию среза стержня винта при подъеме гидрорезного оборудования;
- по усилию среза стержня винта при действии на винтовое соединение нагрузки в поперечном направлении;
- по усилию среза резьбы винта или бонки (выполняет функцию гайки для винта) при действии на винтовое соединение нагрузки в продольном направлении;
- по растягивающей стержень винта силе.

Результаты аналитических расчетов показали, что прочность винтовых соединений обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса $n_{min} = 32$, который определялся по формуле [2, 3]:

$$n = \frac{Q_{пред}}{Q_0},$$

где $Q_{пред}$ – предельное усилие, вызывающее разрушение резьбового соединения;
 Q_0 – усилие, действующее на резьбовое соединение.

Расчет стремянок – элементов крепления рамы с гидрорезным оборудованием к прицепу грузового автомобиля осуществлялся по трем критериям [2, 3, 6]:

- по усилию среза стержня стремянки при действии на нее нагрузки в поперечном направлении;
- по усилию среза резьбы стремянки или гайки при действии на резьбовое соединение нагрузки в продольном направлении;
- по растягивающей стержень стремянки силе.

Результаты этих расчетов показали, что прочность стремянок обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса $n_{min} = 4,8$.

Расчет резьбовых соединений, крепящих гидрорезное оборудование к транспортной раме, осуществлялся по тем же критериям, что и для стремянок. В результате было определено, что прочность резьбовых соединений обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса $n_{min} = 15$.

Как видно, коэффициенты запаса прочности резьбовых соединений более чем достаточны. Поэтому конструкцию рамы можно оптимизировать следующими

способами:

- уменьшение количества болтовых соединений (с 23 до 16);
- изменение диаметра болтовых соединений (до 8 мм);
- применение менее затратных материалов для болтовых соединений (сталь 10, сталь 20).

Для подтверждения надежности работы выбранной конструкции рамы были проведены расчеты в программе конечно-элементного анализа [14–16] при действии синусоидальной транспортной нагрузки в продольном, поперечном и вертикальном направлениях с частотой $f = 30$ Гц.

Построенная конечно-элементная модель (КЭМ) конструкции транспортной рамы приведена на рисунке 2, КЭМ конструкции рамы с установленным на ней гидрорезным оборудованием приведена на рисунке 3. Модель содержит ~ 200000 твердотельных элементов, элементов контакта и балочных элементов.

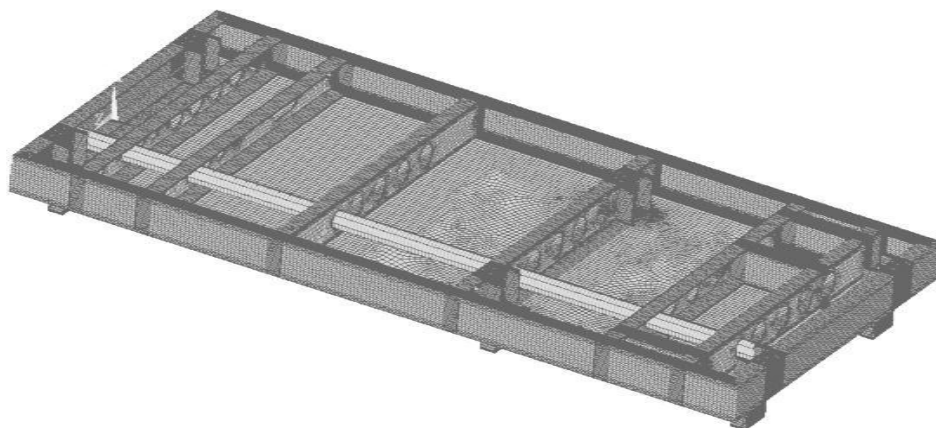


Рис. 2. – КЭМ транспортной рамы [Finite element transport frame model]

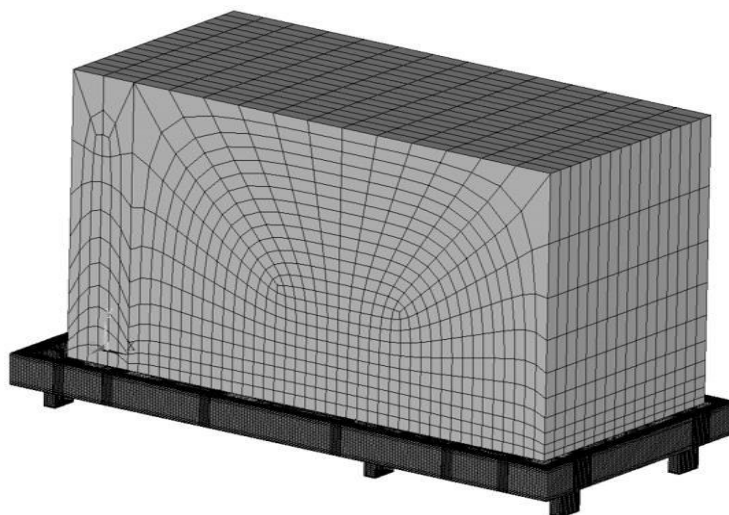


Рис. 3. – КЭМ конструкции рамы с грузом [Finite element model of frame design with load]

Предварительные расчеты в программе конечно-элементного анализа [14, 15, 16] при действии вертикальной статической нагрузки показали, что возникающие резонансные частоты (см. рисунок 4) превышают диапазон наиболее динамичных транспортных частот ($f_i < 50$ Гц [17]). Следовательно, вибростойкость конструкции рамы обеспечивается.

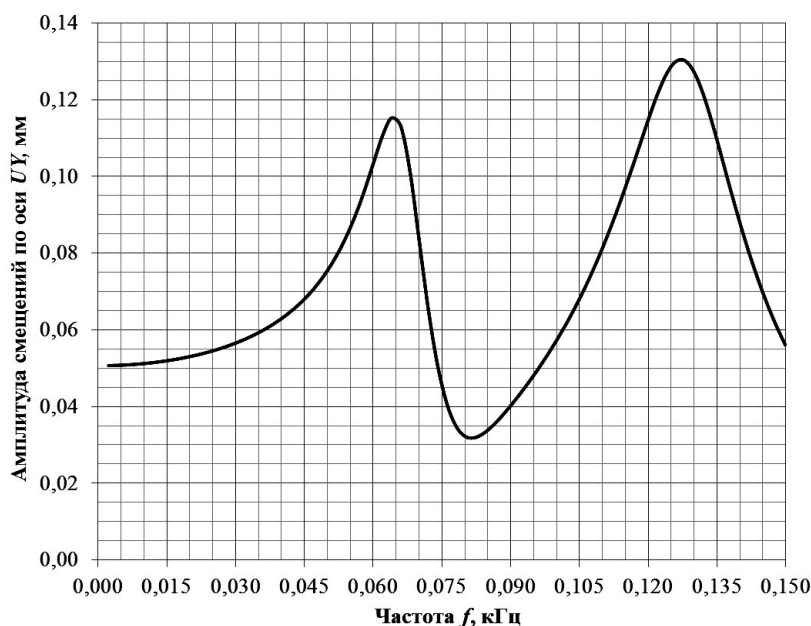


Рис. 4. – Амплитудно-частотная характеристика конструкции рамы с гидрорезным оборудованием [Amplitude and frequency characteristic of frame design with hydraulic sharing equipment]

Последующие расчеты в программе конечно-элементного анализа при действии транспортной синусоидальной нагрузки [14–16] показали, что наиболее нагружена конструкция рамы при действии продольной нагрузки. На рисунке 5 приведены действующее (входное) ускорение в направлении оси X , в виде которого задана транспортная нагрузка, и отклик центра масс рамы по оси X с гидрорезным оборудованием на приложенную нагрузку.

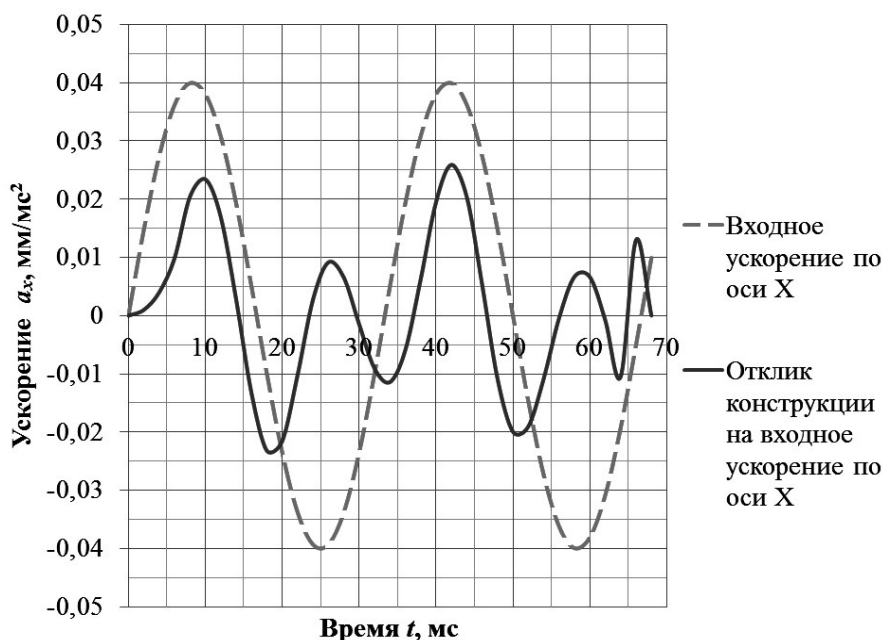


Рис. 5. – Графики входного ускорения и ускорения центра масс конструкции рамы с гидрорезным оборудованием по оси X [Diagrams of input acceleration and mass frame center construction acceleration with the hydraulic sharing equipment along the X axis]

Из построенных графиков можно заключить, что колебания центра масс гидрорезного оборудования не превышают приложенную нагрузку – динамичность конструкции меньше 1 (максимальный коэффициент динамичности $k_{дин}^{max} = 0,65$).

По результатам расчётов наибольшие смещения по оси X (см. рисунок 6) и эквивалентные напряжения (см. рисунок 7) возникают в момент времени $t = 44$ мс.

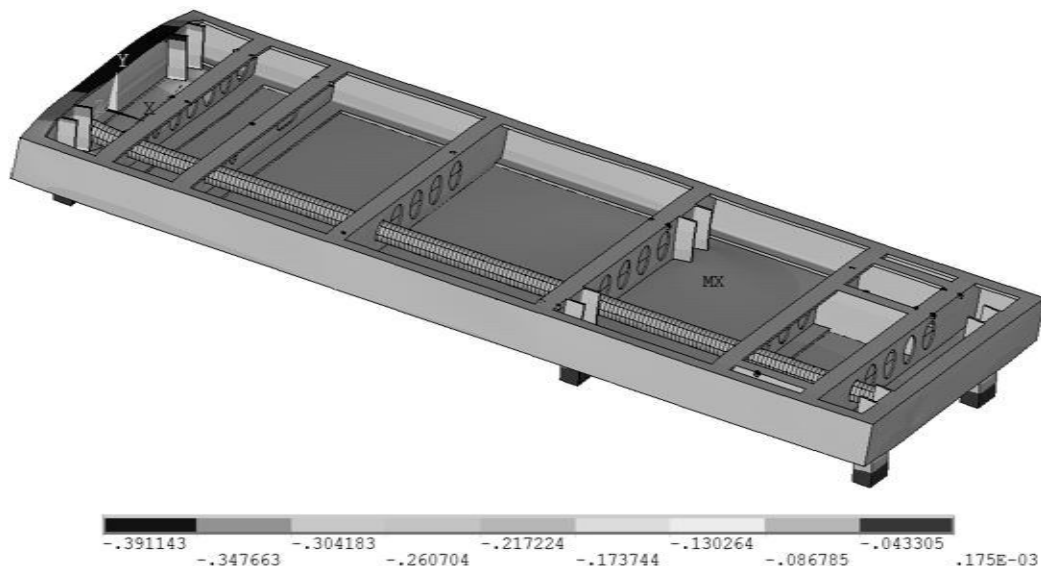


Рис. 6. – Смещения транспортной рамы по оси X при 44 мс [Transport frame offsets along the X axis at 44 ms]

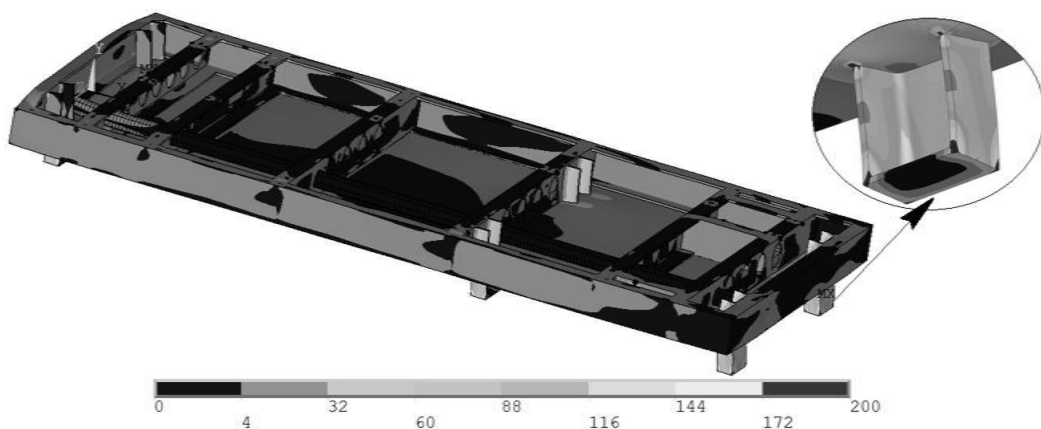


Рис. 7. – Эквивалентные напряжения рамы при 44 мс [Equivalent frame voltages at 44 ms]

При этом максимальные эквивалентные напряжения возникают в месте стыка ножки и пластины рамы и составляют 200 МПа, что меньше предела текучести материала СтЗсп 5 ($\sigma_m = 255$ МПа). Следовательно, при действии транспортной синусоидальной нагрузки прочность рамы обеспечивается с коэффициентом запаса по пределу текучести не менее $n_m = 1,3$.

Таким образом, предлагаемая конструкция транспортной рамы обеспечивает безопасность перевозки гидрорезного оборудования в транспортном средстве к месту проведения работ по ликвидации аварий с ОГ, сокращает время подготовки к транспортировке, за счет дополнительного крепления обеспечивает прочность и сохранность гидрорезного оборудования и транспортного средства.

Аналитические расчеты элементов крепления рамы к транспортному средству и

гидрорезного оборудования к раме показали, что их прочность обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса $n_{min} = 4,8$. Расчеты в программе конечно-элементного анализа показали, что возникающие резонансные частоты превышают диапазон наиболее динамичных транспортных частот, то есть вибростойкость конструкции рамы обеспечивается. Кроме этого, при действии транспортной синусоидальной нагрузки колебания ускорения в центре массы гидрорезного оборудования не превышают приложенную нагрузку: коэффициент динамичности составляет 0,65. Возникающие максимальные эквивалентные напряжения меньше предела текучести материала Ст3сп 5 ($\sigma_m = 255$ МПа), то есть прочность рамы обеспечивается с коэффициентом запаса по пределу текучести не менее $n_m = 1,3$.

Следовательно, разработанная конструкция транспортной рамы с заданными характеристиками удовлетворяет всем нормативным требованиям прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах [Текст]. – М.: Юридическая фирма «Юртранс», 2003. – 544 с.
2. *Феодосьев, В.И.* Сопротивление материалов: учебник для вузов [Текст] / В.И. Феодосьев — 16-е изд., испр. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 543 с.
3. Сопротивление материалов: учебник для вузов [Текст] / Под ред. Г.С. Писаренко. – 5-е изд., перераб. и доп. - Киев: Вища шк., 1986. – 696 с.
4. *Решетов, Д.Н.* Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов [Текст] / Д.Н. Решетов – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
5. *Иванов, М.Н.* Детали машин. Учебник для вузов [Текст] / М.Н. Иванов. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1976. – 388 с.
6. *Биргер, И.А. и др.* Расчет на прочность деталей машин: Справочник [Текст] / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.
7. Основные способы крепления груза в транспортном средстве [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.tek-integra.ru/poleznye-materialy/61-osnovnye-sposoby-krepleniya-gruza-pri-perevozke-avtomobilnym-transportom.html> – 17.12.2017.
8. ГОСТ 8240 – 97 Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент. [Текст]. – Взамен ГОСТ 8240-89; введ. 2002– 01– 01. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 2002. – 13 с.
9. ГОСТ 535 – 2005 Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия. [Текст]. – Взамен ГОСТ 535-88; введ. 2008 – 01 – 01. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 2008. – 12 с.
10. ГОСТ 8922 – 69 Винты грузовые (цапфы). Конструкция. [Текст]. – Введ. 1970 – 07 – 01. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 3 с.
11. ГОСТ 7798-70 Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2-6). [Текст]. – введ. 1972 - 01 - 01. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 10 с.
12. ГОСТ 5915-70 Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2-7). [Текст]. – введ. 1973 - 01 - 01. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 6 с.
13. ГОСТ 1050 – 88 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. [Текст]. – введ. 1990 – 01 – 01. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 20 с.
14. *Жидков, А.В.* Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике» [Текст] / А.В. Жидков. – Нижний Новгород, 2006. – 115 с.
15. Руководство по работе в программе конечно-элементного анализа [Текст] / Под ред. Б.Г. Рубцова. – Снежинск, 2000. – 160 с.
16. *Фокин, В.Г.* Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела: Учебное пособие [Текст] / В.Г. Фокин. – Самара: СамГТУ, 2010. – 131 с.
17. Вибрации в технике: Справочник [Текст]: В 6-ти томах / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред). – М.: Машиностроение, 1981. – Т.6: Защита от вибраций и ударов / Под ред. К.В. Фролова. 1981. – 456 с.

REFERENCES

- [1] Techniceckie usloviya razmecheniya i krepleniya gruzov v vagonah i konteynerah [Specifications of Placing and Fastening of Cargoes in Railcars and Containers]. M. Pub. Yuridicheskaya firma Yurtrans ["JurTranc" Juridical firm], 2003, 544 p. (in Russian)
- [2] Pheodosyev V.I. Soprotivlenie materialov [Resistance of Materials]. M. Pub. Izdatelstvo MGTU im. N.A.Baumana [Publishing house of MSTU], 2016, 543 p. (in Russian)
- [3] Soprotivlenie materialov [Resistance of Materials] Edited by G.S. Pisarenko. Kiev. Pub. Vischa shkola [Higher School], 1986, 696 p. (in Russian)
- [4] Reshetov D.N. Detali mashin [Machine Elements]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1989, 496 p. (in Russian)
- [5] Ivanov M.N. Detali mashin [Machine Elements]. M. Pub. Vysshaya shkola [Higher School], 1976, 388 p. (in Russian)
- [6] Birger I.A., etc. Raschet na prochnost detaley mashin: Spravochnik [Strength Calculation of Machine Elements. Reference book]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1993, 640 p. (in Russian)
- [7] Osnovnye sposoby krepleniya gruzov v transportnom sredstve [The Basic Methods of Cargo Fastening in a Transport Vehicle]. Available at: <http://www.tek-integra.ru/poleznye-materialy/61-osnovnye-sposoby-krepleniya-gruzov-pri-perevozke-avtomobilnym-transportom.html> (in Russian)
- [8] GOST 8240 – 97. Shvellery stalnye goryachekatanye. Sortament. [Hot-Rolled Steel Channels. An Assortment], M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2002, 13 p. (in Russian)
- [9] GOST 535 – 2005. Prokat sortovoy i fasonnyy iz stali uglerodistoy obyknovennogo kachestva. Obschie tekhnicheskie usloviya. [Profiled and Shape Rolled Stock from Carbonaceous Ordinary Quality Steel. The General Specifications], M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2008, 12 p. (in Russian)
- [10] GOST 8922 – 69. Vinty gruzovye (czapfy). Konstrukciya. [Lifting Screws (Pins). Construction]. M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2005, 3 p. (in Russian)
- [11] GOST 7798-70. Bolty s shestigrannoy golovkoy klassa tochnosti B. Konstrukciya i razmery. [Six-Sided Head Bolts of B Class of Accuracy. Construction and Sizes.]. M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2010, 10 p. (in Russian)
- [12] GOST 5915-70. Gayki shestigrannye klassa tochnosti B. Konstrukciya i razmery. [Six-Sided Nuts of B class of Accuracy. Construction and Sizes]. M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2010, 6 p. (in Russian)
- [13] GOST 1050 – 88. Prokat sortovoy, kalibrovanny, so specialnoy otelkoy poverkhnosti iz uglerodistoy kachestvennoy konstrukcionnoy stali. Obschie tekhnicheskie usloviya. [Calibrated Rolled Section Steel with Special Finish Surface from Carbonaceous Qualitative Constructional Steel. The General Specifications.]. M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2008, 20 p. (in Russian)
- [14] Zhidkov A.V. Primenenie sistemy ANSYS k resheniyu zadach geometricheskogo i konechno-elementnogo modelirovaniya. Uchebno-metodicheskiy material po programme povysheniya kvalifikatsii «Informatsionnye sistemy v matematike i mekhanike» [ANSYS Application to the Decision of Geometrical and Certainly-Element Modeling Problems. The teaching and methodical materials under the program of professional skill improvement «Information Systems in Mathematics and Mechanics»]. Nizhny Novgorod, 2006, 115 p. (in Russian)
- [15] Rukovodstvo po rabote v programme konechno-elementnogo analiza [Working Guide in Program of the Certainly-Element Analysis]. Snezhinsk, 2000, 160 p. (in Russian)
- [16] Fokin V.G. Metod konechnykh elementov v mekhanike deformiruемого tverdogo tela: Uchebnoe posobie [Method of Final Elements in the Mechanics of a Deformable Firm Body]. Samara. Pub. Izdatelstvo SamGTU [Publishing house of SamGTU], 2010, 131 p. (in Russian)
- [17] Vibratsii v tekhnike: Spravochnik. Vol. 6: Zashchita ot vibratsiy i udarov [Vibrations in Engineering: Reference book. Vol. 6: Protection against Vibrations and Impacts]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1981, 456 p. (in Russian)

Provision of Transport Frame Strength for Hydraulic Sharing Equipment Delivery to Eliminate Dangerous Goods Accident Consequences

Yu.Yu. Lushina *, O.Yu. Zhabunina **, A.E. Kipkaev **, N.Yu. Parshukova*

** Snezhinsk Physics and Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
Komsomolskaya street, 8, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russia 456776*

*** Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics
Vasilyev street, 13, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russia 456770
e-mail: p.i.e@yandex.ru*

Abstract – The article considers the provision of safety and integrity when transporting hydraulic sharing equipment by road and rail to the place of dangerous goods accident consequences elimination. It is offered to strengthen the existing kinds of fastenings through the use of the engineered transport frame to ensure the equipment transportation reliability. The substantiation of the strength and reliability of the frame is given analytically and numerically. Strength analysis of frame construction is performed in the program of finite element analysis in the conditions of transport sinusoidal loadings. The calculation results show that the proposed transport frame design meets all normative requirements of safety.

Keywords: dangerous goods, transportation, hydraulic sharing equipment, the generating module, the pump module, fastening elements, strength, reliability.

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

УДК 004.94

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ЯЗЫКА
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ПО
МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ ПРОЦЕССА СВАРКИ В
МУЛЬТИМЕДИЙНОМ ТРЕНАЖЕРЕ РДС**

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

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

В статье рассматривается разработка компьютерной программы для реализации комплекса математических моделей для расчётов параметров виртуального процесса сварки и геометрических характеристик виртуального сварного соединения в режиме реального времени. Показано представление каждой модели комплекса в виде диаграмм унифицированного языка моделирования – современного средства поддержки разработки компьютерных программ. В результате основанной на нём разработки получены программы, выполняющие визуализацию сварного соединения и другие задачи.

Ключевые слова: математическое моделирование, сварочный процесс, тепловая модель, метод конечного элемента, инженерия компьютерных программ, тренажёр ручной дуговой сварки, унифицированный язык моделирования, диаграмма прецедентов, диаграмма классов, диаграмма деятельности, визуализация.

Поступила в редакцию 26.02.2018

Информационно измерительная система (ИИС) для моделирования процесса ручной дуговой сварки включает аппаратные и программные модули. Математические модели, построенные в ходе исследования [1, 2], должны быть реализованы с помощью методов объектно-ориентированного программирования (ООП). При этом работа с устройствами ввода-вывода осуществляется посредством подключаемых модулей. Для реализации ИИС необходимо выбрать объектно-ориентированный язык программирования и среду разработки программ с поддержкой подключаемых модулей. Результатом разработки является основа для мультимедийных тренажёров РДС.

Рассмотрим задачу реализации модели формирования сварного шва на примере плоских деталей на основе модифицированного метода конечных элементов (ММКЭ) [1]. Модель на основе модифицированных конечных элементов (КЭ) представляет общий объём плиты в виде совокупности стержневых элементов малых объёмов, как показано на рисунке 1.

В расчётах используются следующие величины: Q_p и $Q_{тв}$ – количество тепла в расплаве и твердой части стержня (Дж); $c_{рп}$ и $c_{р_{тв}}$ – объёмная теплоёмкость расплава и твердой части стержня (Дж/(м³·°К)); l – размер клетки сетки (м); h_p и $h_{тв}$ – высоты расплава и твердой части стержня соответственно (м); θ_p , $\theta_{тв}$ и $\theta_{пл}$ – температуры верхнего, нижнего и среднего слоев соответственно (°К).

Перед началом моделирования во всех КЭ задаются начальные условия: температура, равная температуре окружающей среды, и соответствующее ей

теплосодержание. При тепловом воздействии дуги хотя бы на один КЭ в нём изменяется количество теплоты, следовательно, изменяется его температура. Для определения зоны влияния дуги необходимы данные о её пространственном положении и тепловой мощности. Их предоставляет модель расчёта основных контролируемых параметров сварочного процесса [2]. На отдельном шаге моделирования каждый элемент может находиться в полностью твёрдом, частично расплавленном и полностью расплавленном состоянии.

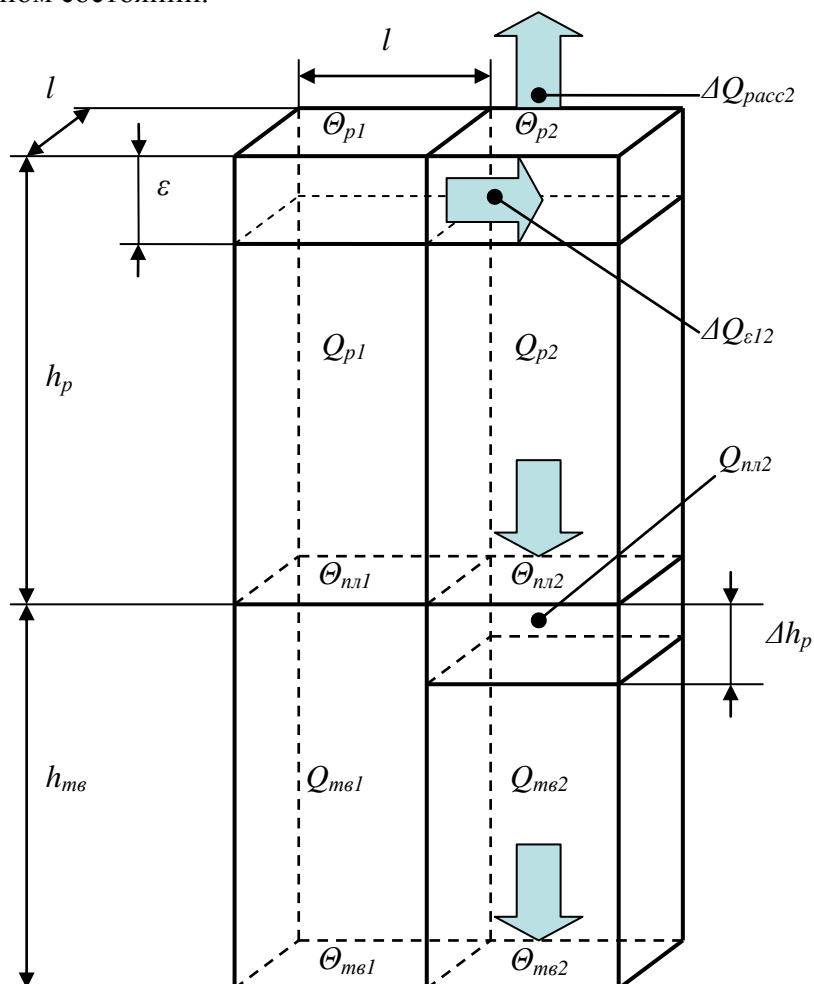


Рис. 1. – Деление на стержневые конечные элементы [Division by rod end elements]

Количество тепла в расплавленной и твердой частях стержня равно:

$$Q_p = c\rho_p l^2 h_p (\Theta_p + \Theta_{nl})/2; \quad (1)$$

$$Q_{m\epsilon} = c\rho_{m\epsilon}l^2h_{m\epsilon}(\Theta_{m\epsilon} + \Theta_{nL})/2. \quad (2)$$

При изменении температур стержней возникает теплопередача между ними. Этот этап в модели назван этапом горизонтальной передачи. При этом рассматриваются тепловые потоки следующего вида:

$$\Delta Q_{12p} = \Delta t \lambda_p l \Delta h \frac{(\Theta_{1p} - \Theta_{2p})}{l}. \quad (3)$$

где ΔQ_{12} – тепло переданное от стержня 1 к стержню 2 (Дж);

Δt – временной шаг моделирования (сек);

λ_p – теплопроводность расплава (Вт/(м·°К));
 Δh – толщина рассматриваемого слоя (м);
 Θ_{1p} – температура верхней поверхности расплава в стержне 1 (°С);
 Θ_{2p} – температура верхней поверхности расплава в стержне 2 (°С).

Теплообмен между нижними частями стержней описывается аналогично, в соответствующих формулах изменяются только физические свойства.

Степень расплавления моделируется перемещением по вертикали границы раздела фаз – среднего слоя с температурой $\Theta_{нл}$. Перемещение рассчитывается на втором этапе вертикальной теплопередачи:

$$\Delta h_p = -\Delta t \frac{\lambda_p (\Theta_p - \Theta_{нл}) / h_p + \lambda_{ме} (\Theta_{ме} - \Theta_{нл}) / h_{ме}}{c_{нл}}. \quad (4)$$

где $c_{нл}$ – удельная теплота плавления (дж/м³).

Статическую структуру компьютерной модели можно представить в виде диаграммы классов унифицированного языка моделирования UML. Между классами можно определить отношение композиции, которое означает, что вместе с объектом-целым уничтожаются его объекты-компоненты [3]. Это обоснованно тем, что при удалении из памяти ЭВМ объекта класса «Плита» действительно удаляются все составляющие его КЭ. Кроме этого, на диаграмме классов изображаются свойства и методы классов [4]. Свойствами плиты в целом являются размеры и физические величины, используемые в формулах (1÷4). Классу «Плита», помимо реализуемого средствами среды программирования метода-конструктора, требуются методы «инициализировать модель» и «выполнить шаг моделирования».

На рисунке 2 представлена диаграмма классов UML, отражающая описанные свойства и методы классов и отношения между ними.

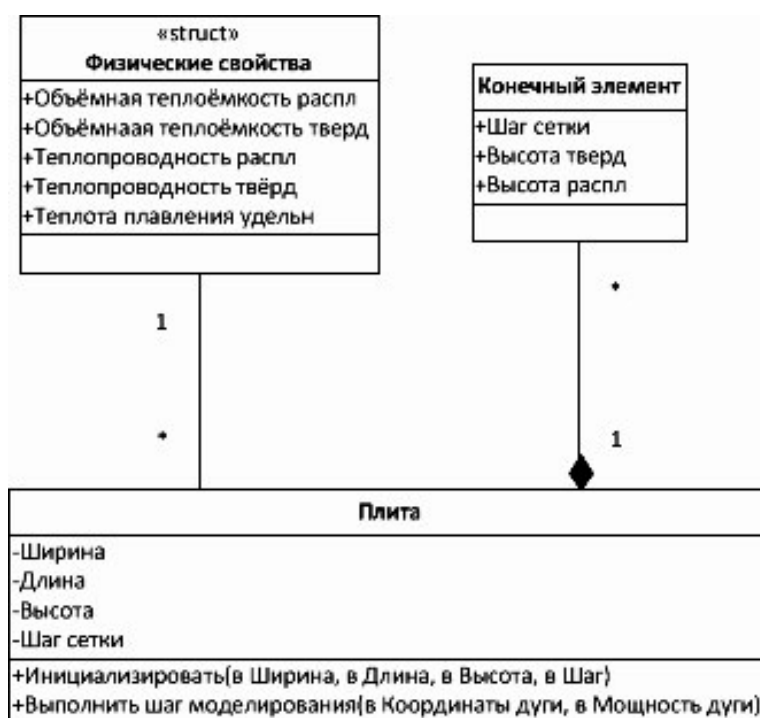


Рис. 2. – Диаграмма классов для модели плиты [Class diagram for the plate model]

Данный вид диаграмм позволяет описывать только статические структуры моделируемой системы. В данном случае это организация хранения объектов в памяти ЭВМ. Поведение системы в UML чаще всего описывается диаграммами взаимодействий, последовательностей и деятельностей [5]. При этом диаграммы деятельностей имеют много общего с блок-схемами алгоритмов, но обладают более широкими возможностями визуализации. Используем эти диаграммы для описания методов. Метод «инициализировать модель» соответствует линейному алгоритму из нескольких простых действий: создаётся сетка конечных элементов (КЭ) заданных размеров и в каждом из них задаётся положение границы фаз, совпадающее с верхней поверхностью. Такое положение означает отсутствие расплавленной части. Также вычисляется теплосодержание по формуле (2) при температуре всех слоёв равной температуре окружающей среды 20°C и высотах $h_p = 0$ и $h_{mv} = h$, h – высота плиты (м).

Метод «выполнить шаг моделирования» выполняет все математические расчёты, заложенные в модель. Данный метод сложнее, так как модель работает циклически, на каждом шаге выполняя расчёт по формулам (1÷4). Кроме обмена тепловой энергией, в модели также рассчитывается перенос расплава между КЭ. Диаграмма деятельности на отдельном шаге моделирования представлена на рисунке 3.

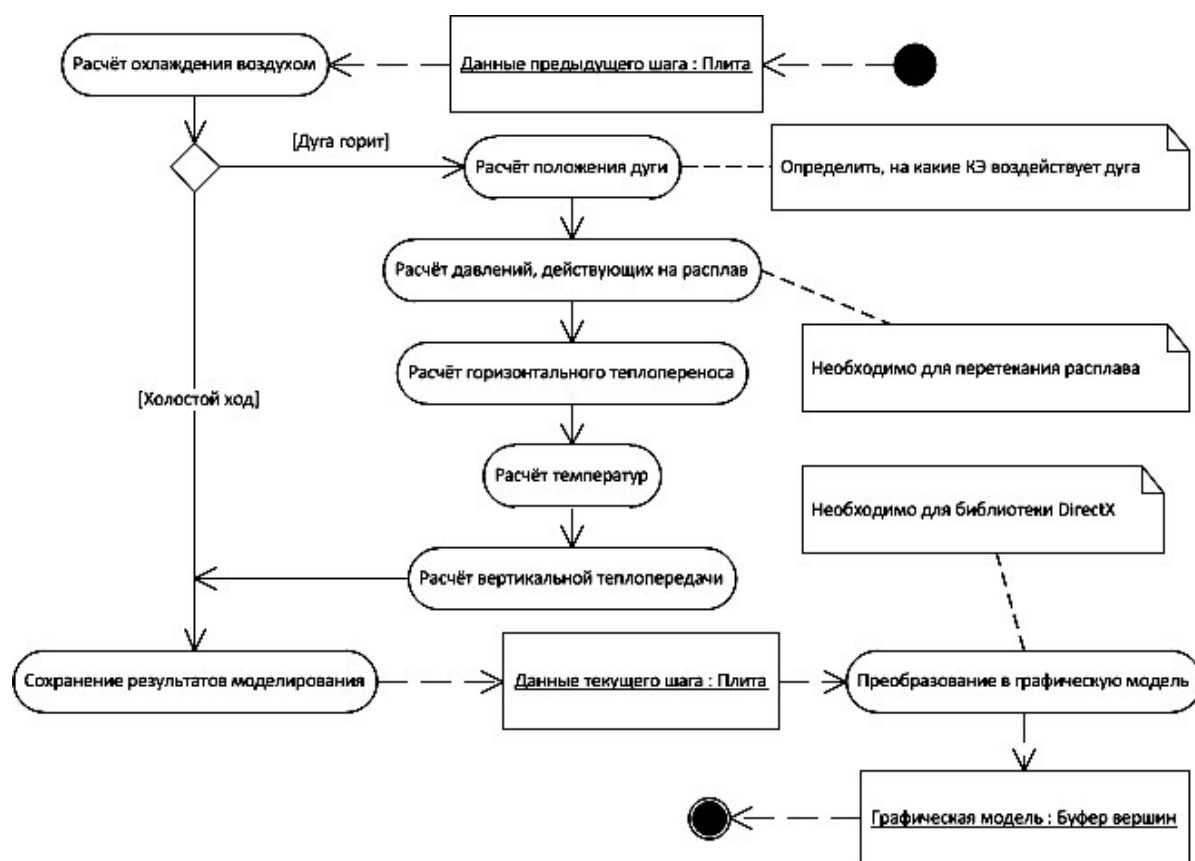


Рис. 3. – Диаграмма деятельности на каждом шаге моделирования
[Diagram of activity at each simulation step]

На данной диаграмме укрупнённо отражены основные этапы расчётов по модели. При этом сплошными стрелками показаны переходы от одной деятельности к другой, а пунктирными – взаимодействия с объектами в памяти ЭВМ. Первые называются потоками управления, вторые – потоками объектов [3, 6].

Также необходимо упомянуть модель капельного переноса при сварке плавлением. Характеристики и параметры процесса переноса оказывают существенное

влияние на формирование сварного соединения. Поэтому для получения модели капельного переноса при сварке плавлением было проведено отдельное исследование [7]. В результате этого исследования с помощью численных экспериментов установлено, что длина межкапельных промежутков (при капельном переносе) в процессе РДС как случайная величина подчиняется закону распределения, являющемуся смесью экспоненциального распределения и распределений Рэлея. Это в свою очередь, дает возможность определить моменты отрыва капель и, как следствие, сформировать поток команд управления приводом имитации плавления электрода. Диаграмма деятельности представлена на рисунке 4.

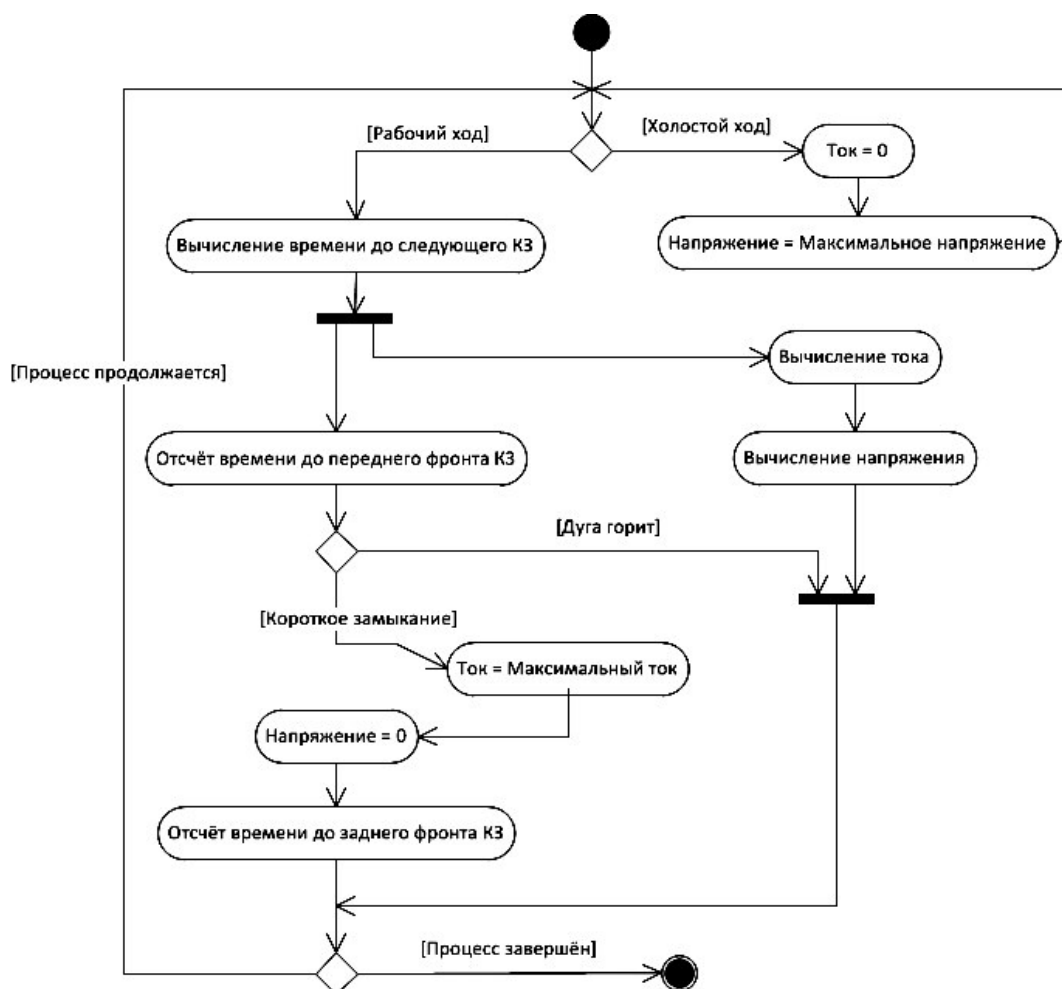


Рис. 4. – Диаграмма деятельности для моделирования капельного переноса
[Activity diagram for drip transfer modeling]

Пример визуализации сварного шва средствами компьютерной графики представлен на рисунке 5 [8, 9]. Программа реализована на языке С [10].

Использование унифицированного языка моделирования UML в процессе разработки программного обеспечения для компьютерного тренажёра ручной дуговой сварки позволило решить ряд задач. Во-первых, использование этой нотации облегчает обсуждение технических решений отдельными инженерами-программистами. Во-вторых, разработанные ранее математические модели составляющих сварочного процесса переведены в знаковые модели, отражающие особенности их программной реализации. В-третьих, полученные диаграммы можно изменять и уточнять методом декомпозиции для дальнейшей модификации программного обеспечения.

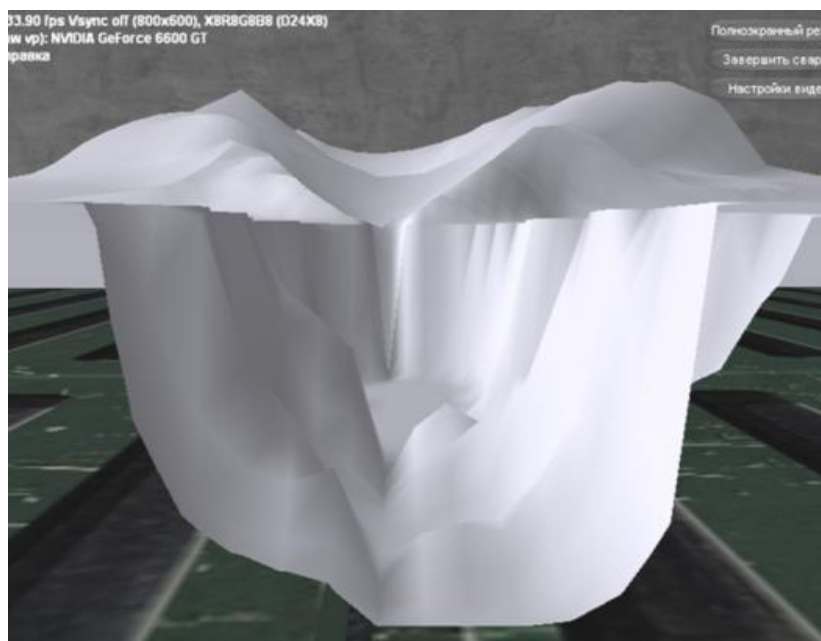


Рис. 5. – Поперечный разрез визуализации сварного шва [Cross section of welded joint visualization]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кривин, В.В. и др.* Модель стержневых конечных элементов для теплового расчёта виртуального сварного шва [Текст] / В.В. Кривин, М.Ю. Виниченко, В.А. Толстов // Актуальные вопросы развития современной науки, техники и технологий : материалы IV Всерос. науч.-практ. (заоч.) конф. (Москва, 27-29 апр. 2011 г.) – М.: НИИРРР, 2011. – С. 89–94.
2. *Кривин, В.В. и др.* Моделирование сигналов параметров виртуального сварочного процесса [Текст] / В.В. Кривин, С.М. Виниченко, В.А. Толстов и др. // Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2014. – Т.3. – №1. – С. 53–57.
3. *Самуйлов, С.В.* Объектно-ориентированное моделирование на основе UML : учебное пособие [Электронный ресурс] / Самуйлов С.В. – Электрон. текстовые данные. – Саратов : Вузовское образование, 2016. – 37 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47277>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.
4. *Малышева, Е.Н.* Проектирование информационных систем. Раздел 5. Индустриальное проектирование информационных систем. Объектно-ориентированная Case-технология проектирования информационных систем : учебное пособие [Электронный ресурс] / Малышева Е.Н. – Электрон. текстовые данные. – Кемерово : Кемеровский государственный университет культуры и искусств, 2009. – 70 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22067>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.
5. *Буч, Г. и др.* Язык UML. Руководство пользователя [Электронный ресурс] : рук. / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон. – Электрон. дан. – Москва : ДМК Пресс, 2008. – 496 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/1246>. – ЭБС «Лань», по паролю.
6. *Бабиц, А.В.* UML. Первое знакомство. Пособие для подготовки к сдаче теста UM0-100 (OMG Certified UML Professional Fundamental) [Электронный ресурс]: учебное пособие / Бабиц А.В. – Электрон. текстовые данные. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2008. – 176 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/15858>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.
7. *Сысоев, Ю.С. и др.* Моделирование плавления электрода при разработке компьютерных 3D-тренажеров для обучения ручной дуговой сварке [Текст] / Ю.С. Сысоев, В.В. Кривин, В.А. Толстов // Сварочное производство. – 2017. – №10 – С. 12-17.
8. *Виниченко, М.Ю. и др.* Уточненная математическая модель сварного шва для мультимедийного тренажера сварщика [Текст] / М.Ю. Виниченко, И.О. Ишигов, В.В. Кривин и др. // Сварочное производство. – 2015. – №11. – С. 17–20.
9. *Кривин, В.В. и др.* Расчёт параметров виртуального сварного шва в тренажёре сварщика [Текст] / В.В. Кривин, М.Ю. Виниченко, В.А. Толстов // Безопасность АЭС и подготовка

кадров : тез. докл. XII Междунар. конф. (Обнинск, 4-7 окт. 2011 г.). – Обнинск, 2011. – С. 110–112.

10. Биллиг, В.А. Основы объектного программирования на C# (C# 3.0, Visual Studio 2008) [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Биллиг. – Электрон. текстовые данные. – М., Саратов: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Вузовское образование, 2017. – 583 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72339.html>

REFERENCES

- [1] Krivin V.V., Vinichenko M.Y., Tolstov V.A. Model' sterzhnevyyh konechnyyh elementov dlya teplovogo raschyota virtualnogo svarnogo shva [The model of rod finite elements for thermal calculation of the virtual welding joint] [Actual Problems of Development of Modern Science, Engineering and Technology : Materials of the IV vseros. science-practical conference. (Moscow, 2011, April, 27-29)], 2011, ISBN 978-5-903967-35-3, pp. 83–94. (in Russian)
- [2] Krivin V.V., Vinichenko S.M., Tolstov V.A. etc. Modelirovanie signalov parametrov virtualnogo svarochogo processa [Modeling of parametric signals of virtual welding process]. Vestnik natsionalnogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI» [Bulletin of the National Research Nuclear University "MEPhI"], 2014, Vol.3, №1, ISSN 2304-487X, pp. 53–57. (in Russian)
- [3] Samuilov S.V. Obektno-orintirovannoe modelirovanie na osnove UML [UML-based object-oriented modeling]. Vuzovskoe obrazovanie [University education], 2016, 37 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/47277> (in Russian)
- [4] Malysheva E.N. Proektirovanie informatsionnyh system. Razdel 5. Industrial'noe proektirovanie informacionnyh system. Ob'ektno-orientirovannaya Case-tehnologiya proektirovaniya informacionnyh system [The development of information systems. Chapter 5. The industrial development of information systems. The object-oriented Case-technology for development of information systems]. Kemerovo. Kemerovo State University of Culture and Art, 2009, 70 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/22067> (in Russian)
- [5] Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I. Yazyk UML. Rukovodstvo polzovatelya [UML Language. User's guide]. M. Pub. DMK Press, 2008, ISBN 5-94074-334-X, 496 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/1246>. (in Russian)
- [6] Babich A.V. UML. Pervoe znanomstvo. Posobie dlya podgotovki k sdache testa UM0-100 (OMG Certified UML Professional Fundamental) [UML. The first acquaintance. The tutorial to prepare for the UM0-100 test (OMG Certified UML Professional Fundamental)]. M. Pub. BINOM. The laboratory of knowledge, Internet-university of Information Technology (INTUIT), 2008, ISBN 978-5-94774-878-9, 176 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/15858>. (in Russian)
- [7] Sysoev Y.S., Krivin V.V., Tolstov V.A. Modelirovanie plavleniya elektroda pri razrabotke komputernyyh 3D-trenazhorov dlya obucheniya ruchnoi dugovoi svarke [The modeling of node molding during development of 3D computerized simulators for manual arc welding training]. Svarochnoe proizvodstvo [Welding production], 2017, №10, ISSN 0491-6441, pp. 12–17. (in Russian)
- [8] Vinichenko M.Y., Ishigov I.O., Krivin V.V. etc. Utochnyonnaya matamaticeskaya model svarnogo shva dlya multimedijnogo trenazhora svarschika [The refined welding joint model for multimedia training system]. Svarochnoe proizvodstvo [Welding production], 2015, №11, ISSN 0491-6441, pp. 17–20. (in Russian)
- [9] Krivin V.V., Vinichenko M.Y., Tolstov V.A. Raschyot parametrov virtual'nogo svarnogo shva v trenazhore svarschika [The calculation of virtual welding joint in multimedia training system] [Nuclear power plant safety and personnel training : Materials of the XII International conference. (Obninsk, 2011, 4-7 of April)], 2011, pp. 110–112. (in Russian)
- [10] Billing V.A. Osnovy obektnogo programmirovaniya na C# (C# 3.0, visual Studio 2008) [The basis of object-oriented programming in C# (C# 3.0, visual Studio 2008)]. M., Saratov. Pub. Internet-university of Information Technology (INTUIT), Vuzovskoe obrazovanie [University education], 2017, ISBN 978-5-4487-0145-0, 583 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/72339> (in Russian)

The Utilization of Unified Modeling Language to Realize the Welding Process Mathematical Modeling Calculations in Multimedia MAW Simulator

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

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

**ORCID: 0000-0003-0903-0786*
WoS ResearcherID: E-2267-2018
e-mail: vykrivin@mephi.ru ;
***ORCID: 0000-0001-7144-5195*
WoS ResearcherID: F-1032-2017
e-mail: v-tolstov-2017@mail.ru ;
****ORCID: 0000-0002-5829-6989*
WoS ResearcherID: E-2448-2018
e-mail: ioishigov@mephi.ru

Abstract – The article deals with computer program development to realize the complex of mathematical models for real-time calculations of virtual welding parameters and virtual welding joint geometric properties. The representation of each model of complex as unified modeling language diagram, this modern support tool for computer program development, is shown. The development based on it causes the result as programs for visualization of welding joint and other purposes.

Keywords: mathematical modeling, welding process, thermal model, finite element method, engineering of computer program, manual arc welding simulator, unified modeling language, use case diagram, class diagram, activity diagram, visualization.

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

УДК 004.414.23

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ВЫБОРА
РЕШЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ НА ТЕРРИТОРИЯХ
РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

© 2018 В.М. Курейчик*, Е.А. Цвелик**, Р.В. Пирожков**

** Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

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

Задача обеспечения развития территорий размещения объектов атомной отрасли складывается из двух этапов: оценивания состояния, качества функционирования отдельных систем и участков этих территорий и выбора управляющего воздействия, обеспечивающего улучшения оцениваемых параметров, повышение эффективности данных систем. В данной работе предложена информационная система (ИС), поддерживающая выбор управляющего воздействия на основе нечетких комплексных оценок параметров системы. ИС основана на объединении систем нечеткого управления и процедуры определения интегральных показателей функционирования системы из лингвистических оценок частных критериев.

Ключевые слова: системы поддержки принятия решений, нечеткие множества, системы нечеткого вывода, оценка сложных систем, экспертные лингвистические оценки.

Поступила в редакцию: 26.02.2018

Реализация программ развития атомной отрасли в целом включает в себя комплекс задач, связанных с развитием систем профессионального и дополнительного образования, медицинского обеспечения, информационного взаимодействия и т.п. Все эти системы относятся к классу социально-экономических сложных систем, управление которыми имеет ряд особенностей.

К особенностям исследования сложных систем относится неполнота информации о системе, противоречивость и субъективность оценок при их анализе. Эти особенности требуют применения методов принятия решения, которые учитывают неопределенность условий оценки и функционирования системы.

Особенности содержания задачи принятия решений при управлении социально-экономическими системами [1]:

1) элементы задачи: ситуации, цели, ограничения, решения, предпочтения – имеют, прежде всего, содержательный характер и только частично определяются количественными характеристиками. Количество неизвестных элементов задачи существенно больше, чем известных;

2) нахождение наилучшего решения не может быть полностью формализовано, на каждом этапе требуется вмешательство лица принимающего решения для формулировки предпочтений;

3) элементы задачи описываются характеристиками, часть из которых может быть

измерена объективно, а для другой части, возможно, только субъективное измерение (например, приоритеты целей, предпочтения решений и т.п.);

4) в ряде случаев приходится решать задачу принятия решения в условиях неопределенности, обусловленной неполным описанием проблемной ситуации и невозможностью достаточно точной оценки ожидаемых последствий;

5) принимаемые решения могут затрагивать интересы лиц, участвующих в принятии решения. Поэтому мотивы их поведения влияют на выбор решения.

В таких задачах при управлении сложными объектами сведения об основных параметрах, влияющих на принятие решения, имеют различную степень достоверности и определенности. «Учет факторов неопределенности при таком управлении должен осуществляться в несколько этапов и включать в себя адаптацию параметров и структуры моделей, алгоритмов управления к прошлому и текущему состоянию субъектов рынка, управляющих подсистем и внешней среды... В этом случае уже имеются основания говорить не об оптимизационном, а об адаптационном управлении». [2]. Наличие неопределенностей, в том числе на этапе формулирования целей, не позволяет формулировать классическую задачу поиска экстремума целевой функции.

Отдельное внимание необходимо уделять качеству входной информации для обеспечения возможности получения результата при использовании нечеткой, неопределенной информации. Также требует внимания возможность учета дополнительной неточной и неполной информации о сравнительной значимости отдельных показателей на результат принятия решения.

Сложные объекты, как объекты управления обладают рядом отличительных особенностей [3]:

1) не все цели выбора управляющих решений и условия, влияющие на этот выбор, могут быть выражены в виде количественных соотношений;

2) отсутствует либо является неприемлемо сложным формализованное описание объекта управления;

3) значительная часть информации, необходимая для математического описания объекта существует в форме представлений и пожеланий специалистов-экспертов, имеющих опыт работы с данным объектом.

Это, чаще всего, приводит к нечеткости описания элементов формального представления объекта управления. В частности нечетким может быть описание состояния объекта Ω и его характеристик X , описание времени (например, нечеткость запаздывания действия управления, момента начала воздействия внешнего фактора и т.д.), нечеткость процесса наблюдения за объектом Ω и сами оценки его состояния U (например, выгодность сложившейся обстановки, степень удовлетворения проекта целям и задачам программы, плана и т.д.), а также могут наблюдаться различные сочетания нечеткости в описании составляющих аналитических задач.

Неопределенность может иметь различное происхождение. Она может быть связана с принципиальной неизвестностью или недостаточной изученностью внешних обстоятельств. Также неопределенность может быть обусловлена невозможностью четкого описания на естественном языке ситуации выбора, целевых показателей [4].

На сегодняшний день можно выделить ряд математических теорий предназначенных для формализации неопределенной информации (данных):

- многозначная логика;
- теория вероятности;
- теория ошибок (интервальные модели);
- теория интервальных средних;
- теория субъективных вероятностей;

- теория нечетких множеств;
- теория нечетких мер и интегралов.

Результаты сравнения математических теорий, с точки зрения их применимости для решения аналитических задач СППР в условиях неопределенности, приведены в [5]. Приведенный анализ показывает, что теория нечетких мер наиболее эффективная математическая теория, которая позволяет формализовать и обрабатывать неопределенную информацию. И по сравнению с другими методологиями позволяет учитывать, в том числе, нечисловую лингвистическую неопределенность, сравнительные меры (более чем, очень, значительно и т.д.).

Таким образом, для поддержки принятия решения при управлении социально-экономическими системами является обоснованным выбор методологии нечетких множеств, которая позволяет оперировать неточной информацией, принимать решения в условиях неопределенности.

Постановка задачи поддержки принятия решения в общем виде для лица, принимающего решения (ЛПР) при управлении социально-экономической системой:

$$\text{ЛПР} := \langle Q, B, Y, f, K, Y^* \rangle, \quad (1)$$

- где Q – нечеткая оценка обеспеченности ресурсами,
 B – множество нечетких ограничений при принятии решений,
 Y – множество альтернативных вариантов решений, из которых должно быть выбрано единственное оптимальное решение Y^* .
 $f = f(Y)$ – функция предпочтения для оценки решений;
 K – иерархия нечетких критериев выбора решения Y^* .

В представленной модели ЛПР принимает решение, на основе оценки иерархии нечетких критериев, описывающих состояние объекта управления. Решение заключается в выборе управляющего воздействия в рамках заданных ограничений. Необходимо разработать информационную систему, которая автоматизирует этапы принятия решения.

Входными данными для принятия решения являются:

- 1) иерархия критериев X_i ,
- 2) лингвистические термы для критериев нижнего уровня, и функции принадлежности для них $\mu_{xi}(x)$,
- 3) веса критериев внутри каждой ветки дерева α_{xi} , сумма которых должны быть равна 1,
- 4) лингвистические термы для значений выходной переменной – управляющее воздействие на объект управления и функции принадлежности для них $\mu_y(x)$,
- 5) база правил, описывающая зависимость между комплексными показателями и значениями выходной переменной,
- 6) экспертные оценки – значения каждого критерия b_{xi} .

Процедура принятия решения включает в себя два этапа: этап настройки параметров системы и этап применения для конкретных значений показателей системы. На этапе подготовки необходимо:

- 1) сформировать иерархию критериев;
- 2) задать для каждого из них перечень возможных лингвистических термов и определить функции принадлежности для них;
- 3) построить базу правил для подсистемы нечеткого вывода;
- 4) построить функции принадлежности для всех термов выходной переменной.

На этапе применения необходимо задать нечеткие экспертные оценки для каждого параметра и коэффициенты важности для каждого критерия.

Следующим шагом является определение значений каждого показателя x_i нижнего уровня иерархии в виде нечетких лингвистических оценок. Двигаясь по уровням иерархии от нижних к верхним, рассчитываются агрегированные оценки K . Для этого строится объединение множеств, полученных путем произведения нечетких множеств значений всех критериев группы на их коэффициент важности. Комплексная оценка также задается функцией принадлежности, которая определяется по формуле:

$$\mu_K(x) = \max(\alpha_{x_1} \mu_{x_1}(x), \alpha_{x_2} \mu_{x_2}(x), \dots, \alpha_{x_n} \mu_{x_n}(x)) \quad (2)$$

где α_{x_i} – коэффициент важности критерия k_i ,
 $\mu_{x_i}(x)$ – функция принадлежности для выбранного лингвистического терма критерия k_i ,
 $\mu_K(x)$ – функция принадлежности для агрегированной оценки.

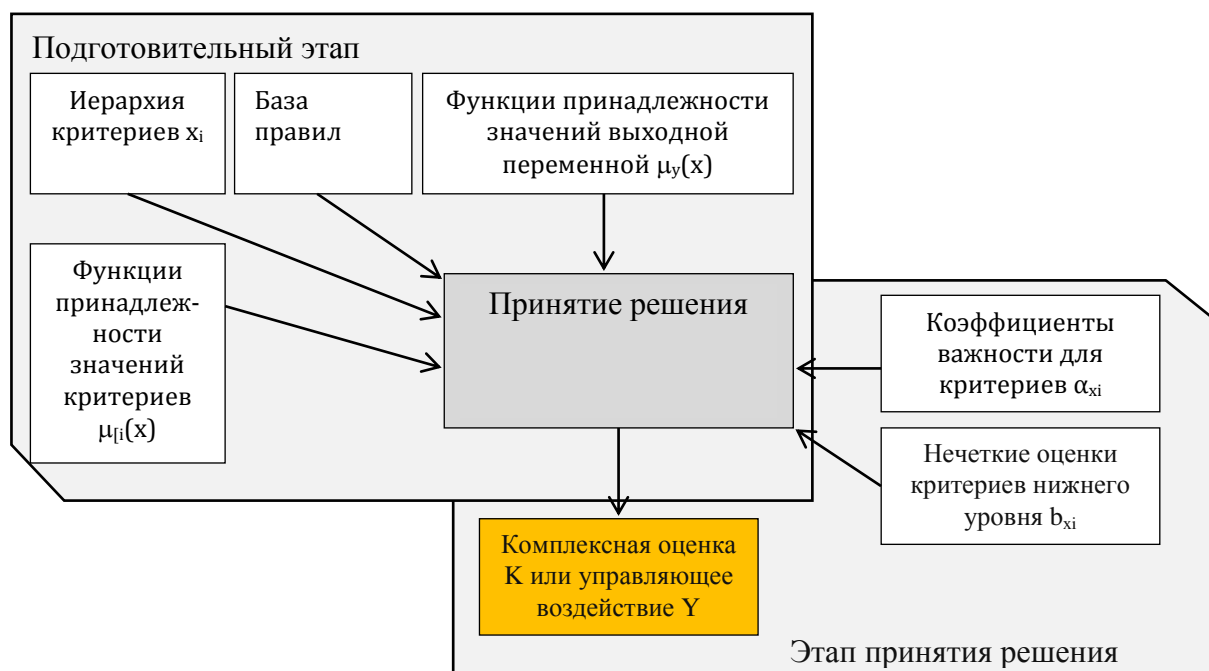


Рис. 1. – Этапы методики поддержки принятия решения [Stages of decision support methodology]

В общем виде методика принятия решения, объединяющая алгоритмы нечеткого вывода и процедуры комплексного оценивания обладает следующими преимуществами:

- возможностью избежать необходимости фазификации и дефазификации на каждом уровне иерархии по сравнению с деревьями нечеткого вывода;
- отсутствием эффекта «проклятия размерности» при построении базы правил для принятия решения на основе большого количества входных переменных по сравнению с применением алгоритмов нечеткого вывода;
- возможностью учитывать степень влияния различных факторов на принимаемое решение;
- возможностью оперировать лингвистическими оценками входящих переменных, полученных экспертным путем.

Приведенную последовательность этапов методики опишем в виде последовательности шагов алгоритма.

Шаг 1. Построение иерархии критериев X_i .

- Шаг 2. Определение перечня возможных лингвистических оценок значений, который могут принимать выделенные критерии.
- Шаг 3. Построение функций принадлежности $\mu_{bij}(x)$ для каждого i -го нечеткого значений по каждому j -тому критерию. В качестве одного из вариантов – построение классификатора на 01-носителе.
- Шаг 4. Определение коэффициентов важности α_{xi} для каждого критерия x_i в рамках одной ветви по методу Саати.
- Шаг 5. Определение нечеткого значения B_i для каждого критерия k_i нижнего уровня иерархии, описываемого функцией принадлежности $\mu_{bi}(x)$.
- Шаг 6. Вычисление интегрального критерия по формуле $K = \alpha_1 x_1 \cup \alpha_2 x_2 \cup \dots \cup \alpha_n x_n$. Нечеткое множество этого значения будет описываться функцией принадлежности $\mu_K(x) = \max(\alpha_{x1}\mu_{x1}(x), \alpha_{x2}\mu_{x2}(x), \dots, \alpha_{xn}\mu_{xn}(x))$.
- Шаг 6 повторяется, пока не будет достигнут верхний уровень иерархии.
- Шаг 7. Вычисление дефазифицированных четких оценок комплексных показателей верхнего уровня иерархии по методу центра тяжести

$$x_0 = \frac{\int x \mu_K(x) dx}{\int \mu_K(x) dx}.$$

- Шаг 8. Выбор альтернативы с помощью алгоритма нечеткого вывода Мамдани. Описанный алгоритм представлен на рисунке 2.



Рис. 2. – Алгоритм поиска решения [Solution search algorithm]

Представленный алгоритм содержит укрупненные последовательные процедуры. Опишем более детально алгоритм расчета комплексных оценок.

Алгоритм комплексного оценивания осуществляется с помощью рекурсивной функции «Расчет комплексных оценок». Схема алгоритма представлена на рисунке 3.

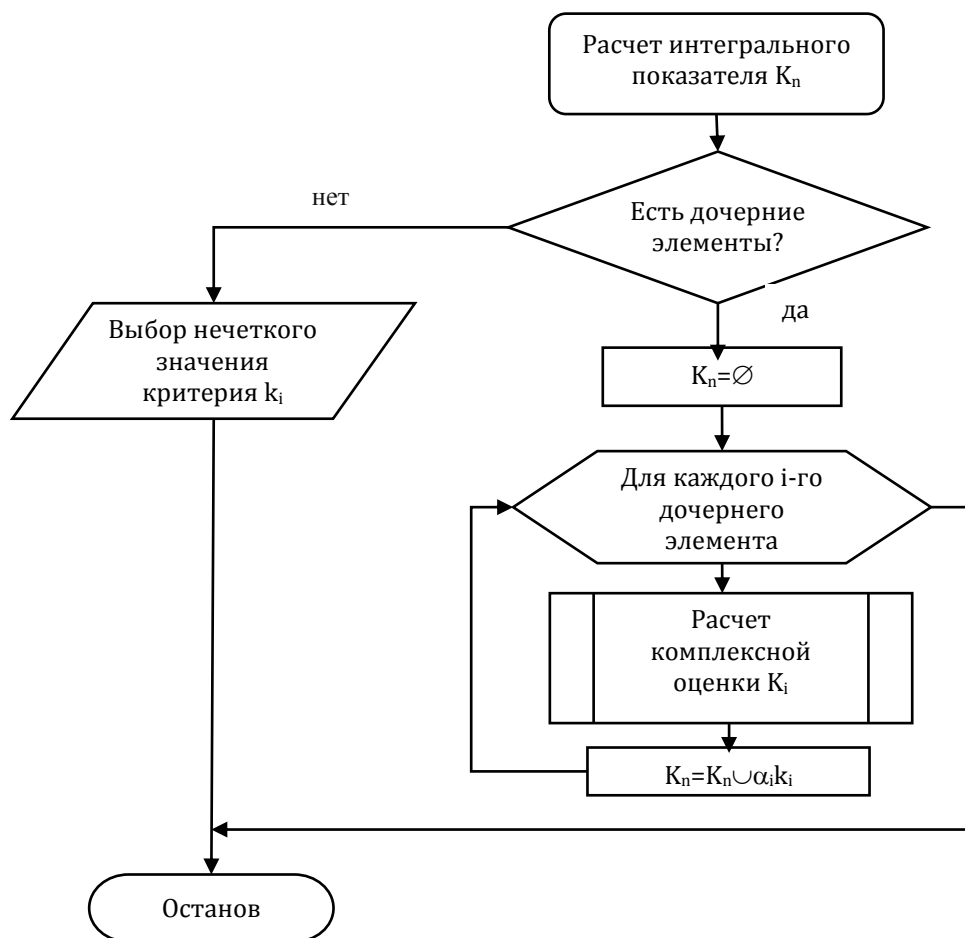


Рис. 3. – Алгоритм расчета комплексных оценок [Algorithm of calculating complex estimates]

Представленный алгоритм содержит одну циклическую операцию, в обходе каждого элемента дерева к нему обращаются один раз. Сложность алгоритма равна $O(N)$, где N – число элементов в дереве критериев. Алгоритм имеет линейную сложность.

Предлагаемую методику рекомендуется использовать для задач долговременного, стратегического планирования, так как она позволяет учитывать неопределенность различного вида, анализировать сложные многопараметрические системы. Деятельность ЛПР в решении задач стратегического планирования нуждается в интеллектуальной поддержке.

При разработке автоматизированной системы поддержки принятия решения необходимо учитывать требования поставленной задачи, а также саму методику расчета. В основе проектируемой СППР используются интеллектуальные технологии обработки входной информации.

Предложенный алгоритм поиска решения реализован в разработанной системе поддержки принятия решения. Для выполнения всех этапов алгоритма в данной системе предусмотрены следующие элементы:

- база правил для осуществления механизма нечеткого вывода на верхнем уровне иерархической модели;
- база знаний в виде иерархии факторов и функций принадлежности для каждого значения данного фактора.

Модель системы поддержки принятия решения включает в себя следующие блоки:

- блок формирования базы правил,
- блок определения коэффициентов важности факторов в иерархии,
- блок определения нечетких значений каждого фактора,
- блок расчета значений интегральных факторов в иерархии,
- блок нечеткого вывода.

На рисунке 4 представлена архитектура системы поддержки принятия решения. Стрелками указана информация, которую необходимо ввести или получить из базы правил и базы знаний, для выполнения функций блока. Результатом работы системы является числовое значение выходной переменной блока нечеткого вывода.

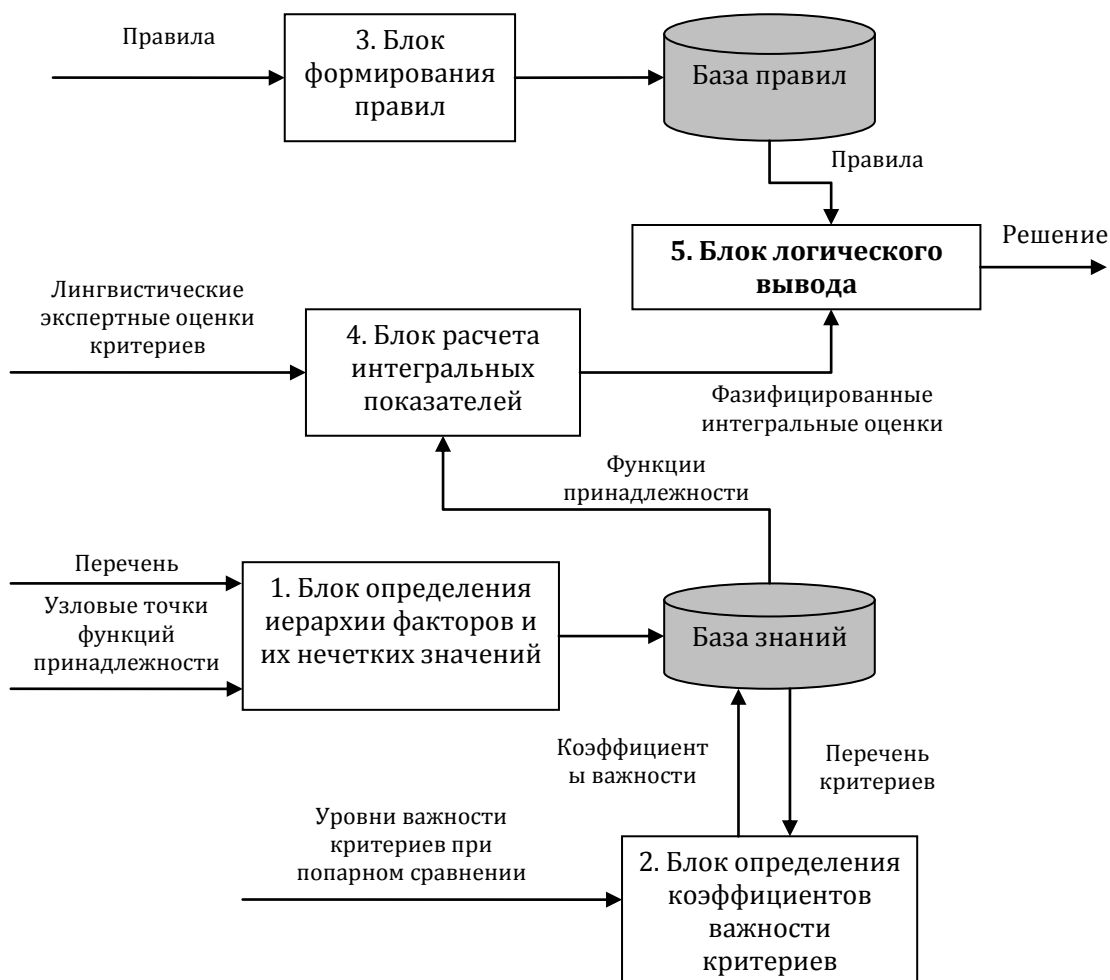


Рис. 4. – Архитектура информационной системы поддержки принятия решения.
Авторская разработка [Architecture of decision support information system. Original development]

Технология работы с данной системой предусматривает следующие этапы:

1. Формирование перечня показателей в их иерархии, которые влияют на принимаемое решение в блоке 1.
2. Формирования перечня лингвистических оценок и их функций

принадлежности для каждого параметра в блоке 1.

3. Расчет коэффициентов важности для показателей внутри каждой ветки на нижнем уровне путем попарного сравнения по методу Саати [6] и в блоке 2.

4. Формирование значений выходной переменной – альтернативы принимаемого решения в блоке 3.

5. Формирование базы правил зависимости выходной переменной от интегральных показателей верхнего уровня в блоке 3.

6. Автоматический расчет интегральных показателей по предложенному методу вычисления нечетких значений с учетом коэффициентов важности частных критериев в блоке 4.

7. Автоматическая обработка правил в базе и вывод результата вычислений в блоке 5.

Рис. 5. – Экспертные оценки образовательной программы [Expert assessments of the educational program]

Данная архитектура была реализована в среде программирования и моделирования MathLab и апробирована на задаче принятия решения при управлении профессиональными образовательными программами, обеспечивающими атомную отрасль. Так было проведено комплексное оценивание образовательных программ (пример на рисунке 5) по методике, предложенной авторами в [7].

На основе базы правил (рисунок 6), связывающих полученные комплексные нечеткие оценки ключевых показателей образовательной программы с выходной переменной, было получено рекомендуемое управляющее воздействие.

Применение данной автоматизированной системы позволило повысить обоснованность принимаемых решений, уменьшить время принятия решения. Предложенная архитектура ИС поддержки принятия решения, объединяющая алгоритмы нечеткого вывода и процедуры комплексного оценивания обладает следующими преимуществами:

- возможностью избежать необходимости фазификации и дефазификации на каждом уровне иерархии по сравнению с деревьями нечеткого вывода;
- отсутствием эффекта «проклятия размерности» при построении базы правил для принятия решения на основе большого количества входных переменных по сравнению с применением алгоритмов нечеткого вывода;
- возможностью учитывать степень влияния различных факторов на принимаемое решение;
- возможностью оперировать лингвистическими оценками входящих переменных, полученных экспертным путем.

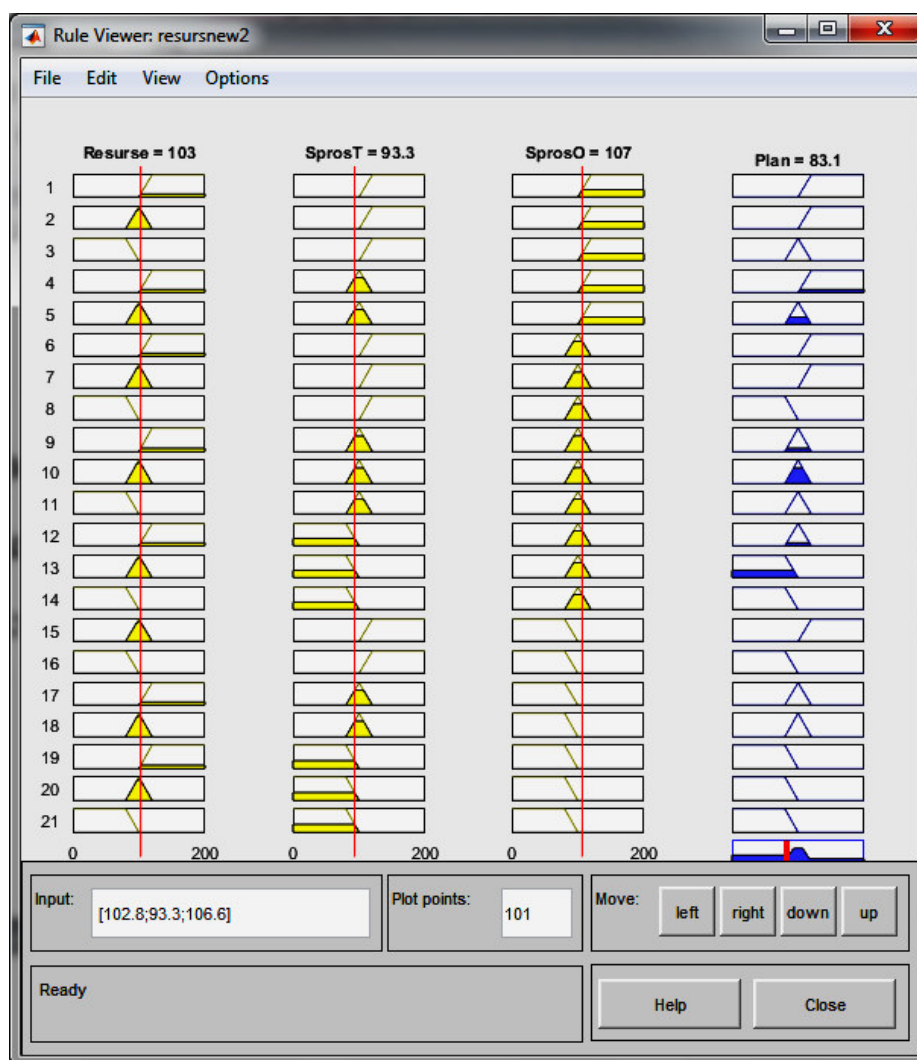


Рис. 6. – Расчет выходной переменной по алгоритму Мамдани в системе нечеткого вывода [Calculation of the output variable by the Mamdani algorithm in fuzzy inference system]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исаев, В.В. и др.* Общая теория социально-экономических систем: учеб. пособие [Текст] / В.В. Исаев, А.М. Немчин – СПб.: Изд.дом «Бизнес-пресса», 2002. – 176 с.
2. *Модели и методы поддержки принятия решений* [Текст] / Под ред. Е.М. Сухарева. – М.: Радиотехника, 2010. – 192 с.
3. *Мелихов, А.Н. и др.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.Я. Коровин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1990. – 272 с.
4. *Орловский, С.А. и др.* Проблемы принятия решения при нечеткой исходной информации [Текст] / С.А. Орловский и др. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 208 с.
5. *Ананич, И.С. и др.* Агрегирование информации в системах информационного мониторинга [Текст] / И.С. Ананич, А.Г. Бельский, Л.Б. Пронин, А.П. Рыжов // Труды Международного семинара «Мягкие вычисления – 96». – Казань, 1996. – С. 43–46.
6. *Саати, Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
7. *Цвеллик, Е.А.* Система поддержки принятия решения при планировании набора абитуриентов [Текст] / Е.А. Цвеллик // IV Всероссийская научно-практическая конференция «Информационные технологии в образовании XXI века»: сборник научных трудов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. – С. 129–134.
8. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта* / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Гл.ред.физ.-мат.лит., 1986. – 312 с.

9. *Пегат, А.* Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат. – М.: Бином, Лаборатория знаний, 2009. – 800 с.
10. *Беллман, Р. и др.* Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Изд-во Мир, 1976. – С. 172–215.
11. *Сильнова, С.В.* Поддержка принятия решений при управлении предприятием на основе нечетких моделей [Текст] / С.В. Сильнова, Г.Р. Полудова, Е.А. Пузырникова // Вестник компьютерных информационных технологий. – 2009. – №11. – С. 33–41.
12. *Синюк, В.Г. и др.* Алгоритм построения иерархических систем нечеткого вывода Такаги-Сугено [Текст] / В.Г. Синюк, В.М. Поляков, А.А. Кузубова // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ – 2012 (16-20 октября 2012 г., Белгород, Россия). В 4-х томах. Т.2. – Белгород: БГТУ им В.Г. Шухова, 2012. – С. 247–253.
13. *Сумарокова, Н.Н. и др.* Система поддержки принятия решений при планировании приема студентов в вуз [Текст] / Н.Н. Сумарокова, А.Л. Истомин // Вестник иркутского государственного технического университета. – 2013. – №1(72). – С. 17–24.
14. *Штовба, С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
15. *Штовба, С.Д.* Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс] / С.Д. Штовба. – Режим доступа: URL: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/4_6.php – 27.02.2018.

REFERENCES

- [1] Isaev V.V., Nemchin A.M. Obshhaya teoriya socialno-ekonomicheskikh sistem: uchebnoe posobie [General Theory of Socio-Economic Systems: Textbook]. Sankt-Peterburg, 2002, 176 p. (in Russian)
- [2] Modeli i metody podderzhki prinyatiya reshenij. Pod redakciej E.M. Suhareva [Models and Methods for Supporting Decision-Making. Edited by E.M. Sukharev]. M., 2010, 192 p. (in Russian)
- [3] Melixov A.N., Bershtejn L.C., Korovin S.Ya. Situacionnye sovetuyushhie sistemy s nechetkoj logikoj [Situational Advisory Systems with Fuzzy Logic]. M. Pub. Nauka [Science], 1990, 272 p. (in Russian)
- [4] Orlovskij S.A. etc. Problemy prinyatiya resheniya pri nechetkoj isходnoy informacii [Decision Problems with Fuzzy Source Information]. M. Pub. Nauka [Science], 1981, 208 p. (in Russian)
- [5] Ananich I.S., Belenkij A.G., Pronin L.B., Ryzhov A.P., Ananich I.S. Agregirovanie informacii v sistemah informacionnogo monitoringa [Aggregation of Information in Information Monitoring Systems]. Trudy Mezhdunarodnogo seminara «Myagkie vychisleniya – 96» [International Workshop "Soft Computing - 96"]. Kazan, 1996, pp. 43–46. (in Russian)
- [6] Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarxij [Making Decisions. Method for Analyzing Hierarchies]. M., 1993, 278 p. (in Russian)
- [7] Cvelik E.A. Sistema podderzhki prinyatiya resheniya pri planirovanii nabora abiturientov [Decision Support System for Planning Admissions]. IV Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Informacionnye tehnologii v obrazovanii XXI veka»: sbornik nauchnyx trudov [IV All-Russian Scientific and Practical Conference "Information Technologies in Education of the XXI Century": a collection of scientific papers]. M., 2014, pp. 129–134. (in Russian)
- [8] Nechetkie mnozhestva v modelyah upravleniya i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy Sets in Control Models and Artificial Intelligence]. Pod redakciej D.A. Pospelova [Edited by D.A. Pospelov]. M., 1986, 312 p. (in Russian)
- [9] Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie [Unclear Modeling and Control]. M., 2009, 800 p. (in Russian)
- [10] Bellman R., Zade L. Prinyatie reshenij v rasplyvchatyh usloviyah. Voprosy analiza i procedury prinyatiya reshenij [Decision Making under Vague Conditions. Issues of Analysis and Decision-Making Procedures]. M., 1976, pp. 172–215. (in Russian)
- [11] Sil'nova S.V., Polyudova G.R., Puzyrnikova E.A. Podderzhka prinyatiya reshenij pri upravlenii predpriyatiem na osnove nechetkih modelej [Support for Decision-Making in Enterprise Management Based on Fuzzy Models]. Vestnik kompyuternyh informacionnyh tehnologij [Computer Information Technology Reporter], 2009, №11, pp. 33–41. (in Russian)
- [12] Sinyuk V.G., Polyakov V.M., Kuzubova A.A. Algoritm postroeniya ierarxicheskix sistem nechetkogo vyvoda Takagi-Sugeno [Algorithm for Constructing Hierarchical Systems of Fuzzy Inference Takagi-Sugeno]. Trinadcataya nacional'naya konferenciya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII – 2012 (16-20 oktyabrya 2012 g., Belgorod, Rossiya) [Thirteenth

- National Conference on Artificial Intelligence with International Participation KII - 2012 (October 16-20, 2012, Belgorod, Russia)]. V 4-x tomah [4 Volumes]. Vol. 2. Belgorod, 2012, pp. 247–253. (in Russian)
- [13] Sumarokova N.N., Istomin A.L. Sistema podderzhki prinyatiya reshenij pri planirovanii priema studentov [Decision Support System for Planning the Admission of Students to the University]. Vestnik irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [The Bulletin of the Irkutsk State Technical University], 2013, №1(72), pp. 17–24. (in Russian)
- [14] Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB [Designing Fuzzy Systems Using MATLAB]. M., 2007, 288 p. (in Russian)
- [15] Shtovba S.D. Vvedenie v teoriyu nechetkix mnozhestv i nechetkuyu logiku [Introduction to the Theory of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic]. Available at: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/4_6.php (in Russian)

Information System for Decision Support in the Management of Social and Economic Systems in the Nuclear Facility Territories

V.M. Kureichik*¹, E.A. Tselik**², R.V. Pirozhkov**³

* South Federal University,
105/42 Bolshaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don, Russia, 344006
¹e-mail: vmkureychik@sfedu.ru

** Volgodonsk Engineering-Technical Institute – Branch of NRNU «MEPhI»,
Lenina street, 73/94, Volgodonsk, Russia 347360
²e-mail: stvelik@mail.ru ;
³e-mail: roman-3.14@yandex.ru

Abstract – The task of ensuring the development of the territories for the placement of nuclear facilities consists of two stages: the task of assessing the state, the quality of the functioning of individual systems and areas of these territories and the stage of selecting the control impact that will improve the assessed parameters and increase the efficiency of these systems. This paper proposes an information system (IS) that supports the control action selection based on fuzzy complex estimates of system parameters. IP is based on the integration of fuzzy control systems and the procedure for determining the integral indicators of the system functioning of particular criteria linguistic estimates.

Keywords: decision support systems, fuzzy sets, fuzzy inference systems, complex systems estimation, expert linguistic estimates.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039:621.18

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЙТРОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВВЭР-1200 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДА WIMS-ANLS

© 2018 Юйбинь Сюй

Томский государственный университет, Томск, Томская обл., Россия

В статье рассматривается использование кода WIMS-ANL для получения различных значений и максимальных значений эффективного коэффициента размножения нейтронов (Кэф) путем изменения размера канала теплоносителя топливной сборки реактора (ВВЭР-1200) и концентрации топлива UO_2 (от 1 до 30%).

Ключевые слова: ВВЭР-1200, WIMS-ANL, решетчатая ячейка, топливная сборка, нейтронные характеристики, реактивность, эффективный коэффициент размножения.

Поступила в редакцию: 12.02.2018

1. Introduction

1.1. Reactor type VVER(V491)-1200

1.1.1. VVER-1200 reactor plant

The design of AES-2006 of Generation 3+ with V-491 reactor plant is an evolutionary development of the designs with the VVER-1200 water cooled and water moderated reactor proved by a long-time operation. The AES-2006 design is based on the principle of safety assurance for the personnel, population and environment. The principle meets the requirements for the standards of radioactive substance releases into the environment and their content at normal operation, at anticipated operational occurrences including the design basis conditions (i.e. design events of Category 1-4) as well as at the beyond-design basis events during the entire service life of the nuclear power plant. One of the requirements during the reactor plant and process system design elaboration was not to reach the estimated value of a severe core damage $1.0E-6$ reactor/year and for the probability of emergency radioactivity release not to exceed $1.0E-7$ reactor/year. Level I and II PSA predict that these given values are not exceeded.

The VVER-1200 (V-491) design was developed by the Organization of General Designer “Atomenergoproekt” (St.Petersburg), Organization of General Designer of reactor plant, OKB Hidropress (Podolsk), with the scientific supervision of the RRC “Kurchatov Institute” (Moscow), in line with the Russian Regulatory Documents and considering the requirements of the IAEA and the European Utilities Requirements (EUR). The design was performed using the ISO 9001:2000 Quality Assurance International Standard. The main engineering solutions for reactor plants with VVER reactors have been corroborated by the experience of operating these installations for about 1400 reactor-years (decommissioned reactors included) considering about 500 reactor-years of operating the RPs with VVER-1200.

The safety concept of VVER-1200/V-491 considers the up-to-date world tendencies in

the field of NPP safety enhancement in order to meet the requirements for the NPP safety that are continuously made more stringent. The requirements for improving the economic efficiency of the NPP were also considered.

1.1.2. Reactor core and fuel design

The reactor cores contain 163 fuel assemblies (FA). The FAs are intended for heat generation and its transfer from the fuel rod surface to coolant during the design service life without exceeding the permissible design limits of fuel rod damage. The FAs are 4570 mm high (nominal value). When the reactor is in the hot state the height of the powergenerating part of the fuel rod is 3750 mm. Each FA contains 312 fuel rods. The FA skeleton is assembled of 18 guide channels, 13 spacer grids welded to them, an instrumentation channel and a support grid. The fuel rod cladding is a zirconium alloy tube. Sintered UO_2 pellets with a 5% (4.95 ± 0.05) maximum enrichment are stacked inside the cladding. The average linear heat rate of a fuel rod is 167.8 W/cm.

According to the cartogram up to 121 rod cluster control assemblies (RCCAs) are placed inside the core. They are intended for quick chain reaction suppression, maintaining power at assigned level and its level-to-level transition, axial power field leveling, xenon oscillation suppression. Pitch electromagnet drives with pitch position indicators are used for RCCA drive mechanisms. The drives are installed on the reactor top head. The maximum effective time of FA operation between refuelings for a 12-month fuel cycle is 8400 effective hours. The average burnup of unloaded fuel is up to 60 MWD/kg U. Annually 42 fresh FAs are loaded into the core for the basic fuel cycle.

1.1.3. Structure of fuel assembly type

The reactor core is occupied by fuel assembly design for both base TVSA and alternative TVS-2. The TVSA fuel assembly (FA) is considered as a base version of fuel assembly (FA) design and as an alternative version is TVS-2. Both versions of FA are interchangeable and are of reference character.

The core of the reactor includes 163 fuel assemblies; which are identical in design and 312 fuel elements. Each FAs comprises of the following components, top nozzle, bundle of fuel rods, bottom rod, guiding channels and spacing grid as shown in *Fig 1* and *Fig 2* [1]. The fuel rods are cylindrical and clad with Alloy E-110.

Each rod contains fuel pellets with inner and outer diameter of 0,6cm and 0,78cm respectively. Additionally the fuel pellet are also clad with material of 0,772cm inner diameter and an outer diameter of 0,910 cm.

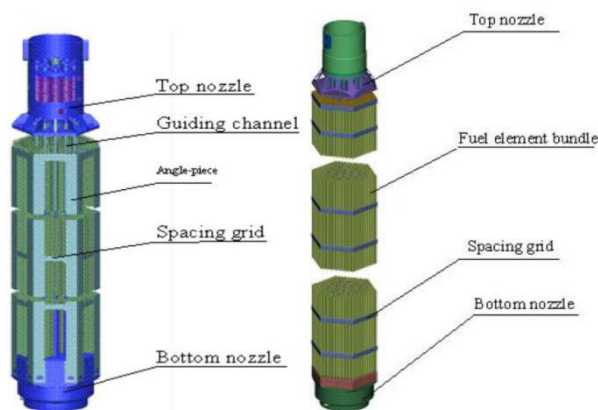


Fig. 1. – TVSA general view

Fig. 2. – TVS-2 general view

During reactor operations, fuel rods are fully immersed in water at a nominal pressure of 15MPa preventing the water from boiling at a normal (220°C to cover 328.9°C) operating temperature. Fuel is low enrich (varying between 2,4 % to 4 %) UO_2 .

Since boiling on the pallet surface is prohibited the temperature of cladding depends on the type of fuel used. The inserted fuel assemblies contains 312 fuel elements, 18 guide tubes, central tube and one instrumentation tube, all arranged in a triangular lattice with a pitch of 1,275. The hexagonal lattice pitch of the assembly cell is 23,6 cm.

The structure and configuration of the fuel assembly in the core are kept unchanged but rather refueled at the end of its fuel cycle. Water is mostly used as reflector. The huge size of the FAs contribute to the increase of multiplication factor and the short migration length.

The reactor VVER-1200 are required for large scale power generation and are mostly enhanced by increasing the size or length of fuel assembly or advancing the fuel (UO_2) without changing the volume of the core. After modernization, power of the reactor can only be increased by 2-5% of nominal reactor power. Period of refueling of FAs ranges from 12 – 18 months. The main characteristics of this prototype reactor are listed in the table 1 below.

Tab. 1. – Main parameters of the VVER-1200 reactor

<i>Main parameter, unit</i>		<i>Values</i>
Nominal thermal capacity, MW		3200
Rated Electrical capacity, MW		1170
Fuel assembly quantity		163
Cladding material(Alloy)		Zr+2.5%Nb
Fuel mass in the rod(kg)		1,575
Fuel rod effective height (cm)		353
Fuel material		UO_2 and $\text{UO}_2 + \text{Gd}_2\text{O}_3$
Density of fuel, g/cm^3		10,5
Fuel temperature, K		500
Fuel pallet diameter, cm		
	outer	0,78
	innerr	0,06
Cladding diameter, cm		0,910
Moderator-coolant		H_2O
	Pressure, MPa	14
	Temperature, C	329
Fuel assembly form		Hexagonal
Lattice, cm		1,35
Type of Lattice		triangle

1.1.4. Configuration of the core and FAs of VVER-1200

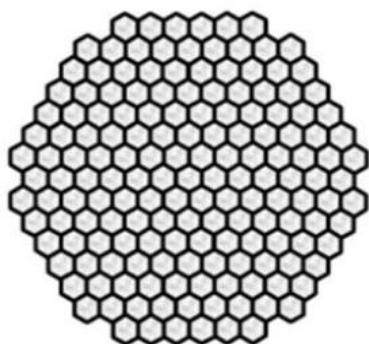


Fig. 3. – Core (163 FAs)

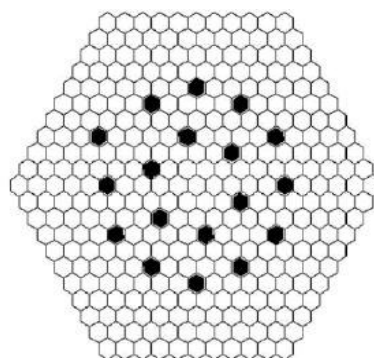


Fig. 4. – FAs (312 FE)

In modern VVER-1200 with uranium enrichment 3-5% at 2-3 years of campaign with partial overload has burnup ranging from 40-50 GWd/KgU and it is even more in intense fuel elements as compared to the burnup of PWR reactors which ranges from 45 to 50 GWd/KgU. Average burnup of unloaded fuel in PWRs is 52,8 GWd/KgU.

Reactivity margin for VVER-1200 reactors is approximately equal to 0,25 $\Delta k/k$. The loss of reactivity due to Xe^{135} poisoning in the reactor core is equivalent to % but reactivity worth, also known as Xenon load which is proportional to the Xenon concentration varies with the steady power of the reactor for LWR.

Time required for xenon to achieve its maximum equilibrium concentration is between 30-40hr, with specific yield of $(\gamma) \approx 0,03$ % directly from fission and a total fission yield of $(\gamma) \approx 6,6\%$. For most thermal reactors the value of optimum lattice lies between 0,5 to 0,6R.

The experimental values obtained for reactivity coefficient of PWRs reactors are summarized in the table 1.2 below. [10]. According to the estimation, coefficients in PWRs are mostly negative.

1.2. WIMS-ANL code

1.2.1. General code properties

The WIMS-ANL (Winfrith Improved Multigroup Scheme) are codes extensively used for power and lattice physics analysis. This developed program was initially aimed at using the transport theory to calculate the neutron flux as a function of energy spatial location in one dimensional cell. The program uses its own 69 group constant library and the ENDF/BV library prepared for various materials, power and temperatures bases on the ENDF format [2].

There are two main transport option known as DSN (discrete ordinates) and PERSUS (collision probability). Transport solutions are performed using any specified intermediate group structure up to the number of library groups. The main transport is mostly preceded by one or two SPECTROX flux spectra calculation(s) for few spatial regions in the few region library group structure after which calculation of spectra for a spatial region in the full number of energy groups of its library are performed using the spectra to condense the basic cross sections into few groups [2].

After completion of the main transport solutions, the intermediate group cross sections are collapsed to the broad group structure (≤ 20 groups) and may be written in the microscopic or macroscopic ISOTXS format for use in subsequent transport or diffusion theory codes. The microscopic ISOTXS cross-sections contain the full P_0 and P_1 scattering matrices for transport calculations, but their primary use will be in Multigroup diffusion theory analyses [2]. The cross sections are also burnup and spatially dependent. The cross

section and energy group of the 69 library groups are shown in Appendix B.

Main purposes of this code developing algorithms for the WIMS code, creating main data and prelude data to calculate spectra for few spatial region and rated regions in homogeneous medium, creating libraries for theses program. WIMS code and its 69 group libraries are found to be one of the adequate predictor of cell reactivity, burnup process and flux spectrum cell modelling. The input data model includes prelude data (the two transport solutions i.e. PERSUS & DSN) and main data (geometry, composition, cell characteristics, burnup and reaction rate edit).

1.2.2. The general scheme of WIMS-ANL simulation method

To perform neutron calculation in the core of the reactor, simulation of the reactor is required. In this research work, the cell calculation which stimulates the fuel assembly in the reactor core was performed and the output was used in the core calculation which apparently determines the neutronic parameters of the reactor. Firstly, the simulation of the fuel assembly, the WIMS-ANL codes were used. It is necessary to remember that the occurring process in the simulation corresponds to the actual physical process. A neutron will be absorbed by a nuclei to sustain the fission chain reaction by dividing itself and releasing energy. These happens at the end of the simulation, the particle that appear in simulation is known as the neutron flux (neutron clusters). Internally, the WIMS code also generates region-averaged cross sections in an intermediate group structure that can utilize maximum number of fine groups in the library. Presently, fine-group libraries with 69 and 172 groups are used in the ANL RERTR Program [2].

The WIMS-ANL codes uses the transport theory to calculate the neutron flux as a function of energy and positions in the cell. It begins by performing spectra calculations for few regions in the full number of energy groups of its 69 library and uses these spectra to condense the basic cross section into few groups. The obtained flux values are then expanded by using the formal spectra calculations in order for the reaction rate at reach point to be calculated in each library structure. Different geometries such as (the elementary ones are homogenous, annulus, rod clusters in cylindrical geometry and finite cylinders in r-z geometry) are evaluated. In addition to the primary cell calculations, the program is used to carryout burnup calculations using time steps intervals or power value.

Moreover, the program reads the basic macroscopic cross section from its library tape. It then calculates the macro cross sections for each material, with automatically calculated resonance shielding the preliminary spectrum is evaluated using the collision probability methods. In this work, fuel assemblies with different enrichments has been modelled using the WDSN (transport calculations are performed in one dimension) and the main transport option for finding the problem (homogenous) in the finite geometric medium. In modeling it is recommended to convert the hexagonal structure of the fuel assembly (having a triangular lattice pitch) to circular fuel assembly model since WIMS code can only perform cell calculation in circular model. In converting the hexagonal structure to the circular model the volume remains unchanged. The *fig 5* and *fig 6* below shows the hexagonal model and the circular model used for cell computation respectively.

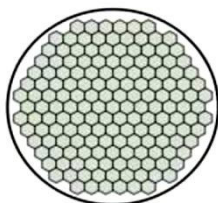


Fig. 5. – Hexagonal model

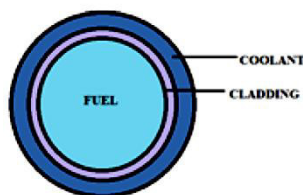


Fig. 6. – Circular model for a unit cell

The WIMS code requires the following information;

- the material of each part of the cell,
- the geometry of the fuel assembly,
- burnup parameters,
- buckling value of the call,
- temperature and power used and other information depending on the method used for the calculation. At the end of the simulation, the values obtained for effective multiplication factor in each medium were used in evaluating the optimum sizes for the four regions of the lattice cell and were further used for optimizing the neutronic parameter associated with the dynamics of the reactor.

1.2.3. Simulating the VVER-1200 reactor core using WIMS-ANL codes

Analysis was performed on the neutronic characteristics associated with the reactor VVER-1200 design using the WIMS-ANL code. In simulating, two main inputs were used i.e. the main input data and the prelude input data.

The prelude input option comprises of method of solution, which contains the SEQUENCE card which defined the main transport routine used in the lattice calculation, and the CELL card was used in the selecting the cell type which in this case was a single homogenous cell [1], 2) accuracy of solution which contains the NGROUP card which set the number of main transport group that was used. Note the larger the number of group selected usually results in a more accurate flux and cell reactivity calculation and the NMESH card was set to calculate the number of mesh points in the main transportation calculations.

Description of the core geometry (NREGION) and compositions (NMATERIAL) were also defined in the prelude data. The NREGION card was used to set the number of zones in the given lattice whilst the material card defined the number of material component and lastly the NREACT card was used in some cases [1] for the finite medium.

The secondary input option for a one dimensional geometry the ANNULUS card was used to define the unit cell and the NMATERIAL card in specified the density/composition, temperature and spectrum type of the material in the set lattice, other input used in the main data were the POWERC (calculation of fuel depletion over a time step) card, reaction rate card and the ISOTXS (for writing micro and macro cross section in the output data file), the BEGINC card which ends the main data input and the PRTOPT card set at 1 to edit result in the full output [1].

2. Description of research

In this study the determination of the neutronic characteristics associated with the dynamics if the reactor which leads to the increase or decrease of the campaign length has been evaluated. Parameters such as reactivity and reactivity feedback were calculated. The reactivity associated with the xenon transients arising from power level change were also calculated. Calculations were also carried out on energy contribution by each fuel composition in the cell. All the parameters were performed for different uranium enrichment (from the very low enrichment to the highly enriched uranium) in finite or infinite medium as a function of buckling. Insertion the fuel assemblies (section 1.1.1) into the core of the reactor, it is important to know that the fuel elements contains fresh fuel isotopic compositions yet to be irradiated by thermal neutrons.

In order to get the accurate optimum lattice of the unit cell and have an overall idea about the optimization of the fuel consumption in the reactor, contribution of every individual isotope was calculated based on the enrichment. The concentrations of every individual

isotope of fuel such as ^{235}U , ^{238}U , O_2 were comprehensively calculated based on the enrichment given and their respective reactivity were analyzed based on K_{eff} values obtained from the WIMS-ANL. Below is a graph which indicate the effect of reactivity on the fuel enrichment as it varies.

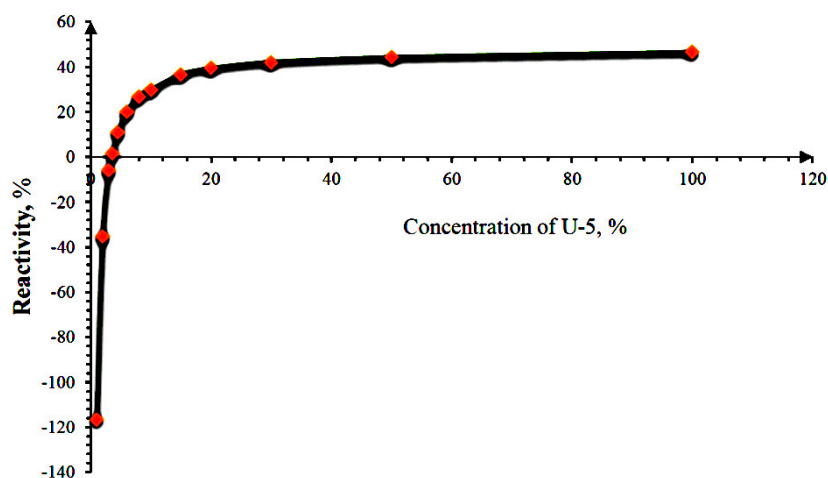


Fig. 7. – Reactivity of VVER-1200 vs. fuel enrichment

The result of the calculation shows that the reactivity of the reactor increases with an increase in fuel enrichment. This is due to the fact that effective multiplication factor of neutron generation (neutrons in the multiplying medium) increases as the enrichment of fissile isotope increases. As the number of fissile isotopes in the fuel increase the kinetic energy of the neutrons causing fission, thus the higher neutron population (neutron flux) which is directly proportion to the energy (E) of the reactor. Hence the reactivity which directly reflects the responsiveness of a reactor to the change in neutron balance also increases.

3. Calculation of optimum size using WIMS-ANL

From the neutronic point of view, the optimum sizes occurred where K_{eff} is maximum in the cold zero power reactor condition (i.e. $T = 20^\circ\text{C}$). The VVER-1200 reactor core was firstly simulated, using the WIMS-ANL program with various allowable values for each annulus (ANNULUS 1: region of gap in fuel pellet, annulus 2: fuel region, annulus 3: cladding and annulus 4 annular cooling thickness) of the lattice cell.

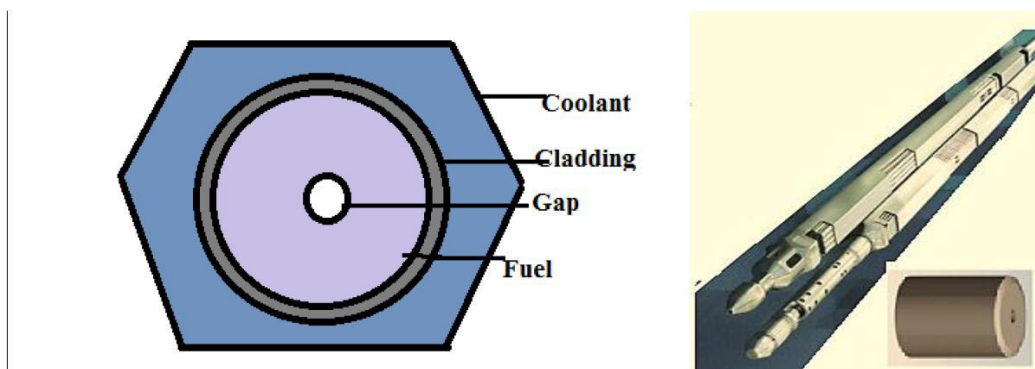


Fig. 8. – lattice cell structure and a fuel assembly

After simulation, the results of the experiment show that the maximum K_{eff} for ANNULUS 4 (with radius ranging from 0,45 cm to 1cm) for VVER-1200 with 2% to 4,5% fuel enrichment were found at radius 0,55cm. The same procedure is repeated for annulus 1 (with radius ranging from 0,01 to 0,15cm) , 2 (radius between 0,2 to 0,45cm) and 3 (0,4 to 0,75 cm) and their obtained values were proposed to be 0,01 , 0,45 and 0.5425 respectively. Figure 2.1 below shows the optimum radius of coolant region.

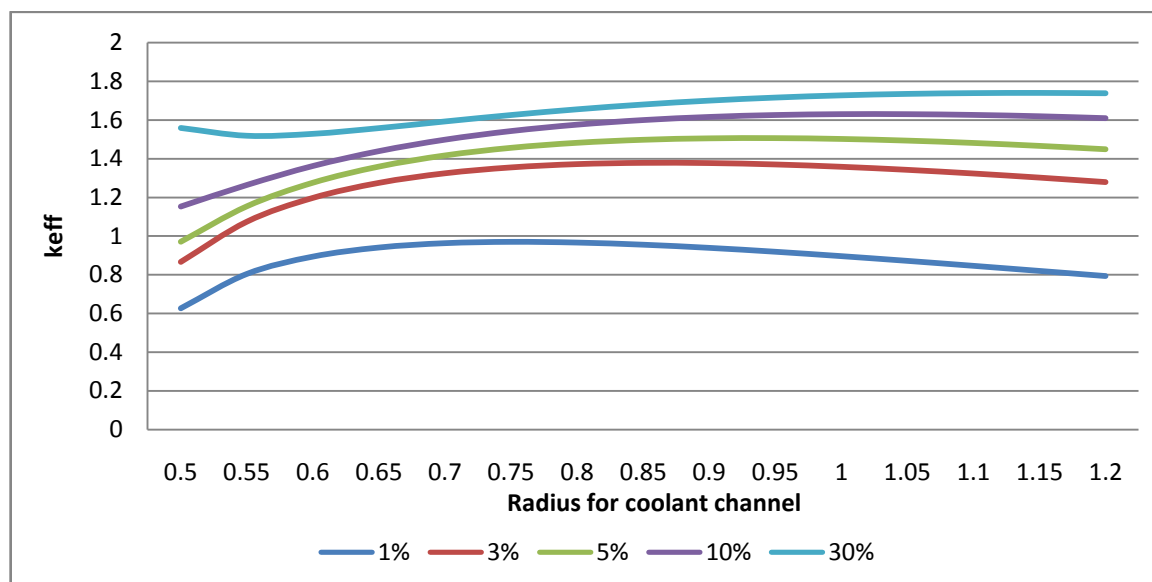


Fig. 9 – Dependence of K_{eff} on coolant channel radius

Below is a tabulated values for the optimum sizes of coolant/moderator. Similar values were obtained in both finite and infinite medium.

Tab. 2. – optimum sizes of coolant for each enrichment

<i>Enrichment%</i>	<i>Max keff</i>	<i>Optimum size</i>
1%	0.9705	0.75
3%	1.3788	0.85
5%	1.5062	0.95
10%	1.6307	1
30%	1.7395	1.15

The optimized configurations were used as the new input for the subsequent calculations. The optimum values obtained were reintroduced in the lattice cell and examine to it effect and the neutronic parameters associated with the optimized core were then investigated.

4. Conclusion

Calculated by WIMS-ANL, the K_{eff} changes at different fuel concentrations and at different cooling water channel sizes, and the maximum appears. The higher the fuel

concentration, the higher the keff value. As the size of the sink changes, the keff value first increases and then decreases.

REFERENCES

- [1] J.G Tyror & R. I. Vanghan. An introduction to Neutron kinetics of nuclear power reactor. Second edition: point reactor kinetics. 2011, p. 182. (in English)
- [2] W.L. Woodruff, Argonne National Laboratory, USA and L. S. Leo Pando: "Upgrades to the WIMS-ANL Code and Library. Philippine Nuclear Research Institute, Sao Paulo, Brazil, 1998. (in English)
- [3] Yoshiaki Oka, Katsuo Suzuki (edited). Nuclear reactor kinematics and plant control. Second edition. Tokyo, Japan, Springer, 2008, pp. 501–519. (in English)
- [4] D.M. Titova, et al. Approaches to optimization of the core reactivity coefficient for the 'master' heat supply reactor. Obninsk institute of nuclear power engineering, national research university (MEPHI), Russia, 2015. (in English)
- [5] Bengt pershagen. Light water reactor safety. Substantially revised and updated edition: Studsvik AB, Nykoping. Springer, 1988, pp. 466. (in English)
- [6] Teresa Kulikowska. Reactor lattice transport calculation. Institute of atomic energy, Swierk, Poland, 2000, pp. 19–21. (in English)
- [7] Carl Bergl., et. On measuring and monitoring of reactivity in subcritical reactor systems with Monte Carlo neutronics. KTH School of engineering, Department of physics, Sweden, 2014, pp. 15. (in English)
- [8] Dan Gabriel Cancuci. Handbook of nuclear engineering. Vol. 1: Nuclear engineering fundamentals. Springer, 2010, pp 1172. (in English)
- [9] Amir Hosein Fidaei, Saeed Serayeshi. Some neutronic calculations for the VVER-1000 using WIMS and Citation code. Anirkabir University of Technology, Iran, 2009. (in English)
- [10] Amir Hosein Fidaei, Saeed Serayeshi. Control rod worth calculation for VVER-1000 using SRAC and MC NPS code. Institute nuclear science and Technology, Vietnam, 2012. (in English)
- [11] L. Thilagam, C. Sunil Sunny & K.V. Subbaiah. Doppler coefficient of reactivity calculation for different enrichment of uranium oxide. Safety research. Kalpakkam, India, 2000. (in English)
- [12] Gert. Jan Auwerda. Investigation of neutrons and heat transfer in gas core reactor, 2009. (in English)
- [13] Georgy L. Khorasanov, Anatoly P. Ivanov, Anatoly I. Blokhin. Neutronic and Physical Characteristics of the Ads CoreWith A Lead-208 Coolant. Institute for Physics and Power Engineering, 2007. (in English)

Optimizing the Neutronic Parameters for VVER-1200 Reactor Core Using WIMS-ANLS Code

Yubin Xu

*National Research Tomsk Polytechnic University, Institute of Physics
Lenin St., 2, Tomsk region, Russia 634050
e-mail: 512685424@qq.com*

Abstract – In this paper, the WIMS-ANL is used to obtain different keff values and maximum keff values by varying the size of the cooling sink of the fuel assembly of the reactor (VVER-1200) and the fuel UO2 concentration (1 to 30%).

Keywords: VVER-1200, WIMS-ANL; lattice cell, fuel assembly, neutronic characteristics, reactivity, effective multiplication factor.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.31:621.039

**УСТАНОВКА ФРАГМЕНТАЦИИ ДЛИННОМЕРНЫХ
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА БЛОКАХ ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ
БЕЛОЯРСКОЙ АЭС**

**© 2018 О.А. Ярмоленко^{*}, Н.Н. Уфаев^{*},
А.И. Берела^{**}, С.А. Томилин^{**}, А.Г. Федотов^{**}**

^{} АО «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники
им. Н.А. Доллежалея», Москва, Россия*

*^{**} Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

Представлена оригинальная конструкция установки и применяемая в ней технология фрагментации длинномерных радиоактивных эксплуатационных отходов для подготовки вывода из эксплуатации блоков первой очереди Белоярской АЭС с соблюдением условий радиационной безопасности. Установка смонтирована, испытана и принята в опытную эксплуатацию.

Ключевые слова: длинномерные радиоактивные отходы, фрагментация, контейнирование, радиационная безопасность, технологическая шахта, подъемник, пневмоцилиндр, сабельная пила.

Поступила в редакцию: 12.02.2018

Реализация проектов вывода из эксплуатации блоков АЭС связана с проведением различного рода подготовительных работ, к которым относится и демонтаж вспомогательных систем, оборудования, эксплуатационной и ремонтной оснастки, накопившихся отходов ремонтных работ и других объектов. Как правило, данные работы имеют радиационно-опасный характер и требуют соответствующего подхода к разработке для них технологических процессов, оборудования и оснастки. В рамках настоящей работы представлены некоторые практические результаты, полученные при проектировании технологий данного направления.

На этапе подготовки к выводу из эксплуатации двух блоков первой очереди Белоярской АЭС с канальными уран-графитовыми реакторами предусмотрено проведение работ по фрагментации, контейнированию и перемещению на отведенное место временного хранения длинномерных радиоактивных отходов (РАО) из центральных залов (ЦЗ), ячеек реакторного пространства (РП), технологических шахт (ТШ) и бассейнов выдержки (БВ) [1].

Общее количество длинномерных РАО, к которым, например, относятся каналы, штанговый ремонтный инструмент, пеналы с облученными графитовыми блоками составляет более 1000 единиц. Для выполнения этих работ использование имеющейся на Белоярской АЭС защитной («горячей») камеры невозможно. Штатное оборудование и помещения для такого рода работ на станции не предусмотрены.

Длинномеры характеризуются следующими параметрами:

– трубные и прутковые длинномеры из коррозионно-стойкой и углеродистой стали диаметром от 30 до 110 мм, длиной до 18 м;

- пеналы квадратного сечения 240×240 мм из углеродистой стали с толщиной стенки 2 мм и длиной 13,5 м в количестве 10 шт.;
- пеналы круглого сечения диаметром 325 мм из углеродистой стали с толщиной стенки 8 мм и длиной 14 м в количестве 6 шт.

Исходя из конструктивных особенностей, длинномеры хранятся в вертикальном положении, для большинства из них непосредственное кантование с использованием мостового крана ЦЗ невозможно из-за опасности деформирования и (или) разрушения.

Для решения задачи по обращению с длинномерными РАО первой очереди Белоярской АЭС АО «НИКИЭТ» в кооперации с организациями научно-исследовательской направленности г. Волгодонска (ВНИИАМ, ВИ (ф) ЮРГТУ (НПИ), а затем ВИТИ НИЯУ МИФИ), разработали, изготовили, смонтировали в ЦЗ первого блока и сдали в опытную эксплуатацию установку для разделки на фрагменты данных объектов.

Исходные предпосылки разработки – применение технологии современного технического уровня и достаточной производительности, адаптированной к конструктивным параметрам объектов воздействия, отвечающей принципам обеспечения радиационной безопасности и существующим ресурсным ограничением (дозовыми, материальными, финансовыми, временными) [2–5].

Основные требования к технологическому процессу фрагментации и контейнеризации длинномеров, реализованные в проекте:

- применение промышленного технологического оборудования, оснастки, инструмента;
- обеспечение радиационной и технической безопасности при эксплуатации установки;
- выполнение технологических операций в дистанционном режиме управления;
- обеспечение надежности, безотказности и ремонтпригодности установки.

Установка существенно отличается по конструкции и технологии обращения с длинномерными РАО от разработанных ранее АО «НИКИЭТ» совместно с ВНИИАМ проектов аналогичного назначения, в которых:

- использован промышленно изготавливаемый для АЭС механизм рубки каналов [6], в рабочую зону которого они должны подаваться из положения подвески на мостовом кране ЦЗ, создавая при этом высокий уровень радиационного фона (причем разделка механизмом пеналов с графитом технически невозможна);
- разделка (резка) на фрагменты пеналов с облученным графитом [7] выполняется в горизонтальном положении фрагментируемого пенала (по этой причине разработана специальная траверса для его извлечения из технологической шахты, перемещения и кантования), с использованием значительной по размеру площади ЦЗ, которую необходимо отделить радиационно-защитным экраном.

Для принятой в опытную эксплуатацию установки [8–10] характерны следующие особенности:

- расположение установки над ТШ с размещением фрагментируемого длинномерного изделия в ТШ, что позволяет существенно снизить уровень радиационного фона в рабочей зоне и окружающем пространстве ЦЗ;
- возможность разделки (резки) на фрагменты сабельной пилой всей предусмотренной номенклатуры длинномерных изделий;
- возможность раздельного контейнерирования фрагментов пеналов с облученным графитом по металлической и графитовой компоненте;
- небольшой объем пространства, необходимый для размещения установки в ЦЗ;
- вынесенный за пределы рабочей зоны пульт дистанционного наблюдения и управления.

Использование в компоновке установки технологической шахты позволяет также локализовать проявления возможных нештатных ситуаций.

Технические характеристики установки представлены в таблице 1.

Рассмотрим основные конструкторско-технологические решения (рисунок 1), обеспечивающие технологический цикл функционирования установки в последовательности:

- размещение длинномеров в шахтном подъемнике;
- подача длинномеров вверх на высоту отрезаемого фрагмента, закрепление длинномеров в положении отрезки фрагмента;
- захват отрезаемого фрагмента механической рукой, отрезка фрагмента сабельной пилой;

Таблица 1. – Технические характеристики установки фрагментации [Technical characteristics of the fragmentation installation]

Наименование характеристики	Функции и показатели
Выполняемые функции	– прием в специальном гнезде шахтного подъемника нижнего торца длинномеров, опускание длинномеров в шахту, ступенчатый подъем длинномеров на размер отрезаемого фрагмента; – фиксация длинномеров в зажимном устройстве; – фиксация отрезаемого длинномеров механической рукой; – отрезка фрагмента длинномеров сабельной пилой; – перемещение и сбрасывание фрагмента в контейнер (для фрагмента с графитом отдельно в разные контейнеры)
Способ управления	дистанционный с электрической и пневматической компонентами управления
Параметры длинномеров: – диаметр, мм – длина, мм – масса, кг	от 30 до 350 до 18 000 до 500
Длина фрагментов, мм: – для пеналов с графитом – для трубных длинномеров	300 до 1000
Мощность привода сабельной пилы, кВт	1,4
Мощность привода шахтного подъемника, кВт	0,75
Давление в сети сжатого воздуха, МПа	0,5–0,6
Угол поворота руки захвата отрезаемого фрагмента: – трубного длинномеров – пенала с графитом	$\leq 270^\circ$ $\leq 180^\circ$
Характеристики телевизионной камеры	черно-белая, радиационная стойкость 50 Гр, разрешающая способность 480 ТВ линий
Габаритные размеры установки (длина x ширина x высота), мм	1800x2000x5500 (с последующим увеличением высоты до 15000 мм за счет удлинения шахтного подъемника)
Масса, кг	1500

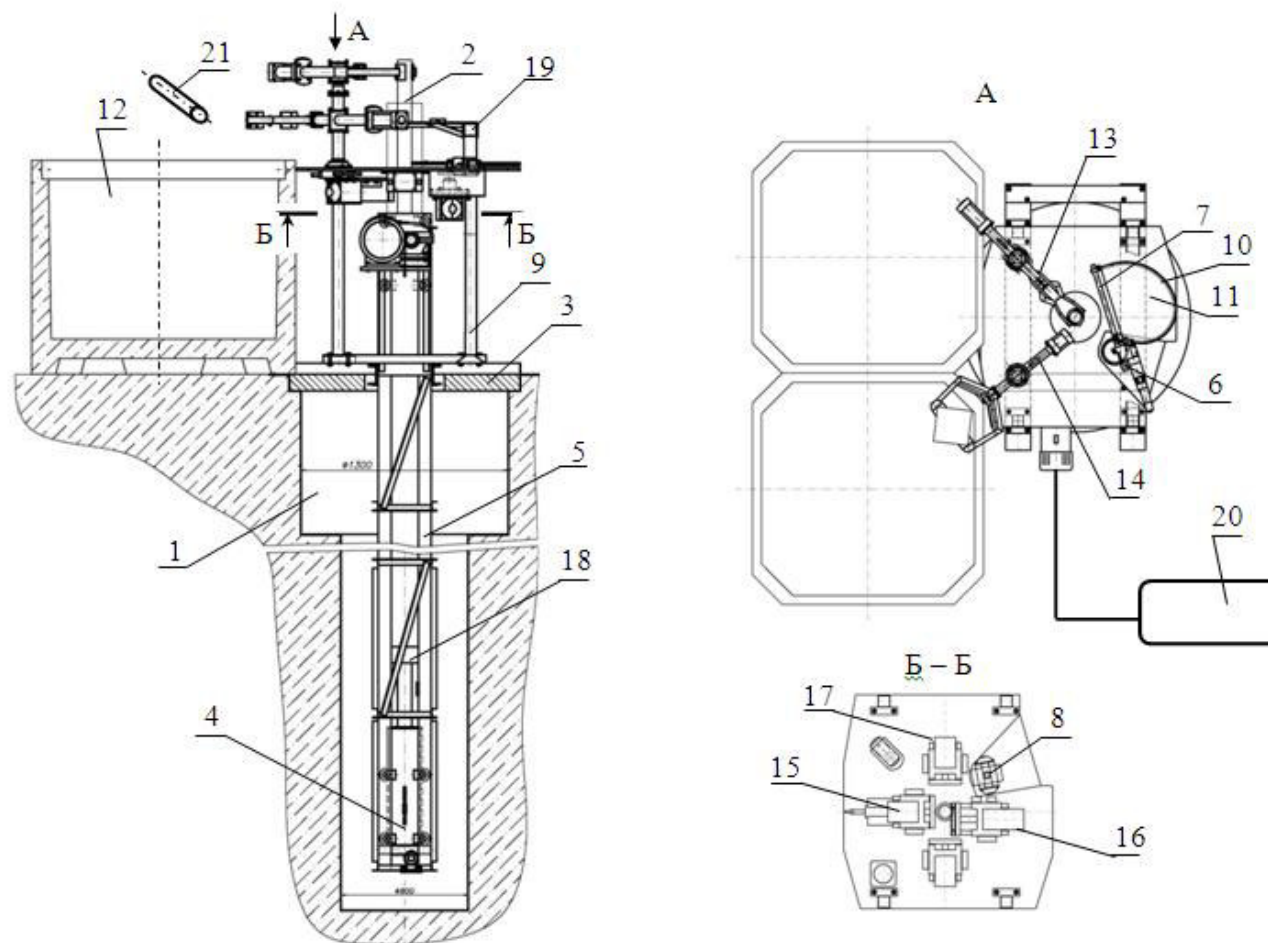


Рис. 1. – Установка фрагментации длинномеров [Long vehicle fragmentation installation]

1 – технологическая шахта; 2 – длинномер; 3 – опора; 4 – приводная каретка; 5 – подъемник шахтный; 6 – сабельная пила пневмозажими длинномеров; 7 – ножовочное полотно; 8 – пневмоцилиндр круговой подачи сабельной пилы; 9 – стол инструментальный; 10 – лучок; 11 – заслонка; 12 – контейнер; 13 – поворотная рука зажима отрезаемых фрагментов трубных длинномеров; 14 – поворотная рука зажима отрезаемых фрагментов пеналов; 15 – 17 – пневмоцилиндры зажима длинномеров; 18 – приемное гнездо; 19 – направляющая; 20 – пульт дистанционного управления; 21 – система теленаблюдения

– перемещение отрезанного фрагмента в контейнер (при фрагментации пеналов с графитом с отдельным контейнированием по металлической и графитовой компоненте).

1. Длинномерное изделие 2 устанавливается мостовым краном ЦЗ в приемное гнездо 18 приводной каретки 4 подъемника 5, который размещен на опоре 3 в технологической шахте 1. Для отрезки фрагмента заданной длины изделие 2 подается в зону резки снизу вверх на длину фрагмента приводной кареткой 4.

2. Для обеспечения надежности захвата отрезаемого фрагмента трубного длинномеров поворотной рукой 13, а также надежности зажима самого трубного длинномеров перед резкой на каретке 4 подъемника 5 установлено приемное гнездо 18, ограничивающее наклон и смещение трубного длинномеров относительно вертикальной оси направляющего отверстия в инструментальном столе. Приемное гнездо выполнено в виде втулки с коническим заходом и ступенчатым сквозным отверстием для установки нижнего торца длинномеров различного диаметра. В полости втулки размещена также сменная емкость для сбора стружки. С этой же целью в направляющее отверстие инструментального стола 9 вставляется сменное уплотнительное кольцо для более точного центрирования трубных длинномеров различного диаметра относительно приемного гнезда каретки шахтного подъемника. При разделке на фрагменты пеналов с графитом приемное гнездо 18 и уплотнительное кольцо не применяются.

3. Наведение устанавливаемого длинномеров 2 на приемное гнездо каретки подъемника через направляющее отверстие инструментального стола 9 осуществляется двухкоординатной регулируемой направляющей 19. Базовая линейка направляющей координирует при соприкосновении с ней фрагментируемый объект по одному из направлений. Координирование в другом направлении также на условиях соприкосновения задается подвижной линейкой, перемещающейся по базовой и фиксируемой на ней.

4. Осевое фиксирование и закрепление длинномеров 2 перед отрезкой фрагмента осуществляется группой пневмоцилиндров прямого действия (15 – короткоходовой с дополнительным винтовым механизмом регулировки положения относительно поперечного сечения длинномеров, 16 – длинноходовой, 17 – два противоположно расположенных короткоходовых цилиндра). Зажим трубных длинномеров производится цилиндрами 15 и 16, для зажима пеналов применяются все четыре пневмоцилиндра.

5. Резка длинномерного изделия 2 осуществляется по его поперечному сечению, для чего применяется движение круговой подачи режущего инструмента – режущего полотна 7 сабельной пилы 6 с использованием пневмоцилиндра поворотного действия 8. Режущее полотно совершает возвратно-поступательное движение. Сабельная пила 6 и поворотный пневмоцилиндр 8 установлены на инструментальном столе 9.

6. Для повышения жесткости технологической системы резки и снятия боковой нагрузки со штока сабельной пилы ножовочное полотно 7 опирается тыльной стороной на лучок 10, что повышает, с одной стороны, режущую способность ножовочного полотна, а с другой стороны, улучшает условия работы механизма возвратно-поступательного движения пилы и, как следствие, устраняет опасность их перегрева и выхода из строя. Лучок также как и сабельная пила 6 закреплен на планшайбе пневмоцилиндра поворотного действия 8 и производит вместе с пилой только движение круговой подачи без возвратно-поступательного хода.

7. Восприятие вертикальной нагрузки от действия массы отрезаемого фрагмента длинномеров 2 и предотвращение смещения вниз находящегося в нем содержимого осуществляется заслонкой 11, которая закреплена, так же как и сабельная пила 6 с

лучком 10 на планшайбе пневмоцилиндра поворотного действия 8 и производит вместе с ними только движение круговой подачи. Использование заслонки позволяет стабильно работать сабельной пиле без заклинивания режущего полотна, как при резке длинномеров, так и при последующем перемещении фрагмента по поверхности инструментального стола 9 для загрузки в один из контейнеров 12.

8. Для захвата и удержания в процессе отрезки фрагмента трубного длинномеров, а также его последующего перемещения в соответствующий контейнер 12 используется поворотная рука 13. Круговая подача руки и зажим отрезаемого фрагмента обеспечиваются с помощью пневмоцилиндров соответственно поворотного и прямого действия.

9. Для захвата и удержания в процессе отрезки фрагмента пенала с графитом, а также его последующего перемещения последовательно в контейнеры 12 для отдельной загрузки графитовой и металлической компонентами фрагмента используется поворотная рука 14. Функционирование руки также обеспечивается с помощью пневмоцилиндров поворотного и прямого действия.

10. Пульт дистанционного управления 20 и система теленаблюдения 21 позволяют эксплуатировать установку в дистанционном режиме, контролировать процесс резки длинномеров и загрузки фрагментов в контейнеры.

Работоспособность установки подтверждена комплексом испытаний макетных и опытного образцов, выполненных в ВИТИ НИЯУ МИФИ и на Белоярской АЭС.

При соответствующей организации работ на данной установке возможна сортировка металлических фрагментов по категориям активности за счет предварительного измерения активности отдельных длинномеров (а также участков длинномеров) и размещения идентифицированных по активности фрагментов в адресных контейнерах.

Как при фрагментации пеналов с облученным графитом, так и при фрагментации трубных длинномеров используются два контейнера 12, в первом случае – для раздельного контейнирования графитовой и металлической компонент фрагмента, во втором случае – для фрагментов различной или одинаковой категории активности (по ситуации).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В конструкции установки реализованы современные технические и технологические возможности выполнения резки длинномерных РАО. Использование установки предоставляет возможность существенно сократить дозозатраты персонала при фрагментации длинномерных РАО и упростить сортировку фрагментов по категориям активности. Размеры и расположение установки в ЦЗ позволяют рационально использовать пространство ЦЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярмоленко, О.А. и др. Технологии обращения с РАО, в том числе длинномерными и содержащими просыпи ОЯТ, при выводе из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов [Текст] / О.А. Ярмоленко [и др.] // Безопасность ядерных технологий: правовое и кадровое обеспечение инновационного развития атомной отрасли : сб. докл., 26–30 сент. 2011, Санкт-Петербург. – СПб., 2011. – С. 145–153.
2. Берела, А.И. и др. Разработка технологических процессов демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации атомных станций [Текст] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин, Б.К. Былкин // Инженерный вестник Дона. – 2013. – №2(25). – Режим доступа: URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1734 – 28.02.2018.
3. Берела, А.И. и др. Технологическое оборудование, применяемое в работах по выводу из эксплуатации блоков АЭС [Текст] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №1(6). – С. 58–66.

4. Берела, А.И. и др. Адаптация технологии демонтажа оборудования выводимых из эксплуатации блоков АЭС к требованиям радиационной безопасности [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 29. – №2. – URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2416 – 28.02.2018.
5. Томилин, С.А. и др. Особенности проектирования демонтажа оборудования блоков атомных станций с учетом нормативного регулирования их вывода из эксплуатации [Текст] / С.А. Томилин, А.И. Берела, Н.Н. Подрезов, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – №1(22). – С. 59–67.
6. Роменков, А.А. и др. Комплекс по разделке и кондиционированию длинномерных РАО 1-й очереди Белоярской АЭС [Текст] / А.А. Роменков, М.А. Туктаров, Н.Н. Уфаев и др. // Годовой отчет ОАО «НИКИЭТ» [Б.м.], 2009.
7. Установка для перемещения и разделки на фрагменты пеналов с облученным графитом уран-графитовых атомных реакторов : пат. 2349977 Рос. Федерация : МПК G21C 19/26 / Этинген А.А., Берела А.И., Этинген Ю.А., Роменков А. А., Ярмоленко О.А., Туктаров М.А. – № 2007115265; заявл. 23.04.2007; опубл. 20.03.2009, Бюл. №8.
8. Модернизация экспериментальной установки фрагментации пеналов с графитом под резку длинномерных ТРО на БАЭС [Текст] / А.А. Роменков, Н.Н. Уфаев, А.И. Берела и др. // Годовой отчет ОАО «НИКИЭТ» [Б.м.], 2012.
9. Установка для разделки длинномерных радиоактивных изделий на фрагменты: пат. 2545512 Рос. Федерация: МПК G21C 19/00 / А.А. Роменков, О.А. Ярмоленко, С.Н. Егоров, А.И. Берела, М.А. Туктаров, Н.Н. Уфаев, А.Г. Федотов. – № 2013151248/07; заявл. 18.11.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10.
10. Берела, А.И. и др. Оборудование для фрагментации длинномерных радиоактивных объектов при подготовке к выводу из эксплуатации блоков первой очереди Белоярской АЭС [Текст] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]: тез. докл. XI Междунар. науч.-практ. конф. 27–29 мая 2015/ ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгодонск [Б. и.]. 2015.

REFERENCES

- [1] Yarmolenko O.A. etc. Tekhnologii obrashheniya s RAO, v tom chisle dlinnomernymi i soderzhashhimi prosypyi OYaT, pri vyvode iz e'kspluatatsii yaderno- i radiacionno-opasnykh objektov [Technologies of Radioactive Waste Handling Including Long-Range and Containing SNF Spills when Decommissioning Nuclear and Radiation Hazardous Facilities]. Bezopasnost yadernykh tekhnologij: pravovoe i kadrovoe obespechenie innovacionnogo razvitiya atomnoj otrasli : sbornik dokladov 26-30 sentyabrya 2011 goda [Safety of Nuclear Technologies: Legal and Personnel Support of Nuclear Industry Innovative Development: a collection of reports, September 26-30. 2011]. Sankt-Peterburg, 2011. pp. 145–153. (in Russian)
- [2] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A., Bylkin B.K. Razrabotka tekhnologicheskix processov demontazha oborudovaniya pri vyvode iz e'kspluatatsii atomnykh stancij [Development of Technological Processes for Dismantling Equipment during Nuclear Power Plant Decommissioning]. Inzhenernyj vestnik Dona [Don Engineering Reporter], 2013, №2(25). Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734 (in Russian)
- [3] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Tekhnologicheskoe oborudovanie, primenyaemoe v rabotax po vyvodu iz e'kspluatatsii blokov AES [Technological Equipment Used in the Decommissioning of NPP Units]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2013, №1(6), pp. 58–66. (in Russian)
- [4] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Adaptatsiya tekhnologii demontazha oborudovaniya vyvodimyh iz ekspluatatsii blokov AES k trebovaniyam radiacionnoj bezopasnosti [Adaptation of Dismantling Equipment Technology of Decommissioned NPP Units to Radiation Safety Requirements]. Inzhenernyj vestnik Dona [Don Engineering Reporter], 2014, Vol. 29, №2. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2416 (in Russian)
- [5] Tomilin S.A., Berela A.I., Podrezov N.N., Fedotov A.G. Osobennosti proektirovaniya demontazha oborudovaniya blokov atomnykh stancij s uchedom normativnogo regulirovaniya ix vyvoda iz ekspluatatsii [Features of Designing the Dismantling of Nuclear Power Plant Equipment Taking into Account the Regulatory Regulation of their Decommissioning]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2017, №1(22), pp. 59–67. (in Russian)
- [6] Romenkov A.A., Tuktarov M.A., Ufaev N.N. Kompleks po razdelke i kondicionirovaniyu dlinnomernyx RAO 1-j ocheredi Beloyarskoj AES [Complex for Cutting and Conditioning Long-Length Radwaste of the Beloyarsk NPP First Units]. Godovoj otchet ОАО «НИКИЭТ» ["SRDIPE"

- OJSC annual report], 2009. (in Russian)
- [7] Ustanovka dlya peremeshheniya i razdelki na fragmenty penalov s obluchennym grafitom uran-grafitovykh atomnykh reaktorov : patent 2349977 Rossijskaya Federaciya : MPK G21S 19/26 / E'tingen A.A., Berela A.I., E'tingen Yu.A., Romenkov A.A., Yarmolenko O.A., Tuktarov M.A. – №2007115265; zayavleno 23.04.2007; opublikovano 20.03.2009, Byulleten №8 [Installation for Moving and Cutting into Pieces of Canisters with Irradiated Graphite of Uranium-Graphite Atomic Reactors: Patent 2349977 Russian Federation: IPC G21C 19/26 / Etingen AA, Berela AI, Etingen Yu.A., Romenkov A. A., Yarmolenko OA, Tuktarov MA - No. 2007115265; applied April 23, 2007; publ. 20.03.2009, Bul. №8.]. (in Russian)
- [8] Romenkov A.A., Tuktarov M.A., Ufaev N.N. etc. Modernizaciya eksperimental'noj ustanovki fragmentacii penalov s grafitom pod rezku dlinnomernykh TRO na BAES [Experimental Installation Modernization of Fragmentation of Canisters with Graphite for Cutting Long-Length SRW at BNPP]. Godovoj otchet OAO «NIKIET» ["SRDIPE" OJSC annual report], 2012. (in Russian)
- [9] Ustanovka dlya razdelki dlinnomernykh radioaktivnykh izdelij na fragmenty: patent 2545512 Rossijskaya Federaciya: MPK G21S 19/00 / A.A. Romenkov, O.A. Yarmolenko, S.N. Egorov, A.I. Berela, M.A. Tuktarov, N.N. Ufaev, A.G. Fedotov. №2013151248/07; zayavleno 18.11.2013; opublikovano 10.04.2015, Byulleten №10 [Installation for Cutting Long-Length Radioactive Articles into Fragments: Patent 2545512 Russian Federation: IPC G21C 19/00 / A.A. Romenkov, O.A. Yarmolenko, S.N. Egorov, A.I. Berela, M.A. Tuktarov, N.N. Ufaev, A.G. Fedotov. - No. 2013151248/07; applied 11/18/2013; publ. 10.04.2015, Bul. № 10.]. (in Russian)
- [10] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Oborudovanie dlya fragmentacii dlinnomernykh radioaktivnykh objektov pri podgotovke k vyvodu iz ekspluatatsii blokov pervoj ocheredi Beloyarskoj AES [Equipment for Long-Length Radioactive Object Fragmentation in Preparation for the Beloyarsk NPP First Unit Decommissioning]. Bezopasnost yadernoj energetiki: tezisy dokladov XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 27–29 maya 2015 [Nuclear Power Safety: Abstracts of the XI International Conference. Scientific and Practical Conference May 27-29, 2015]. Volgodonsk, 2015. (in Russian)

Installation of Long-Dimensionalradioactive Waste Fragmentation on the First Blocks of the Belayarsk NPP

**O.A. Yarmolenko*¹, N.N. Ufaev*²,
A.I. Berela**³, S.A. Tomilin**⁴, A.G. Fedotov**⁵**

* "Dollezhal Scientific Research and Design Institute of Power Engineering» Joint Stock Company

¹ e-mail: yarmolenko@nikiet.ru ;

² e-mail: unik@nikiet.ru

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

³ e-mail: berelaleks@yandex.ru

⁴ ORCID iD: 0000-0001-8661-8386

WoS ResearcherID: G-3465-2017

e-mail: SATomilin@mephi.ru ;

⁵ e-mail: AGFedotov@mephi.ru

Abstract – The paper presents original installation design and the technology of long-term radioactive operational waste used fragmentation for preparing the Beloyarsk NPP first unit decommissioning with observance of the radiation safety conditions. Installation is mounted, tested and accepted for trial operation.

Keywords: long-term radioactive waste, fragmentation, containment, radiation safety, technological mine, hoist, pneumatic cylinder, saber saw.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.86.06

**ВАРИАНТЫ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ЗАХВАТОВ
ДЛЯ ПОДЪЕМА УПАВШИХ РАСПОЛОЖЕННЫХ
ГОРИЗОНТАЛЬНО КАССЕТ В РЕАКТОРЕ ТИПА ВВЭР**

© 2018 П.Д. Кравченко*, Д.Н. Федоренко**

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

*** ООО «Атомспецсервис», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

В работе предложены эскизные конструктивные схемы захватов для подъёма упавших расположенных горизонтально кассет в реакторе типа ВВЭР. Рассмотрены варианты схем автоматизации процесса захвата кассет. Создана база для усовершенствования автоматических грузозахватных устройств (АГЗУ) для подъёма упавших кассет.

Ключевые слова: автоматические грузозахватное устройство, подъём упавшей кассеты, ядерный реактор АЭС.

Поступила в редакцию 26.02.2018

Отсутствие специального оборудования для подъёма упавших кассет или гермопеналов в реакторе типа ВВЭР привело к необходимости его создания, т.к. нештатные ситуации с подъёмом этих объектов могут возникнуть за время транспортно-перегрузочных операций.

Множество грузозахватных устройств [1–4, 8–10, 14–23] предназначены для работы с различными объектами различной массы и конфигураций представленных в общетеоретическом инженерном плане, позволяющем проектировать, в том числе, и автоматические грузозахватные устройства (АГЗУ).

Создание АГЗУ для упавших кассет и гермопеналов является весьма сложным процессом, т.к. АГЗУ должен быть высоконадежным устройством при работе в воде и в радиоактивной зоне.

Задача создания таких устройств может быть успешно решена эвристическими методами [5–7, 24].

Особенностью процесса подъёма упавших кассет и гермопеналов является условие применения гибкого подвеса, т.к. существующие перегрузочно-транспортное оборудование даже при его усовершенствовании не приведёт к оптимальным условиям ввиду сильного усложнения существующих конструкций.

Схематически представленные конструкции захватов для подъёма упавших расположенных наклонно кассет [25] показывает варианты конструктивных схем, которые могут быть исходными конструкциями при создании новых АГЗУ.

Мы представляем исходные конструктивные схемы вариантов захвата упавших кассет или пеналов, расположенных горизонтально.

На рисунке 1 представлена эскизная схема захвата в положении наведения на упавшую расположенную горизонтально кассету в реакторе типа ВВЭР.

Захват состоит из корпуса 1, подвешенного к подъёмному устройству на гибком подвесе; двух канатов 2 подвеса разрезной втулки, предназначенной для обхвата цилиндрической части кассеты; крюка фасонного 3, предназначенного для захвата за шипы 8 разрезной втулки; фиксатора 4, предназначенного для фиксации крюка фасонного 3 в отведённом состоянии перед освобождением кассеты, установленной уже в вертикальном положении на твёрдом основании; толкателя 5, поворачивающего фиксатор при его подъёме в процессе освобождения кассеты; пружины 6, предназначенной для удержания разрезной втулки в раскрытом положении при опускании захвата на объект; канатов 9 подвеса для подъёма разрезной втулки в положении, параллельном оси упавшей кассеты.

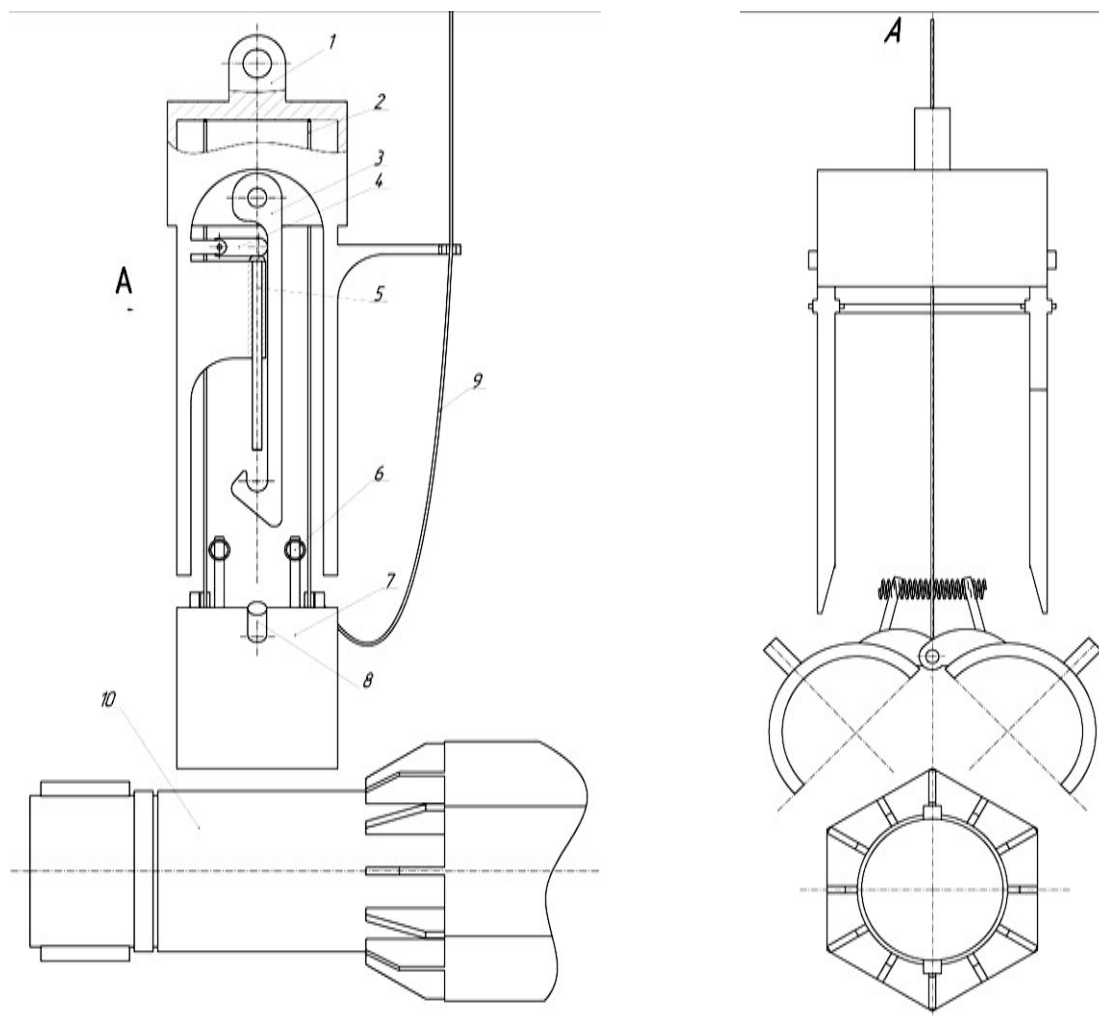


Рис. 1. – Схема захвата в положении наведения на объект: 1 – корпус, 2 – канат подвеса разрезной втулки, 3 – крюк фасонный, 4 – фиксатор, 5 – толкатель, 6 – пружина, 7 – втулка разрезная, 8 – шип, 9 – канат подвеса при подъёме втулки разрезной, 10 – кассета [Schematic of capture in the position of object guidance: 1 - body, 2 - rope suspension of the split sleeve, 3 - hook shaped, 4 - retainer, 5 - pusher, 6 - spring, 7 - shear, 8 - tenon, 9 - rope suspension lifting bush cut, 10 - fuel assembly]

На виде А представлено положение захвата с изображением двух боковин корпуса, которые фиксируют замкнутое положение разрезной втулки, преодолевая слабое сопротивление пружины. В боковинах корпуса расположен крюк фасонный, толкатель и фиксатор.

На рисунке 2 показана схема положения захвата в период подъёма объекта с поворотом относительно противоположной неподвижной точки опоры. В этом

положении канаты 2 подвеса втулки разрезной и канат 9 подвеса для подъёма втулки разрезной находятся в свободном состоянии.

Рисунок 3 представляет схему положения захвата после установки кассеты на твёрдое основание. В этом положении канатом 9 подвеса для подъёма втулка разрезная вытягивается из зоны взаимодействия с боковинами корпуса, преодолевая силу трения втулки о боковины корпуса, создаваемую за счёт пружины 6.

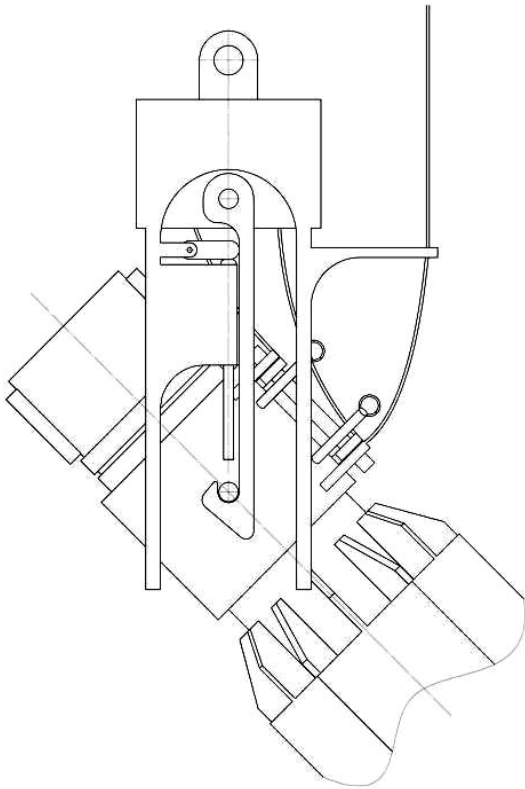


Рис. 2. – Схема положения захвата в период подъёма объекта [Scheme of the grip position during the lifting of the object]

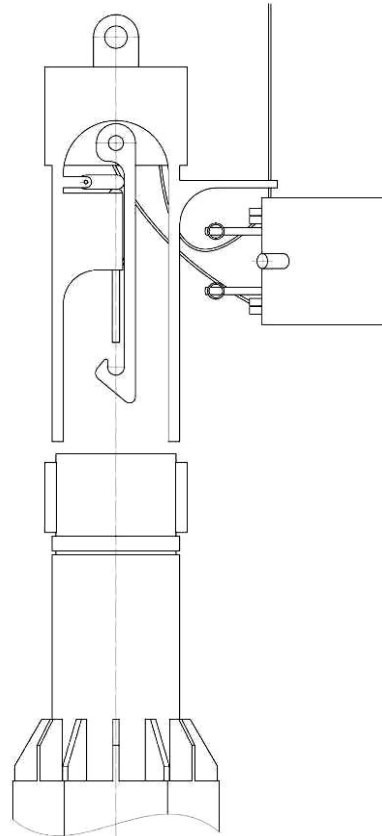


Рис. 3. – Схема положения захвата после установки объекта на твёрдом основании [Scheme of capture position after installation of the object on a solid foundation]

Промежуточные положения не показаны, представленные на вышеуказанных рисунках схемы достаточно информативны для последующего процесса конструирования захвата.

Процесс освобождения захвата от объекта достаточно подробно объясняется в изобретении [22].

На рисунке 4 представлена исходная конструктивная схема эксцентрикового захвата кассеты.

Захват представлен условно подвешенным на канатах: 1 – при наведении на объект; 2 – при зажиме и подъёме объекта; 3 – при освобождении захвата от объекта.

Захват состоит из корпуса 4 с эксцентриком 5. Такая конструктивная схема может быть функционально пригодной в случае, если расстояние L от торца кассеты до препятствия – стенки бассейна выдержки – больше габаритного размера B – ширины захвата.

В этом случае требуется три привода подъёма канатов, что конструктивно выполнить весьма затруднительно. Однако использование эвристических методов проектирования [5] позволяет отказаться от трёх приводов, используя только один с перецеплением за опорные точки.

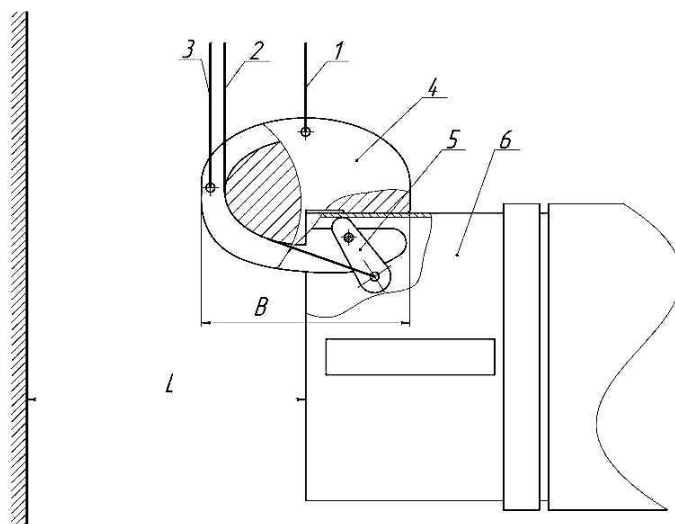


Рис. 4. – Исходная эскизная конструктивная схема эксцентрикового захвата кассеты: 1 – канат подвеса захвата при наведении на объект; 2 – канат зажима и подъема объекта; 3 – канат освобождения захвата от объекта; 4 – корпус захвата; 5 – эксцентрик; 6 – кассета; L – расстояние от торца кассеты до препятствия; B – габаритный размер (ширина) захвата [The initial design sketch of the eccentric grip of the fuel assembly: 1 - rope suspension grip when pointing at the object; 2 - rope clamping and lifting the object; 3 - rope release of capture from the object; 4 - grip housing; 5 - eccentric; 6 - fuel assembly; L is the distance from the end of the fuel assembly to the interfering; B - overall size (width) of the grip]

Представленная схема вполне функционально пригодна: используя нахождение центра масс захвата на вертикальной оси в моменты зацепления и расцепления (условно положения 1 и 3 канатов), процесс зацепления и расцепления становится простым.

Затруднения вызывает случай зажима (защемления) эксцентрика в контакте с кассетой. В этом случае возможно найти простое решение, однако это уже «know-how», находимое с использованием эвристических приёмов [5].

Возможно и другое конструктивное решение с захватом за цилиндрическую часть кассеты разрезными втулками при другой конструктивной схеме.

Настоящей работой авторы представили исходную базу для конструктивных решений при создании АГЗУ с возможно более простыми, а, следовательно, более надёжными параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будов, В.М. и др. Конструирование основного оборудования АЭС: Учеб. пособие для вузов [Текст] / В.М. Будов, В.А. Фарафонов. – М.: Энергоатомиздат 1985. – 264 с.
2. Оберман, Я.И. Строповка грузов [Текст] / Я.И. Оберман: Справ. изд.: Металлургия, 1990. – 336 с.
3. Челпанов, И.Б. и др. Схваты промышленных роботов [Текст] / И.Б. Челпанов, С.Н. Колпашников. – Л.: Машиностроение, 1989. – 287 с.
4. Вайнсон, А.А. и др. Специализированные крановые грузозахваты для штучных грузов [Текст] / А.А. Вайнсон, А.Ф. Андреев. – М.: Машиностроение, 1972. – 200 с.
5. Половинкин, А.И. и др. Основы инженерного творчества [Текст] / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
6. Настасенко, В.О. Морфологический анализ – метод синтеза тысяч изобретений [Текст] / В.О. Настасенко: Монография. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Хресон: Айлант, 2015. – 100 с.
7. Джонс, Дж.К. Методы проектирования [Текст] / Дж.К. Джонс: Пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
8. Кравченко, П.Д. и др. Автоматический захват [Текст] / П.Д. Кравченко, А.М. Семенцев, Л.А. Первушин, С.А. Елецкий. А.с. 1710486 СССР, МКИ В 66 С1/66
9. Кравченко, П.Д. и др. Проектирование нестандартного оборудования. Тяжёлое и атомное

- машиностроение П. Д. Кравченко, А.Н. Дудченко, В.А. Нарыжный, Т.В. Рыбасова, Е.А. Косова: монография. / Под ред. П.Д. Кравченко. – Шахты: ЮРГУЭС 2001. – 279 с.
10. *Кравченко, П.Д. и др.* Автоматизированное грузозахватное устройство. Патент РФ на изобретение № 2268229 Российская Федерация С1 МПК В66С 1/66 [Текст] / П.Д. Кравченко, И.В. Березин, Е.В. Березин, И.А. Шестакова.; Заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – №2004114612; заявл. 13.05.2004; опубл. 20.01.2006, Бюл. №26.
 11. *Кравченко, П.Д. и др.* Сравнение конструктивных схем машин перегрузочных с жёстким и гибким подвесом исполнительного органа. Машиностроение и техносфера XXI века [Текст] / П.Д. Кравченко, И.М. Яблоновский // Сборник трудов XIII международной научно – технической конференции в г. Севастополе 2006 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – Т. 2. – 324 с.
 12. *Кравченко, П.Д. и др.* Машина МПК с канатным подвесом объектов перегрузки в ядерном реакторе типа ВВЭР [Текст] / П.Д. Кравченко, В.С. Магаласов, И.М. Яблоновский // Актуальные проблемы техники и технологии: межвузовский сб. науч. трудов / под ред. А. Г. Сапронова. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. – 70 с.
 13. *Кравченко, П.Д. и др.* Новая конструкция перегрузочной машины атомной станции с ВВЭР – 1000. как результат эвристического инженерного поиска [Текст] / П.Д. Кравченко, И.М. Яблоновский, В.С. Магаласов // Проблемы экономики, науки и образования в сервисе: сб. науч. трудов / Год ред. П.Д. Кравченко. Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007 – 271с.
 14. *Кравченко, П.Д. и др.* Устройство перегрузки топливных элементов в ядерном реакторе перегрузочными машинами с гибким подвесом объектов. Патент РФ на изобретение № 2319236 Российская Федерация С1 МПК G 21 С 19/66 (2006.01) [Текст] / П.Д. Кравченко, И.М. Яблоновский, В.С. Магаласов; Заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – №2006119869/06; Заявл. 06.06.2006; опубл. 10.03.2008, Бюл. №7.
 15. *Кравченко, П.Д. и др.* Подвесное автоматическое устройство поворота крышки гермопенала. Патент РФ на изобретение № 2319234 Российская Федерация С1 МПК G 21 С 19/00 (2006.01) [Текст] / П.Д. Кравченко, И.М. Яблоновский; Заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – №2006112706/06; Заявл. 17.04.2006; Опубл. 10.03.2008, Бюл. №7.
 16. *Кравченко, П.Д. и др.* Подвесное автоматическое устройство поворота и захвата пробки пенала. Патент РФ на изобретение № 2332729 Российская Федерация С1 МПК G 21С 3/00 (2006.01) [Текст] / П.Д. Кравченко, И.М. Яблоновский, В.С. Магаласов; заявитель и патентообладатель Южно-Рос.гос.ун-т экономики и сервиса. – №2007111699/06; Заявл.29.03.2007; Опубл. 27.08.2008. Бюл.№24 – ил.
 17. *Кравченко, П.Д. и др.* Конструкторские решения при проектировании транспортно – технологического оборудования в атомном машиностроении [Текст] / П.Д. Кравченко, И.Ю. Пучкина, И.А. Шестакова: монография / Под ред. П.Д. Кравченко. – Шахты: ЮРГУЭС, 2008. – 186 с.
 18. *Кравченко, П.Д. и др.* Подвесной автоматический захватно-зажимной ловитель. Пат. 2474529 Российская Федерация С2 (51)МПК В66С 1.62 (2006.01) [Текст] / П.Д. Кравченко, И.М. Яблоновский, И.В. Березин, Д.Н. Федоренко; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса – №2011102098/11; Заявл. 20.01.2011.
 19. *Кравченко, П.Д. и др.* Цанговый захват трубы. Пат. 2476370 Российская Федерация С2 (51)МПК В66С 1/54 (2006.01) [Текст] / П.Д. Кравченко, А.И. Берела, И.В. Березин, Д.Н. Федоренко, И.М. Яблоновский; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса – №2011132195/07; Заявл. 29.07.2011.
 20. *Кравченко, П.Д. и др.* Подвесной автоматический захват-ловитель. Пат. 2474528 Российская Федерация С2 (51)МПК В66С 1./42(2006.01) [Текст] / П.Д. Кравченко, И.М. Яблоновский, И.В. Березин, Д.Н. Федоренко; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса – №2011102123/11; Заявл. 20.01.2011.
 21. *Кравченко, П.Д. и др.* Полуавтоматический захват универсального гнезда. Пат. 2481265 Российская Федерация С2 (51)МПК В66С 1/66 (2006.01) [Текст] / П.Д. Кравченко, А.И. Берела, И.В. Березин, Д.Н. Федоренко, И.М. Яблоновский; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса – №2011132196/07; Заявл. 29.07.2011.
 22. *Кравченко, П.Д. и др.* Подвесное автоматическое грузозахватное устройство [Текст] / П.Д. Кравченко, Д.Н. Федоренко, И.В. Березин, И.М. Яблоновский. Патент РФ на изобретение №2455251 Бюл.№19 от 10.07.2012 г.
 23. *Кравченко, П.Д. и др.* Автоматический захват плиты [Текст] / П.Д. Кравченко, Е.А. Зайцев, Д.Н. Федоренко, И.В. Березин, И.М. Яблоновский. Патент РФ на изобретение №2467944 Бюл. №33 от 27.11.2012 г.
 24. Kravchenko P.D., Fedorenko D.N. Heuristic Method of Design of The Load Gripping and

Manipulating Devices For Work In Special Conditions. International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 6(2015), pp. 14537–14542.

25. Кравченко, П.Д. и др. Организация процесса проектирования автоматических грузозахватных устройств для подъема упавших кассет в реакторе типа ВВЭР 1000 [Текст] / П.Д. Кравченко, Д.Н. Федоренко, В.Ю. Рябенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – №2(23). – С. 71–80.

REFERENCES

- [1] Budov V.M., Farafonov V.A. Designing the main equipment of nuclear power plants: Proc. manual for universities. M. Pub. Energoatomizdat, 1985. – 264 p. (in Russian)
- [2] Oberman Ya.I. Stropovka cargo: Reference. izd. Pub. Metallurgy, 1990, 336 p. (in Russian)
- [3] Chelpanov I.B., Kolpashnikov S.N. Grips of industrial robots. Leningrad. Pub. Machine building. 1989, 287 p. (in Russian)
- [4] Vainson A.A., Andreev A.F. Specialized crane load grips for piece cargo. M. Pub. Mechanical Engineering, 1972. 200 p. (in Russian)
- [5] Polovinkin A.I. Fundamentals of engineering creativity. M. Mechanical Engineering, 1988, 368 p. (in Russian)
- [6] Nastasenkov V.O. Morphological analysis – a method of synthesis of thousands of inventions. Ed. 2-nd, revised. and additional. Chreazon. Pub. Ailant, 2015, 100 p. (in Russian)
- [7] Jones J.K. Design Methods: Trans. English. 2-nd ed., Ext. M. Mir [World], 1986, 326 p. (in Russian)
- [8] Kravchenko P.D., Sementsev A.M., Pervushin L.A., Yeletsky S.A. Automatic capture. A.S. 1710486 USSR, MKI V 66 C1 / 66 (in Russian)
- [9] Kravchenko P.D., Dudchenko A.N., Naryzhny V.A., Rysova T.V., Kosova E.A. Design of non-standard equipment. Heavy and atomic engineering. Ed. By P.D. Kravchenko. Shahty, 2001, 279 p. (in Russian)
- [10] Kravchenko P.D., Berezin I.V., Berezin E.V., Shestakova I.A. Automated load-gripping device. Patent of the Russian Federation for invention No. 2268229 Russian Federation C1 IPC V66S 1/66; The applicant and the patent owner of Yuzhno-Ros. state. un-t economy and service. – №2004114612; claimed. 13.05.2004; publ. 20.01.2006, bul. №26 (in Russian)
- [11] Kravchenko P.D., Yablonovsky I.M. Comparison of constructive schemes of loading machines with rigid and flexible suspension of the executive body. Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI Century. Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference in Sevastopol 2006. In 5 volumes. – Donetsk, 2006. Vol. 2, 324 p. (in Russian)
- [12] Kravchenko P.D., Magalyasov V.S., Yablonovsky I.M. Machine with a cable suspension of overload objects in a nuclear reactor of the VVER type. Actual problems of technology and technology: interuniversity coll. sci. works / ed. by A.G. Sapronov. Shahty. Pub. Publishing House of SPSU, 2007, 70 p (in Russian)
- [13] Kravchenko P.D., Yablonovsky I.M., Magalasov V.S. The new design of the reloading machine of the nuclear power plant with WWER-1000. As a result of heuristic engineering search. Problems of Economics, Science and Education in the Service: Sat. sci. works / ed. by P.D. Kravchenko. Shahty. Pub. Publishing House of the SPSU, 2007, 271 p. (in Russian)
- [14] Kravchenko P.D., Yablonovskiy I.M., Magalyasov V.S. The device of fuel cell overload in the nuclear reactor by reloading machines with flexible suspension of objects. Patent of the Russian Federation for invention No. 2319236 Russian Federation C1 IPC G 21 C 19/66 (2006.01). Applicant and patent holder of Yuzhno-Ros. state. un-t economy and service. – №2006119869/06; claimed. 06/06/2006; publ. 10.03.2008, bul. №7 (in Russian)
- [15] Kravchenko P.D., Yablonovsky I.M. Suspended automatic device for rotating the cover of the hermenefoil. Patent of the Russian Federation for Invention No. 2319234 Russian Federation C1 IPC G 21 C 19/00 (2006.01); The applicant and the patent owner of Yuzhno-Ros. state. un-t economy and service. – №2006112706/06; claimed. 17.04.2006; publ. 10.03.2008, bul. №7 (in Russian)
- [16] Kravchenko P.D., Yablonovsky I.M., Magalasov V.S. Suspended automatic device for turning and capturing the cork of a pencil case. The patent of the Russian Federation for the invention №2332729 Russian Federation C1 IPC G 21C 3/00 (2006.01); the applicant and the patent holder of the South-Russian State University of Economics and Service. – №2007111699 / 06; 29.03.2007; publ. 27.08.2008. bul. №24 (in Russian)

- [17] Kravchenko P.D., Puchkina I.Yu., Shestakova I.A. etc. Design solutions for the design of transport and technological equipment in nuclear engineering: Monograph. Ed. by P.D. Kravchenko. Shahty, 2008. – 186 p. (in Russian)
- [18] Kravchenko P.D., Fedorenko D.N., Yablonovsky I.M., Berezin I.V. Suspended automatic catching-clamping device. Pat. 2474529 Russian Federation C2 (51) IPC B66C 1.62 (2006.01); the applicant and the patent owner of Yuzhno-Ros. state. University of Economics and Service №2011102098/11; claimed on 20.01.2011. (in Russian)
- [19] Kravchenko P.D., Berela A.I., Fedorenko D.N., Berezin I.V., Yablonovsky I.M. Collet grip tube. Pat. 2476370 Russian Federation C2 (51) IPC B66C 1/54 (2006.01); the applicant and the patent owner of Yuzhno-Ros. state. University of Economics and Service №2201132195/07; Application 29.07.2011. (in Russian)
- [20] Kravchenko P.D., Fedorenko D.N., Berezin I.V., Yablonovsky I.M. Suspended automatic catch-catcher. Pat. 2474528 Russian Federation C2 (51) IPC B66C 1/42(2006.01); the applicant and the patent owner of Yuzhno-Ros. state. University of Economics and Service No. 2011102123/11; claimed on 01.20.2011. (in Russian)
- [21] Kravchenko P.D., Berela A.I., Fedorenko D.N., Berezin I.V., Yablonovsky I.M. Semi-automatic gripping of the universal socket. Pat. 2481265 Russian Federation C2 (51) IPC B66C 1/66 (2006.01); the applicant and the patent owner of Yuzhno-Ros. state. University of Economics and Service №2011132196/07; Application 29.07.2011. (in Russian)
- [22] Kravchenko P.D., Fedorenko D.N., Berezin I.V., Yablonovsky I.M. Suspended automatic lifting device. Patent of the Russian Federation for invention No. 2455251 Bul. №19 10.07.2012. (in Russian)
- [23] Kravchenko P.D., Zaitsev E.A., Fedorenko D.N., Berezin I.V., Yablonovsky I.M. Automatic grip plate. Patent of the Russian Federation for invention № 2467944 Bul. №33 27.11.2012. (in Russian)
- [24] Kravchenko P.D., Fedorenko D.N. Heuristic Method of Design of The Load Gripping and Manipulating Devices For Work In Special Conditions. International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 6(2015), pp. 14537–14542. (in English)
- [25] Kravchenko P.D., Fedorenko D.N., Ryabenko V.Yu. Organization of the process of designing automatic load-gripping devices for lifting fallen cassettes in a WWER-1000 reactor. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety], 2017, №2(23), pp. 71–80. (in Russian)

Variants of Constructive Schemes of Grippers for Lifting Dropped Horizontally Located Fuel Assemblies in the WWER Type Reactor

P.D. Kravchenko*, D.N. Fedorenko**

** Volgodonsk Engineering-Technical Institute – Branch of NRNU «MEPhI»,
Lenina street, 73/94, Volgodonsk, Russia 347360
e-mail: MPMkaf@mephi.ru*

*** “Atomspetsservis” Ltd.
Vosmaya Zavodskaya St., 23, Volgodonsk, Russia 347469
e-mail: info@acc.bz*

Abstract – The paper proposes sketch constructive schemes of grippers for lifting dropped fuel assemblies located horizontally in the WWER type reactor. The variants of automation schemes for the process of capturing fuel assemblies are considered. A base has been created for the improvement of automatic load gripping devices for lifting dropped fuel assemblies.

Keywords: Automatic load gripping device, lifting, seizure, dropped fuel assemblies, nuclear reactor, NPP.

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

УДК 159.9:62

**СНИЖЕНИЕ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЕ
ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФ ТЕХНОГЕННОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗА СЧЕТ МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ
ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА НАДЕЖНОСТЬ И
БЕЗАВАРИЙНОСТЬ РАБОТЫ АЭС
И ДРУГИХ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ [1]**

© 2018 М.В. Алюшин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Представлены результаты анализа основных аспектов влияния человеческого фактора (ЧФ) на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов. Показана необходимость учета влияния этого фактора при обеспечении надежности охранных и транспортных систем опасных объектов, надежности оперативного, управляющего и аварийно-спасательного персонала. В качестве инструмента управления ЧФ предлагается использовать дистанционные технологии мониторинга текущего функционального и психоэмоционального состояния человека.

Ключевые слова: человеческий фактор, техногенные аварии, надежность работы АЭС.

Поступила в редакцию: 20.02.2018

Обеспечение надежного безаварийного функционирования АЭС и других опасных объектов в условиях все возрастающих террористических угроз следует отнести к наиболее приоритетным в настоящее время задачам. Анализ причин возникновения крупномасштабных техногенных аварий последних лет показывает, что одной из них является так называемый человеческий фактор (ЧФ), который во многом определяет как вероятность возникновения аварий, так и тяжесть их протекания. Минимизация влияния ЧФ на надежность и безаварийность работы опасных объектов является комплексной многоплановой проблемой, затрагивающей практически все сферы деятельности таких объектов.

Целью исследования является анализ основных аспектов влияния ЧФ на обеспечение надежной безаварийной работы АЭС и других опасных объектов, а также рассмотрение путей минимизации этого влияния.

На рисунке 1 показаны возможные аспекты влияния ЧФ на надежность и безаварийность работы опасных объектов.

Анализируя различные аспекты влияния ЧФ на надежность и безопасность работы АЭС и других опасных объектов, необходимо, прежде всего, учитывать основные возможные режимы функционирования таких объектов, к которым следует отнести: нормальный штатный; нештатный, аварийный; послеаварийный. Применительно к выделенным режимам следует рассматривать следующие аспекты влияния ЧФ:

- своевременное предотвращение аварий и катастроф техногенного происхождения;
- управление опасным объектом в случае возникновения нештатных режимов функционирования, аварий и катастроф;
- ликвидация последствий аварий и катастроф техногенного происхождения.

Решение актуальной и приоритетной задачи предотвращения аварий и катастроф предполагает разработку и реализацию комплекса высокоэффективных мер по обеспечению надежной работы:

- транспортных систем при перевозке опасных грузов;
- систем охраны территории и периметра опасных объектов;
- оперативного и управляющего персонала опасного объекта;
- системы документооборота опасного объекта.

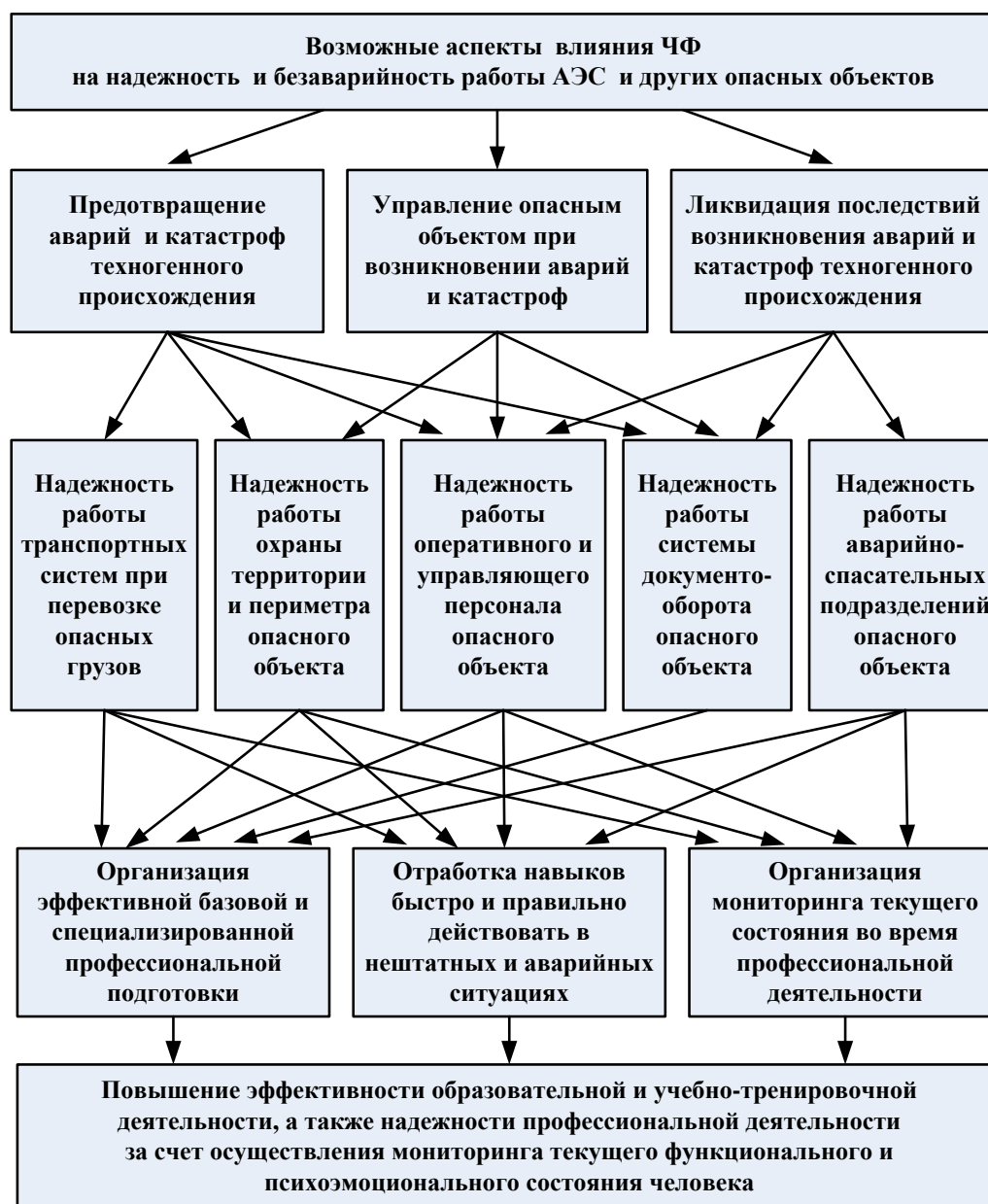


Рис. 1. – Многоплановость влияния ЧФ на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов [Multidimensionality of human factor influence on reliability and trouble-free operation of NPP and other hazardous objects]

Использование современных достижений в области технологий дистанционного мониторинга текущего функционального и психоэмоционального состояния человека позволяет на новом технологическом уровне подойти к созданию методических и технических средств управления надежностью ЧФ [2, 3]. Технической основой для осуществления дистанционного мониторинга в настоящее время являются акустические и оптические (видимого и глубокого инфракрасного диапазонов излучения) технологии. Данные технологии дают возможность в полностью пассивном режиме без какого-либо воздействия на человека осуществить регистрацию его, так называемых, биопараметров. Данные биопараметры характеризуют текущее состояние нервной системы человека, его системы дыхания, а также его сердечно-сосудистой системы. Их анализ позволяет с высокой степенью достоверности выявлять состояния стресса, утомления, сильного нервного напряжения, слабости, расслабленности, а также состояния дремоты и сна.

Вся совокупность регистрируемых биопараметров человека может быть подразделена на два класса. Первый класс содержит статические биопараметры, которые достаточно слабо изменяются в зависимости от времени и условий профессиональной деятельности. Данный класс биопараметров используется преимущественно для решения задачи идентификации личности работника. Решение данной задачи актуально как с точки зрения обеспечения безопасности функционирования опасных объектов, так и с точки зрения обеспечения надежного трекинга операторов управления опасным объектом при их активном перемещении в зале управления.

Типичными представителями данного класса являются, например, размеры и пропорции лица человека. На рис. 2 перечислены основные представители первого класса биопараметров, которые могут быть определены при использовании вышеперечисленных дистанционных неконтактных технологий.

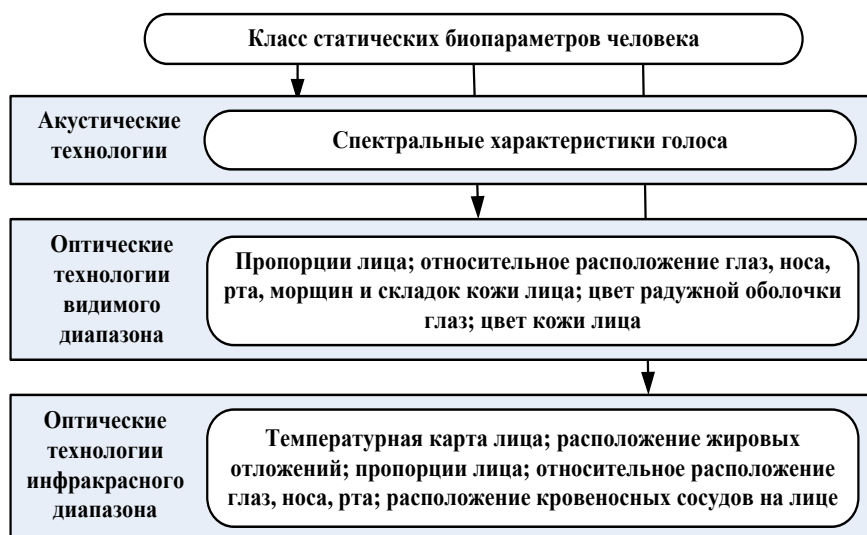


Рис. 2. – Основные представители первого класса биопараметров
[The main components of the first class bioparameters]

Второй класс содержит динамические биопараметры, которые подвержены существенным изменениям в процессе профессиональной деятельности. С этой точки зрения они являются наиболее информативными и позволяют оценить текущее функциональное и психоэмоциональное состояние человека. Типичными представителями второго класса являются частота сердечных сокращений (ЧСС) и

артериальное давление (АД), величина которых может изменяться в широком диапазоне в зависимости от текущего состояния человека. На рис. 3 показаны типичные представители второго класса биопараметров (ФПГ – фотоплетизмограмма; КГР – кожно-гальваническая реакция; ВСП – вариабельность сердечного ритма).

Регистрация и обработка параметров второго класса представляет наибольший интерес. Так, кратковременный анализ динамики изменения данных параметров дает возможность определить уровень усталости, нервного напряжения, а также оценить вероятность совершения ошибочных действий в течение рабочей смены. Достаточно информативен с этой точки зрения такой параметр, как ВСП [4, 5]. Данный параметр дает возможность осуществить мониторинг текущего состояния, как во время профессиональной деятельности, так и во время учебного процесса [6, 7]. Выявление сотрудников в ненормальном, неадекватном состоянии позволяет своевременно принимать необходимые меры по исправлению такой ситуации.

Анализ данных параметров на более продолжительных временных интервалах позволяет выявлять случаи хронической усталости, утомления, нервного истощения. Принятие своевременных лечебных и восстановительных мер, либо решения о смене места и характера работы позволяет эффективно решать проблему сохранения человеческого капитала.

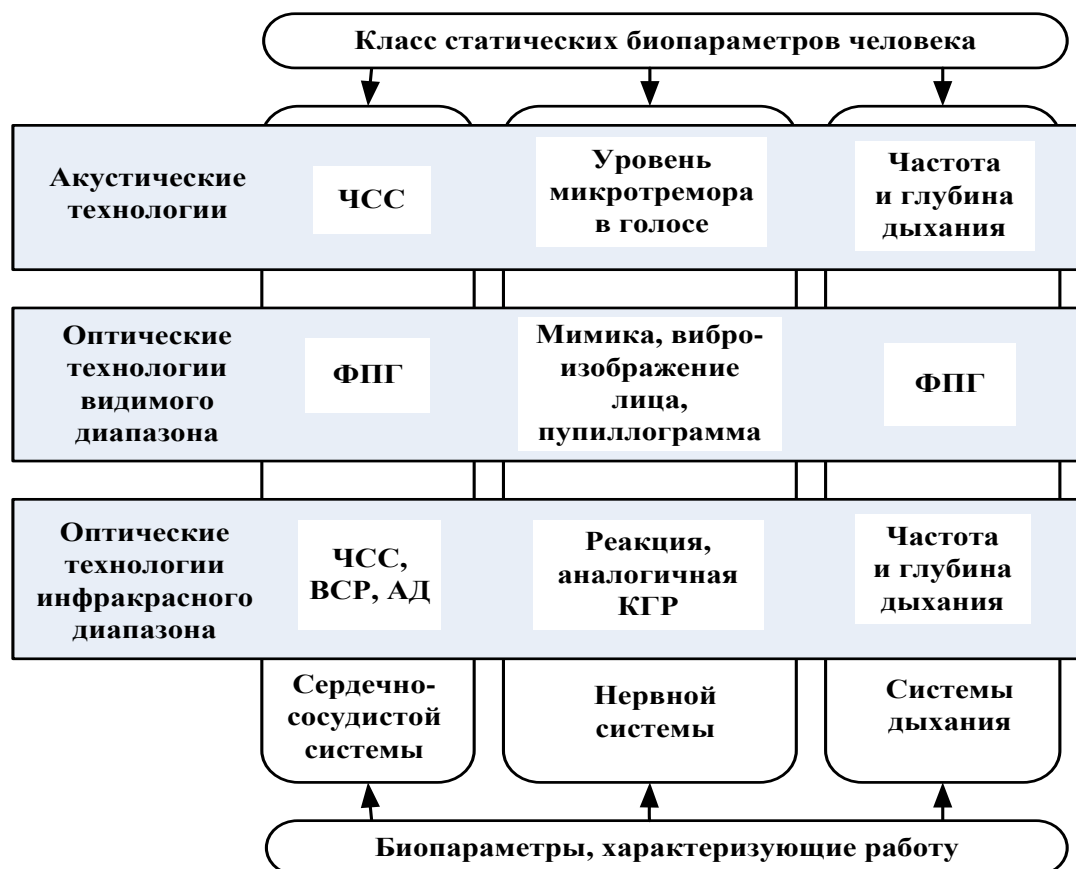


Рис. 3. – Основные представители второго класса биопараметров
[The main components of the second class bioparameters]

Повышение надежности оперативного и управляющего персонала возможно при комплексном применении указанных технологий практически на всех этапах работы с кадрами. В первую очередь, при решении задач:

- обоснованного отбора кадров при приеме на работу, либо при назначении на

новую должность [2, 3];

- повышения стрессоустойчивости оперативного и управляющего персонала за счет обучения навыкам саморегуляции и самоконтроля на основе реализации занятий с так называемой биологической обратной связью [8];

- повышения эффективности учебных и учебно-тренировочных занятий за счет проведения тренировок с планируемой психоэмоциональной нагрузкой [8];

- постоянного автоматизированного мониторинга текущего функционального и психоэмоционального состояния персонала непосредственно в процессе выполнения им своих производственных, либо служебных обязанностей [2];

- разработки методических и нормативных документов, регламентирующих методику применения технологий дистанционного мониторинга, включая обработку и интерпретацию результатов при проведении учебных и учебно-тренировочных занятий, а также при оценке адекватности персонала в сложных стрессовых ситуациях.

Технологии дистанционного мониторинга [2, 3] позволяют повысить надежность работы транспортных систем, обеспечивающих перевозку опасных грузов, в первую очередь, за счет непрерывного контроля текущего состояния бригады машинистов скоростного поезда, либо экипажа пилотов самолета, либо смены диспетчеров управления полетами. При этом, кроме мониторинга за текущим функциональным и психоэмоциональным состоянием соответственно машинистов, летчиков и диспетчеров УВД такие технологии дают возможность осуществлять контроль за рядом специфических для данных областей транспорта параметров, допустимые диапазоны изменения которых регламентируются соответствующими отраслевыми стандартами, например, таких, как скорость реакции и допустимое число ошибок.

Повышение эффективности систем охраны опасных объектов также возможно при применении таких технологий мониторинга. В частности, их использование в системах идентификации и допуска на опасные объекты позволяет своевременно выявлять лиц в неадекватном состоянии, лиц в наркотическом, либо алкогольном опьянении, лиц с чужими, либо со сфальсифицированными документами.

В связи с ростом в последнее время информационных угроз приобретает актуальность решение проблемы обеспечения высокой надежности используемой на опасном объекте системы документооборота. Применение вышеупомянутых технологий мониторинга [9] позволяет повысить степень защищенности важных документов при использовании так называемой речевой подписи, содержащей в своем составе ряд трудно подделываемых биопараметров автора.

Повышение надежности управления опасным объектом в случае возникновения аварийных ситуаций, а также в случае ликвидации последствий аварий и катастроф также возможно при внедрении технологий дистанционного мониторинга. В последнем случае такие технологии позволяют гарантировать адекватное поведение членов ремонтно-спасательных бригад, а также осуществлять мониторинг состояния населения в зоне бедствия.

С точки зрения технической реализации средства мониторинга могут быть подразделены на встраиваемые и носимые. В последнем случае для передачи регистрируемых биопараметров может быть использован радиоканал. В таблице 1 даны оценки возможности и целесообразности применения встраиваемых и носимых технических средств для решения задач мониторинга текущего состояния персонала при различных видах его деятельности (рис. 1). Оценки представлены в процентах: 0% соответствует невозможности, либо нецелесообразности применения данного типа технических средств мониторинга; 100% соответствуют безусловной возможности, либо целесообразности применения таких средств.

Таблица 1. – Возможность/целесообразность применения средств мониторинга
[Possibility / feasibility of using monitoring tools]

Вид деятельности персонала	Тип технических средств мониторинга, %	
	встраиваемые	носимые
Базовая и специализированная подготовка	100/100	100/100
Отработка действий в нештатных и аварийных ситуациях	100/100	50/50
Профессиональная деятельность	100/100	0/0

Приведенные данные показывают, что наиболее предпочтительно использование встраиваемых средств мониторинга. Такие средства не создают неудобств обучающемуся, либо работающему персоналу. Носимые средства мониторинга целесообразнее всего использовать при проведении учебных, либо учебно-тренировочных занятий в классе, например, при работе на персональном компьютере.

К типичным представителям встраиваемых средств мониторинга следует отнести:

- биомышку [10], позволяющую измерять ЧСС и ВСР во время работы на персональном компьютере;
- многофункциональное диагностическое кресло, дающее возможность регистрировать основные биопараметры, характеризующие работу сердечно-сосудистой системы человека, его нервной системы, а также системы дыхания;
- модульные средства мониторинга, встраиваемые в используемое оборудование управления объектов.

Типичными представителями носимых средств мониторинга являются кольца, браслеты, кулоны и броши, которые размещаются непосредственно на человеке и позволяют зарегистрировать его различные биопараметры, например, такие, как ФПГ, КГР, ЧСС. Основным недостатком таких средств является неудобство их использования при ношении спецодежды.

Таким образом, современные информационные технологии мониторинга текущего состояния оперативного и управляющего персонала опасных объектов, а также членов ремонтно-спасательных бригад следует рассматривать в качестве инструмента управления ЧФ практически во всех аспектах его влияния на риски возникновения и тяжесть последствий катастроф техногенного происхождения. Необходимо отметить, что применяемые в настоящее время и разрабатываемые перспективные образцы технических средств мониторинга являются в своей массе сугубо цифровыми, начиная от цифровых сенсоров и заканчивая цифровыми каналами передачи данных и компьютерных алгоритмов обработки получаемых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) №16-18-00069 «Снижение риска возникновения и уменьшение последствий катастроф техногенного происхождения за счет минимизации влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов».
2. *Алюшин, М.В., Колобашкина, Л.В.* Мониторинг биопараметров человека на основе дистанционных технологий [Текст] / М.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина // Вопросы психологии. – 2014. – № 6. – С. 135–144.
3. *Алюшин, М.В. и др.* Дистанционные и неконтактные технологии регистрации биопараметров оперативного персонала как средство управления человеческим фактором и повышения безопасности АЭС [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, Л.О. Андриюшина, Л.В. Колобашкина, В.В. Пшенин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 3(8). – С. 69–77.

4. Бокерия, Л.А. и др. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование [Текст] / Л.А. Бокерия, О.Л. Бокерия, И.В. Волковская // *Анналы аритмологии*. – 2009. – № 4. – С. 21–32.
5. Heart rate variability, standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task force of the European Society of Cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology. *Eur. Heart J.*, 1996, Vol. 17, pp. 354–381.
6. Деваев, Н.П. Влияние экзаменационного стресса на регуляцию сердечного ритма и биоэлектрическую активность головного мозга у студенток [Текст] / Н.П. Деваев // *Физиология. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. – 2010. – № 2 (2). – С. 622–626.
7. Сафонова, В.Р., Шаламова, Е.Ю. Параметры вариабельности сердечного ритма студенток северного медицинского вуза при экзаменационном стрессе [Текст] / В.Р. Сафонова, Е.Ю. Шаламова // *Экология человека*. – 2013. – № 8. – С. 11–16.
8. Алюшин, М.В. и др. Психологический тренинг стрессоустойчивости на основе дистанционных неконтактных технологий регистрации биопараметров [Текст] / М.В. Алюшин, В.Н. Абрамова, Л.В. Колобашкина // *Вопросы психологии*. – 2014. – № 6. – С. 144–152.
9. Eshwarappa M.N., Latte M.V. Multimodal biometric person authentication using speech, signature and handwriting features. (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Special Issue on Artificial Intelligence, 2008, pp. 77–86.
10. Тизенберг, А.Г., Тизенберг, Г.М. Новые подходы к профессиональной диагностике в целях оптимизации профессионального отбора и профессиональной ориентации [Текст] / А.Г. Тизенберг, Г.М. Тизенберг // *Известия ИГЭА*. – 2013. – № 4(90). – С. 76–79.

REFERENCES

- [1] Issledovanie vypolneno pri podderzhke granta Rossijskogo nauchnogo fonda (RNF) №16-18-00069 «Snizhenie riska vozniknovenija i umen'shenie posledstvij katastrof tekhnogennoho proiskhozhdenija za schet minimizacii vlijanija chelovecheskogo faktora na nadezhnost i bezavarijnost raboty AEhS i drugikh opasnykh objektov» [The research was carried out with the support of the grant of the Russian Science Foundation (RPF) No. 16-18-00069 "Reducing the risk of occurrence and reducing the consequences of man-made disasters by minimizing the human factor influence on the reliability and trouble-free operation of nuclear power plants and other hazardous facilities."]. (in Russian)
- [2] Aliushin M.V., Kolobashkina L.V. Monitoring bioparametrov cheloveka na osnove distantcionnykh tekhnologii [Monitoring of Human Bioparameters Based on Remote Technologies]. *Voprosy psikhologii [Psychology Issues]*, 2014, №6, ISSN 0042-8841, pp. 135–144. (in Russian)
- [3] Aliushin M.V., Aliushin A.V., Andriushina L.O., Kolobashkina L.V., Pshenin V.V. Distantcionnye i nekontaktnye tekhnologii registracii bioparametrov operativnogo personala kak sredstvo upravlenija chelovecheskim faktorom i povyshenija bezopasnosti AES [Monitoring of Bioparameters on the Basis of Distant Technologies]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety]*, 2013, №3(8), eISSN 2499-9733, ISSN 2305-414X, pp. 69–77. (in Russian)
- [4] Bokerija L.A., Bokerija O.L., Volkovskaja I.V. Variabelnost serdechnogo ritma: metody izmerenija, interpretacija, klinicheskoe ispolzovanie [Heart Rate Variability: Measurement Methods, Interpretation, Clinical Use]. *Annaly aritmologii [Annals of Arrhythmology]*, 2009, № 4, pp. 21–32. (in Russian)
- [5] Heart rate variability, standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task force of the European Society of Cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology. *Eur. Heart J.*, 1996, Vol. 17, pp. 354–381. (in English)
- [6] Devaev N.P. Vlijanie ehkzamenacionnogo stressa na reguljaciju serdechnogo ritma i bioehlektricheskiju aktivnost' golovnog mozga u studentok [The influence of Exam Stress on Heart Rhythm Regulation and Bioelectrical Activity of Female Students' Brain]. *Fiziologija. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo [Physiology. Bulletin of the Nizhny Novgorod Lobachevsky University.]*, 2010, №2(2), pp. 622–626. (in Russian)
- [7] Safonova V.R., Shalamova E.Ju. Parametry variabelnosti serdechnogo ritma studentok severnogo medicinskogo vuza pri ehkzamenacionnom stresse [Parameters of Heart Rate Variability of Students of the Northern Medical University in Examination Stress]. *Ehkologija cheloveka [Human Ecology]*, 2013, №8, pp. 11–16. (in Russian)
- [8] Aliushin M.V., Abramova V.N., Kolobashkina L.V. Psikhologicheskii trening stressoustoichivosti na osnove distantcionnykh nekontaktnykh tekhnologii registracii bioparametrov [Psychological Training of Stress Resistance on the Basis of Remote Non-Contact Recording Person Bioparameter

- Technologies]. Voprosy psikhologii [Psychology Issues], 2014, №6, ISSN 0042-8841, pp. 144–152. (in Russian)
- [9] Eshwarappa M.N., Latte M.V. Multimodal biometric person authentication using speech, signature and handwriting features. (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Special Issue on Artificial Intelligence, 2008, pp. 77–86. (in English)
- [10] Tizenberg A.G., Tizenberg G.M. Novye podkhody k professional'noj diagnostike v celjakh optimizacii professional'nogo otbora i professional'noj orientacii [New Approaches to Professional Diagnosis to Optimize Professional Selection And Professional Orientation]. Izvestija IGEhA [ISEA News], 2013, №4(90), pp. 76–79. (in Russian)

Reducing Risk of Occurrence and Consequences of Technogenic Catastrophes by Minimizing Human Factor Impact on Reliability and Trouble-Free Operation of Nuclear Power Plants and Other Dangerous Objects

M.V. Alyushin

*National Research Nuclear University «MEPhI»,
Kashirskoye Shosse, 31, Moscow, Russia 115409
e-mail: MVAlyushin@mephi.ru
ORCID: 0000-0001-7806-3739
WoS Researcher ID: R-7928-2016*

Abstract – The paper presents the results of the main aspects analysis of the human factor influence on the reliability and trouble-free operation of nuclear power plants and other hazardous objects. The need to take into account the influence of this factor while ensuring the reliability of security and transport systems of hazardous facilities, the reliability of operational, control and rescue personnel is shown. Using remote technologies for the current functional and psycho-emotional state of a person monitoring is proposed as a tool of human factor managing.

Keywords: human factor, technogenic accidents, NPP reliability.

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

УДК 621.039.58: 378.1

**ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОДГОТОВКИ LEAN-СПЕЦИАЛИСТОВ
НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВУЗА И
ПРЕДПРИЯТИЙ ГК «РОСАТОМ»**

© 2018 В.А. Руденко, М.В. Головки, И.А. Ухалина, С.П. Агапова,
А.В. Анцибор, Н.А. Ефименко

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

В данной статье авторами обобщен серьезный опыт взаимодействия вуза и промышленных партнеров. Представлены результаты подготовки lean-специалистов в соответствии с требованиями предприятий-работодателей. Рассматриваются формы продвижения идеологии «бережливого производства», формирования «бережливого» мировоззрения у студентов и специалистов предприятий через теоретическую и практико-ориентированную подготовку. Обосновывается значение использования релевантной материально-технической базы и непосредственного участия специалистов промышленных предприятий. Определяются перспективы дальнейшего сотрудничества вуза и предприятий в направлении согласования интересов развития.

Ключевые слова: подготовка кадров, lean-инструменты, бережливое производство, ГК «Росатом», практико-ориентированная подготовка, программы обучения.

Поступила в редакцию: 08.02.2018

Триумвират «власть – образование – бизнес» есть именно та сила, которая способна в корне изменить ситуацию, существующую на рынке труда, когда зачастую предложение по кадровым ресурсам не соответствует спросу. Современный реальный сектор экономики испытывает острую потребность в квалифицированных рабочих. В меньшей степени востребованы сегодня специалисты высшего звена. Для того, чтобы избежать перекосов и сбалансировать ситуацию на рынке труда, реализуется ряд мероприятий федерального, регионального, местного и корпоративного уровней. В основе решения этой задачи лежит подготовка образовательными организациями таких специалистов, набор профессиональных компетенций которых и уровень владения ими соответствовал бы требованиям, предъявляемым работодателем. Эффективное взаимодействие вузов и промышленных партнеров также благоприятно влияет на инновационную активность всех экономических субъектов региона [1–3].

В этом случае особая роль принадлежит образовательным организациям, ориентированным на решение задачи подготовки кадров преимущественно для конкретной отрасли промышленности – так называемым отраслевым вузам. Направления подготовки, профили специализации в этом случае выбираются согласно требованиям работодателей, учебные планы корректируются с учетом перспективных требований промышленных партнеров, практико-ориентированная подготовка осуществляется не только с помощью релевантной материально-технической базы, но и

с непосредственным участием специалистов – сотрудников данных предприятий. Образовательные организации, модернизируя свою организационную структуру для обеспечения конкурентоспособности (например, участники «Проекта 5-100», еще больше адаптируются к потребностям предприятий и отвечают вызовам реального сектора экономики [4, 5].

В Волгодонском инженерно-техническом институте НИЯУ МИФИ осуществляется многогранная работа по решению этой задачи. Институт всегда гибко реагировал на реорганизацию промышленных предприятий г. Волгодонска. Своевременно отражая изменения спроса на рынке труда, вуз лицензировал новые специальности («Сварочное производство» – сварщики для завода атомного машиностроения «Атоммаш» (далее – «Атоммаш»), «Техносферная безопасность» – экологи для Ростовской АЭС (далее – РоАЭС), «Микроэлектроника» – для Волгодонского радиозавода, «Экономика и управление производством» – экономисты для всех предприятий региона).

В переходный период российской экономики деятельность ряда градообразующих предприятий была приостановлена, «Атоммаш» перешел на производство оборудования для нефтегазохимии, прекратилось строительство РоАЭС, как следствие, сокращались штаты и объемы финансирования. Это приводило к отказу в трудоустройстве выпускников вуза. Возобновление в начале 2000 г. строительства РоАЭС и деятельности «Атоммаша» в 2012 г. вызвало необходимость открытия специальностей и направлений подготовки «Машиностроение», «Строительство уникальных зданий и сооружений», «Атомные электростанции», «Производственный менеджмент».

Сегодня перед предприятиями стоит задача повышения экономической эффективности в условиях перехода от состояния «рынка продавца» к «рынку покупателя». В этих условиях становится невозможным повышать свою эффективность только за счет наращивания объемов производства. Конкурентоспособность предприятий на рынке достигается в значительной степени за счет проведения оптимизационных мероприятий, ориентированных (на) сокращения потерь во всех функциональных плоскостях, на всех этапах производственного процесса, на всех иерархических уровнях. Этот подход лег в основу «бережливых» (LEAN) технологий, получивших сегодня широкое распространение и отражение в Атласе новых профессий, содержащих надпрофессиональные навыки в сфере бережливого производства [6].

С концепцией LEAN, или Бережливым производством (далее – БП), мировое производственное сообщество впервые познакомилось более шестидесяти лет назад. За прошедший период с переменным успехом внедрялась тысячами предприятий разных стран. Накопление нового опыта при развитии производственных систем привело к некоторым изменениям концепции. Однако за время своего существования бережливого производства прошла неоднократную проверку на «прочность» и подтвердила положительное влияние на эффективность множества компаний – от корпорации Toyota, которая внесла основной вклад в формирование и развитие концепции, до предприятий и организаций непромышленной сферы.

Несмотря на многообразие и популярность LEAN-инструментов, которые по своему усмотрению выбирают предприятия, практика показывает, что количество «успешных внедрений» БП значительно уступает тем, которые не прижились совсем или не смогли быть доведены до конца. Основной причиной этому исследователи считают отсутствие системности при подготовке и внедрении программы БП. Руководителями предприятий или ответственными за продвижение LEAN-программ, зачастую выбирались те отдельные направления или инструменты, которые решали бы

только самые остроактуальные проблемы. При этом не всегда проводилась необходимая подготовительная работа, а программа внедрения не носила системного характера.

Проблемы внедрения БП – предмет изучения ряда авторов. Свои алгоритмы внедрения LEAN разработали Джеймс Вумек, Лонни Уилсон, Карл Райт, Энн Дейтерич [7]. При всех вариациях в подходах к внедрению, вышеназванные авторы отмечают необходимость обучения персонала. К примеру, вторым шагом в алгоритме внедрения LEAN по Джеймсу Вумеку является организация обучения персонала основам и философии БП. На этом этапе команде по внедрению необходимо пройти базовое обучение основам БП и ключевым инструментам, а затем обучить весь персонал.

Именно поэтому проблему обучения LEAN-философии эффективнее всего можно решить с помощью организации учебных информационных центров на самих предприятиях, особенно если этот процесс затрагивает уже сложившийся профессиональный коллектив, а также с привлечением образовательных организаций, осуществляющих подготовку по программам высшего и среднего профессионального образования. Учебные заведения имеют возможность встраивать новые курсы в учебный процесс, в соответствии с требованиями рынка труда к подготовке молодых специалистов и высококвалифицированных рабочих на принципах БП.

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» (далее – ГК «Росатом») на протяжении нескольких лет активно проводит работу, направленную на оптимизацию затрат своих производственных предприятий, путем внедрения Производственной системы Росатома (далее - ПСР), в основе которой лежит культура БП. Поскольку в Паспорте инновационного развития ГК «Росатом» Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» и его филиалы определены в качестве стратегических партнеров в сфере подготовки кадров, при разработке программы подготовки LEAN-специалистов предприятия ГК «Росатом» выстраивают с ними взаимодействие, ориентированное на формирование требуемых компетенций у будущих специалистов. Это приводит к укреплению сильных сторон предприятия, способных воздействовать и на преодоление внешних угроз, и на освоение возможностей современного рынка (национального и зарубежного), как демонстрируют результаты проведенного авторами в [8] SWOT-анализа (Таблица 1).

Таблица 1. – Матрица SWOT-анализа для ГК «Росатом» [Matrix of the SWOT-analysis for “Rosatom” SC]

	<u>Факторы внутренней среды</u>		
	<i>Сильные стороны</i>	<i>Слабые стороны</i>	
	<i>Способствующие факторы</i>	<i>Препятствующие факторы</i>	
	– Консолидированная структура отрасли в рамках ГК «Росатом» – Устойчивость предприятий – Сильная господдержка отрасли – Высокий уровень инновационных разработок (фундаментальных и прикладных) – Стратегические программы развития – Высококвалифицированные кадры – Высокий уровень обеспечения энергетической безопасности	– Моральный и физический износ некоторых позиций основных фондов – Диспропорции в структуре энергопотребления и транспортировки электроэнергии по регионам России – Снижение платежеспособности населения, рост дебиторской задолженности – Конъюнктурные колебания на мировом рынке атомно-энергетических ресурсов (особенно после аварии на Фукусима-1) – Недостаточная рентабельность ряда бизнес-единиц в ГК «Росатом»	

<i>Факторы внешней среды</i>	
<i>Возможности</i>	<i>Угрозы</i>
– Модернизация и техническое перевооружение предприятий сектора на основе инноваций – Диверсификация ряда направлений деятельности сектора в смежные виды бизнеса – Расширение интеграции в глобальную энергетику – Формирование международной научно-технической кооперации в сфере производства оборудования и строительства объектов атомной энергетики (например, на основе многоцелевого исследовательского реактора на быстрых нейтронах) – Либерализация условий энергетической деятельности с расширением возможности проведения операций на внешнем и внутреннем энергетических и финансовых рынках	– Развитие кризисных явлений, блокирующих платежеспособный спрос на электроэнергию как на внутреннем, так и на внешнем рынке – Истощение наработанных научно-исследовательских наработок для развития отрасли – Появление альтернативных источников электроэнергии – Кризисные явления в мировой экономике, сокращение финансовых возможностей – Дискриминационные меры со стороны стран-партнеров в отношении бизнес-единиц атомной отрасли

Обособленные структурные подразделения НИЯУ МИФИ ориентированы на решение кадровой потребности отрасли на отдельных территориях размещения предприятий дивизионов и способствуют решению оперативных технических, экономических и управленческих задач. Например, Волгодонский филиал (далее – ВИТИ НИЯУ МИФИ), занимаясь подготовкой специалистов и бакалавров для АО «Концерн Росэнергоатом», АО «АЭМ-технологии «Атоммаш» и атомной отрасли в целом, накопил определенный опыт освоения методики БП. Подготовка LEAN-специалистов не ограничилась формированием заявленных компетенций у студентов вуза, будущих работников ГК «Росатом», но и распространилась на совместную разработку и реализацию программ обучения «бережливой культуре» сотрудников предприятий. Участие ВИТИ НИЯУ МИФИ в продвижении идеологии БП, формировании «бережливого» мировоззрения у студентов и специалистов предприятий реализуется в двух формах: теоретической и практико-ориентированной, конкретные мероприятия по которым представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Формы участия ВИТИ НИЯУ МИФИ в подготовке кадров для ГК «Росатом» и промышленного кластера [Forms of VETI NRNU MPhI participation in personnel training for “Rosatom” SC and industrial cluster]

<i>Теоретические</i>	<i>Практико-ориентированные</i>
1	2
Лицензирование направлений подготовки рабочих кадров, входящих в ТОП-50	Стажировки преподавателей ВУЗа на предприятиях
Включение в рабочие программы разделов по «Бережливому производству»	Организация практики для студентов на предприятиях (оборудование, моделирование ситуаций, работа с документацией)

Продолжение таблицы 2

1	2
Разработка учебно-методических материалов (УМК) для Центра профессиональных компетенций на основе отечественного и зарубежного опыта (Германия, Финляндия)	Привлечение студентов к участию в тренингах по бережливому производству на предприятиях ГК «Росатом», проводимые сертифицированными тренерами предприятий, представителями Корпоративной Академии Росатома и др.
Разработка УМК по разделам программы подготовки линейных руководителей «Школа производственного мастера» Разработка УМК по программе повышения квалификации «Эффективное управление предприятием энергетического машиностроения»	Реализация программ обучения Бережливому производству и повышения квалификации для линейных руководителей «Школа производственного мастера» и руководителей среднего и высшего звена «Эффективное управление предприятием энергетического машиностроения» преподавателями вуза совместно с сертифицированными тренерами по ПСР на базе Учебного Центра филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск
Популяризация «бережливого мышления» среди научного сообщества посредством: - представления результатов исследований на МНПК «Безопасность ядерной энергетики»; - публикации результатов исследований в научно-практическом журнале из списка ВАК «Глобальная ядерная безопасность»	Разработка «сквозных» экскурсионных программ (от 1 до 4,5 курсов) на предприятия ГК «Росатом» и промышленного кластера г.Волгодонска для проведения сравнительного анализа степени технической оснащенности и уровня внедрения инструментов ПСР в практику хозяйственной деятельности предприятий
Создание базовых кафедр на предприятиях: - «Атомного энергетического машиностроения» ("Атоммаш") - «Атомные электрические станции» (УТП РоАЭС)	Получение заявок от предприятий на разработку тем для выпускной квалификационной работы по направлениям Бережливого производства для конкретных деталей/участков/периодов
Бинарное руководство (со-руководство) выпускными квалификационными работами (преподаватель ВУЗа и представитель предприятия)	Проведение курсов повышения квалификации преподавателей и сотрудников вуза по программе «5S – офис»
Разработка УМК для подготовки слушателей по программе повышения квалификации «Реализация инструмента 5S Производственной системы Росатом на рабочем месте типового участка машиностроительного производства»	Привлечение работодателей к чтению дисциплин специализации

Формой двустороннего сотрудничества с предприятием атомного машиностроения филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск стала совместная разработка и реализация программ подготовки LEAN-специалистов из числа сотрудников предприятия. Обучение БП линейных руководителей по программе «Школа производственного мастера» было нацелено на получение ими знаний и овладение практическими навыками использования инструментов ПСР. Особое внимание уделялось методике сокращения потерь непосредственно на производственной площадке, поскольку именно там происходят процессы создания ценности. Причем, участие вуза не ограничивалось только методическим сопровождением программы и участием в ее реализации. Преподавателями вуза были включены в программу основы педагогического мастерства, позволяющие внутренним

преподавателям предприятия, после защиты своих ПСР-проектов, стать сертифицированными тренерами по БП и обучать персонал предприятия.

В связи с этим, в рамках летней школы подготовки преподавателей опорных вузов ГК «Росатом» была поставлена задача встраивания в учебный процесс и формирования у студентов новых компетенций «Клиентоориентированность», «Готовность к изменениям и инновациям», «Кросскультурные коммуникации», которые успешно включены в учебные программы практически всех направлений подготовки, и в первую очередь, специальностей «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» и «Строительство уникальных зданий и сооружений». Как видно, вуз достаточно оперативно реагирует на возникающие потребности своего главного партнера-работодателя.

В программе повышения квалификации руководителей среднего и высшего звена «Эффективное управление предприятием энергетического машиностроения» особое внимание уделялось ключевым показателям эффективности (КПЭ), таким как «Скорректированный свободный денежный поток», «Портфель заказов», «EBITDA» и другим, а также возможности непосредственного влияния на получение этих показателей каждым руководителем в рамках своей компетенции. Декомпозиция КПЭ и каскадирование поставленных задач проводит к командному успеху в выполнении КПЭ и в результате к повышению конкурентоспособности предприятий и корпорации в целом, укреплению позиций на внутреннем и международном рынке [9].

Еще одной формой сотрудничества ВИТИ НИЯУ МИФИ и ГК «Росатом» выступает преподавание профильных дисциплин специалистами предприятий госкорпорации. Для подготовки бакалавров направлений «Менеджмент» и «Экономика» в рамках дисциплины «Управление промышленными затратами» выделены часы для изучения темы «Управление затратами на основе ПСР» на базе Учебного Центра филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск с привлечением преподавателей УЦ. В ходе занятий студенты имеют возможность получать практические навыки использования инструментов ПСР на тренажерах, макетах и симуляторах, которые применяются в программах подготовки LEAN-специалистов предприятия сертифицированными тренерами ПСР.

Подготовка специалистов с учетом LEAN-технологий ведется не только среди экономистов и менеджеров, а практически по всем направлениям подготовки и специальностям, затрагивая все уровни высшего образования (Таблица 3).

Все виды практик (учебная, производственная, преддипломная) проводятся на предприятиях ГК «Росатом» и предприятиях промышленного кластера г. Волгодонска и Ростовской области. В рамках экскурсионных поездок на предприятия ГК «Росатом» и промышленного кластера г. Волгодонска студенты получают возможность оценить степень технической оснащенности, уровень внедрения инструментов ПСР в практику хозяйственной деятельности предприятий. Представители предприятий-работодателей принимают участие в проведении защит выпускных квалификационных работ (ВКР). Так, в 2017 г. по направлению подготовки «Менеджмент» к внедрению рекомендованы все мероприятия, разработанные в выпускных работах, а более трети из них были предложены к разработке предприятиями ГК «Росатом» (филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск и филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция»).

В стратегические задачи ГК «Росатом» сегодня входит сохранение и развитие внутреннего рынка посредством внедрения инновационных технологий и продуктов, а также укрепление и расширение своего влияния на международном рынке атомной энергетики. Именно поэтому, помимо тех задач, которые ставит перед образовательными организациями рынок труда [10], стратегические преобразования в

отрасли требуют от них не просто своевременной, но и опережающей адаптации. Подготовка востребованных специалистов должна основываться на новых методах и формах работы со студентами, дальнейшем развитии ключевых компетенций и брендов вуза, отличающих его от конкурентов (см. рисунок 1).

Таблица 3. – Направления подготовки и специальности, в рабочие учебные планы которых включены дисциплины или их разделы, ориентированные на LEAN-технологии [Areas of training and specialties which curricula include disciplines or their sections focused on LEAN-technology]

<i>Бакалавриат</i>	<i>Магистратура</i>	<i>Специалитет</i>
38.03.01; 38.03.02 <i>Менеджмент, Экономика</i>	15.04.01 <i>Машиностроение</i>	14.05.02 <i>Атомные электростанции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг</i>
<i>Дисциплина</i>	<i>Дисциплина</i>	<i>Дисциплина</i>
Управление производственными затратами	Организация и планирование производства на основе ПСР	Производственный менеджмент
15.03.01 <i>Машиностроение</i>	27.04.03 <i>Системный анализ и управление</i>	08.05.02 <i>Строительство уникальных зданий и сооружений</i>
<i>Дисциплина</i>	<i>Дисциплина</i>	<i>Дисциплина</i>
Организация и планирование производства на основе ПСР	Организация и планирование производства на основе ПСР	Организация и планирование производства на основе ПСР



Рис. 1. – Бренды ВИТИ НИЯУ МИФИ для ГК «Росатом» и новые формы подготовки молодых специалистов [Brands of VETI NRNU MEPhI for “Rosatom” SC and new forms of young specialist training]

Указанные на рисунке 1 формы подготовки сегодня получают широкое распространение в силу адаптивности к новой цифровой экономике, предполагают активное вовлечение информационных технологий и других достижений научно-технического прогресса. Они послужат инструментами для реализации возможностей участия ВИТИ НИЯУ МИФИ в процессах подготовки LEAN-специалистов для предприятий ГК «Росатом».

Существенные изменения профессий и требований к трудовым навыкам, знаниям и умениям в рамках существующих профессий требуют, во-первых, качественного базового образования, и, во-вторых, динамичного развития корпоративных программ обучения, создания условий и возможностей для самообразования и индивидуального переобучения.

В настоящее время еще не в полной мере осознается инвестиционный характер вложений в человеческий капитал, обеспечивающий современным компаниям долгосрочные перспективы роста конкурентоспособности производства. Эффективность подготовки специалистов в соответствии с современными требованиями определяется четким пониманием целей с рациональным сочетанием адекватных технологий, средств и методов обучения.

Массовое обучение сотрудников системе БП потребовало подготовки внутренних преподавателей-тренеров, в которой непосредственное участие принимали преподаватели ВИТИ НИЯУ МИФИ. Благодаря сертификации тренеров по обучению инструментам ПСР на базе АНО «Корпоративная Академия Росатома» у предприятий появилось право самостоятельно проводить обучение по курсам «Базовый курс ПСР», «Методика реализации ПСР-проектов», «5С», «Картирование», «Потери». Считаем, что такую же сертификацию должны пройти и преподаватели вуза, что позволит обеспечить высокое качество преподавания спецкурса для студентов всех специальностей и направлений.

Наличие сертифицированных тренеров из числа преподавателей вуза также расширит его возможности по предложению услуг в сфере подготовки и повышении квалификации LEAN-специалистов по узкоспециализированным (клиентоориентированным) программам в рамках ФППК.

Перспективным, практико-ориентированным подходом к обучению философии БП можно назвать такие методики «Фабрика процессов» и «Зеленая трава». «Фабрика процессов» предполагает полную симуляцию производственных процессов в учебных помещениях, где обучающийся на реальном производственном процессе и оборудовании получает практический опыт применения инструментов ПСР. Обучаемые проживают несколько условных смен, во время которых за определенное время выпускают плановое количество продукции. Теоретически все понимают, как нужно стандартизировать работу, как подавать предложения по улучшению. Но только тогда, когда человек весь процесс пропускает через свои руки, он понимает, как устроено производство. Когда его предложение реально влияет на конечный результат, что видно из экономических расчетов, тогда это дает предприятию гораздо больший эффект. «Фабрика процессов» ориентирована на снижение расходов и повышение эффективности, поэтому становится площадкой практического обучения принципам и инструментам ПСР.

Методика «Зеленая трава» предполагает эффективную адаптацию молодых специалистов путем постепенного и целенаправленного их вовлечения в производственные процессы, приобщения к корпоративным ценностям, раскрытия сильных сторон, способностей и склонностей, позволяющих получить максимальную пользу обеим сторонам и работодателю, и работнику.

Выстраивание эффективного процесса обучения и залог успешной реализации

инструментов бережливого производства находят отражение в преемственности всех видов обучения, практик, ядром которых служит softskills – навыки критического мышления, эффективной командной работы и гибкости принятия управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ицкович, Г.* Тройная спираль университеты-предприятия-государство. Инновации в действии [Текст] / Г.Ицкович; пер. с англ. под ред. А.Ф. Уварова. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2010. – 238 с.
2. *Головко, М.В. и др.* Инновационная активность как составляющая инновационного развития экономики региона [Электронный ресурс] / М.В. Головко, О.Ф. Цуверкалова // Экономические исследования. – 2016. – №2. – Режим доступа: URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnaya-aktivnost-kak-sostavlyayushchaya-ustoychivogo-razvitiya-ekonomiki-regiona> – 07.02.2018.
3. *Александрова, Е.Н. и др.* Инновационный фактор национальной и региональной конкурентоспособности России [Текст] / Е.Н. Александрова, И.В. Рындина // Экономика региона. – 2006. – №4(31). – С. 11–28.
4. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://sntr-rf.ru/materials/strategiya-nauchno-tekhnologicheskogo-razvitiya-rossiyskoy-federatsii-na-dolgosrochnyy-period/> – 07.02.2018.
5. Стратегические академические единицы (САЕ) НИЯУ МИФИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://mephi.ru/about/cae/index.php/> – 07.02.2018.
6. Атлас новых профессий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://atlas100.ru/catalog/?otrasl=all> g – 16.02.2018.
7. LEAN. Бережливое производство: Практическое руководство по внедрению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.up-pro.ru/shop/lean.html> – 26.10.2017.
8. *Головко, М.В. и др.* Корпоративные ценности в системе устойчивого развития и безопасности экономики промышленных предприятий (на примере ГК «Росатом») [Текст] / М.В. Головко, В.А. Руденко // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – №4(17). – С. 103–114.
9. *Ухалина, И.А. и др.* Ключевые показатели эффективности как инструмент экономической безопасности предприятий ГК «Росатом» [Текст] / И.А. Ухалина, Н.А. Ефименко, С.П. Агапова // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – №1(22). – С. 102–112.
10. *Руденко, В.А. и др.* Факторы и вектор стратегического развития вуза в контексте реализации инновационного потенциала региона [Текст] / В.А. Руденко, С.П. Агапова, С.А. Томилин, И.А. Ухалина, О.Ф. Цуверкалова, М.В. Головко, Н.А. Ефименко // Современное образование. – 2017. – №1. – С. 19–31.

REFERENCES

- [1] Ickovich G. Trojnaya spiral universitety-predpriyatiya-gosudarstvo. Innovacii v dejstvii [The Triple Spiral of Universities - Enterprise - State. Innovation in Action]. Perevod s anglijskogo pod redakciej A.F. Uvarova [Translation from English edited by A.F. Uvarov]. Tomsk, 2010, 238 p. (in Russian)
- [2] Golovko M.V., Cuverkalova O.F. Innovacionnaya aktivnost kak sostavlyayushchaya innovacionnogo razvitiya ekonomiki regiona [Innovative Activity as a Component of Innovative Development of the Region's Economy]. Ekonomicheskie issledovaniya [Economic research], 2016, №2. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnaya-aktivnost-kak-sostavlyayushchaya-ustoychivogo-razvitiya-ekonomiki-regiona> (in Russian)
- [3] Aleksandrova E.N., Ryndina I.V. Innovacionnyj faktor nacionalnoj i regionalnoj konkurentosposobnosti Rossii [Innovative Factor of National and Regional Competitiveness of Russia]. Ekonomika regiona [Economy of the Region], 2006, №4(31), pp. 11–28. (in Russian)
- [4] Strategiya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii [Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation]. Available at: <http://sntr-rf.ru/materials/strategiya-nauchno-tekhnologicheskogo-razvitiya-rossiyskoy-federatsii-na-dolgosrochnyy-period/> (in Russian)
- [5] Strategicheskie akademicheskie ediny (SAE) NIYaU MIFI [Strategic Academic Units (SAU) of the NRNU MEPhI]. Available at: <https://mephi.ru/about/cae/index.php/> (in Russian)
- [6] Atlas novykh professij [Atlas of New Professions]. Available at:

- <http://atlas100.ru/catalog/?otrasl=all> (in Russian)
- [7] LEAN. Berezhlivoe proizvodstvo: Prakticheskoe rukovodstvo po vnedreniyu [LEAN. Lean Production: A Practical Guide to Implementation]. Available at: <http://www.up-pro.ru/shop/lean.html> (in Russian)
- [8] Golovko M.V., Rudenko V.A. Korporativnye cennosti v sisteme ustojchivogo razvitiya i bezopasnosti ekonomiki promyshlennyh predpriyatij (na primere GK «Rosatom») [Corporate Values in the System of Sustainable Development and Security of the Economy of Industrial Enterprises (using the example of Rosatom SC)]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety], 2015, №4(17), pp. 103–114. (in Russian)
- [9] Uxalina I.A., Efimenko N.A., Agapova S.P. Klyuchevye pokazateli effektivnosti kak instrument ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatij GK «Rosatom» [Key Performance Indicators as a Tool for Economic Security of Rosatom State Corporation]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety], 2017, №1(22), pp. 102–112. (in Russian)
- [10] Rudenko V.A., Agapova S.P., Tomilin S.A., Uxalina I.A., Cuverkalova O.F., Golovko M.V., Efimenko N.A. Faktory i vektor strategicheskogo razvitiya vuza v kontekste realizacii innovacionnogo potentsiala regiona [Factors and Vector of Strategic Development of the University in the Context of Realizing the Innovative Potential of the Region]. *Sovremennoe obrazovanie* [Modern Education], 2017, №1, pp. 19–31. DOI: 10.7256/2409-8736.2017.1.22513 (in Russian)

Experience and Perspectives of LEAN-Specialist Training on the Basis of Effective Interaction between University and “Rosatom” State Corporation Enterprises

V.A. Rudenko*, M.V. Golovko, I.A. Uxalina***, S.P. Agapova****,
A.V. Antsybor*****, N.A. Efimenko*******

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

** e-mail: VARudenko@mephi.ru
ORCID: 0000-0002-6698-5469
WoS ResearcherID: B-7730-2016;
** e-mail: MVGolovko@mephi.ru
ORCID: 0000-0002-4835-9800
WoS ResearcherID: J-2461-2016;
*** e-mail: uhalina@yandex.ru
ORCID iD: 0000-0002-1928-7510
WoS ResearcherID: E-3153-2017;
**** e-mail: svetlana-1164@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8484-2912
WoS ResearcherID: E-4842-2017;
***** e-mail: AVAntsybor@mephi.ru
ORCID: 0000-0002-1192-4554
WoS Researcher ID : K-6051-2018;
***** e-mail: NAEfimenko@mephi.ru
ORCID iD: 0000-0001-8113-6759
WoS ResearcherID: E-3439-2017*

Abstract – The article summarizes the serious experience of interaction between the university and industrial partners. The results of training lean-specialists in accordance with the requirements of employers' enterprises are presented. The paper considers forms in promoting the ideology of "lean production", forming a "thrifty" world outlook among students and enterprise specialists through theoretical and practical oriented training. It substantiates significance of the use of the relevant material and technical base and the direct participation of industrial enterprise specialists. The work determines prospects for further cooperation between the university and enterprises in coordinating of development interests.

Keywords: training, lean tools, lean manufacturing, “Rosatom” State Corporation, practical oriented training, training programs.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ НОМЕРА

Агапова С.П.	119	Курейчик В.М.	76
Алюшин М.В.	111	Лушина Ю.Ю.	58
Анцибор А.В.	119	Паршукова Н.Ю.	58
Баранов М.Е.	24	Пирожков Р.В.	76
Берела А.И.	96	Припачкин Д.А.	7
Будыка А.К.	7	Ретмайер М.	47
Бурдаков С.М.	36	Руденко В.А.	119
Головко М.В.	119	Сюй Юйбинь	87
Гоок С.Э.	47	Толстов В.А.	68
Губеладзе А.Р.	36	Томилин С.А.	96
Губеладзе О.А.	36	Уфаев Н.Н.	96
Гуменюк А.В.	47	Ухалина И.А.	119
Ефименко Н.А.	119	Федоренко Д.Н.	104
Жабунина О.Ю.	58	Федотов А.Г.	96
Ишигов И.О.	68	Хусейн Юсеф Набиль	7
Кипкаев А.Е.	58	Цвелик Е.А.	76
Кравченко П.Д.	104	Цзян Ини	18
Кривин В.В.	68	Ярмоленко О.А.	96

AUTHOR INDEX OF VOL. 1, 2018

Agapova S.P.	119	Kipkaev A.E.	58
Alyushin M.V.	111	Kravchenko P.D.	104
Antsybor A.V.	119	Krivin V.V.	68
Baranov M.E.	24	Kureichik V.M.	76
Berela A.I.	96	Lushina Yu.Yu.	58
Budyka A.K.	7	Parshukova N.Yu.	58
Burdakov S.M.	36	Pirozhkov R.V.	76
Efimenko N.A.	119	Pripachkin D.A.	7
Fedorenko D.N.	104	Rethmeier Michael	47
Fedotov A.G.	96	Rudenko V.A.	119
Golovko M.V.	119	Tolstov V.A.	68
Gook S.E.	47	Tomilin S.A.	96
Gubeladze A.R.	36	Tsvelik E.A.	76
Gubeladze O.A.	36	Ufaev N.N.	96
Gumenyuk A.V.	47	Ukhalina I.A.	119
Husein Youesf N.	7	Xu Yubin	87
Ishigov I.O.	68	Yarmolenko O.A.	96
Jiang Yingyi	18	Zhabunina O.Yu.	58

NOTES FOR AUTHORS

1) The full text of article intended for publication has to be followed by representation of establishment in which work is made, and is signed by authors.

2) The file has to contain the expert resolution on publication possibility.

3) Information attached:

– A file with information about the authors in Russian and English (a surname, a name, a middle name, a work place, a position, an academic degree, a rank, postal address, and E-mail address, contact phone . If there are some authors, specify who to be corresponded with);

– A file with information about place of employment in Russian and English, including the postal address with an index. If there are several authors, to specify the place of employment of each author);

– the title of article and initials of authors in Russian and English;

– the abstract in Russian and English;

– UDC index;

– keywords in Russian and English.

4) The volume of article has to be no more than 12 pages of the typewritten text, including tables, the list of references (10–25 sources) and drawings (no more than 10).

5) Article has to be typed according to rules of a computer typing. Only one article is located in one file (in case of submission of two articles and more). Information of point 3 are a part of the article and have to be also submitted in electronic form.

Article should be issued in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format, 12 point font Times New Roman; print – 1 interval. Page parameters: all sides are 2,5 cm. Use of any other fonts is possible only by way of exception if they are entered to a file code. Please do not use signs of forced transfer and additional gaps. Vectorial values are selected with a bold-face type.

The equation editor of Equation 3.0 is only used to record the formulas. Large formulas need to be broken on some lines, and each new line is a new object. It is forbidden to scale formulas. Typing formulas it is necessary to use the following sizes: the text – 11 pf, a large index – 8 pf, a small-sized index – 6 pf, the large character – 12 pf, the small-sized character – 10 pf. Formulas shouldn't include signs of a punctuation and numbering in composition.

The article should contain only the most necessary formulas; it is desirable to refuse the intermediate calculations. Only those formulas which have references are numbered. Numbering of formulas should be shown through the whole article. Tables should have titles and numbering, only the standard abbreviations are allowed. The tables are desirable not to exceed one page of the text. The number of tables shouldn't exceed the number of pages.

Figures and diagrams must be black-and-white, 800x600 in size, with signatures. Diagrams should be issued in the Microsoft Office 97-2003 Word 7.0 format and only in the separate file (each diagram on a new page, or in the new file).

Units of measure should be given according to the International system (SI).

6) References are given at the end of article in order they mention. References are highlighted with square brackets in the text only to the published materials. References to foreign sources are given in original language.

7) The Publication Ethics.

The editors of the “Global Nuclear Safety” Journal work in accordance with the international publication ethics principles, including but not limited to privacy policy, vigilance over the scholarly publications, consideration of possible conflict of interests, etc. The editorial board follows the recommendations of the Committee on Publication Ethics (<http://publicationethics.org/>) and valuable practice of world-leading journals and publishers.

Authorship. All persons designed as “authors” should meet the criteria of the concept. Each author should have participated sufficiently in the work to take responsibility for its content. Authorship credit should be based on the following facts:

a) substantial contribution to conception and design, acquisition of data, or analysis and interpretation of data;

b) drafting the article or reviewing and introducing fundamental changes in it;

c) final approval of the version to be published.

Acquisition of funding or collection of data, as well as general supervision of the research group alone does not constitute authorship.

Editors of the “Global Nuclear Safety” journal has the right to request and publish information about the contributions of each person in writing the article.

The authors are responsible for the contents of their paper or short communication and its publication fact. The editorial staff reserves the right to shorten and review the articles submitted.

Reviewing. "Global Nuclear Safety" is peer-reviewed journal. Submitted papers and short communications are evaluated by editorial board members or specialized in the article field referees. Article review covers submitted material currency, scientific novelty degree, define its accordance to general journal profile, fixes facts of plagiarism. After the refereeing process is complete, the paper may be rejected, or returned to the authors for revisions, or accepted for publication.

Conflict of Interests. Conflict of interest concerning a particular manuscript exists when one of the participants of reviewing or publication process — an author, reviewer, or editor — has obligations that can influence his or her action (even if it is not really so). Financial relationships (such as, employment, consultancies, stock ownership, honoraria, and paid expert testimony) are the most easily identifiable conflicts of interest. However, conflicts can occur for other reasons, such as personal relationship, academic competition, and intellectual passion.

All participants in the peer-review and publication process must disclose all conflicts of interests.

When authors submit a manuscript, they are responsible for disclosing all financial and other relationship that might bias their work. Authors should identify all individuals and institutions, who provided financial assistance, as well as other financial and personal support. Authors should describe the role of the study sponsor(s), in study design; collection, analysis, and interpretation of data.

Authors should provide editors with the names of persons they feel should not be asked to review a manuscript because of potential, usually professional, conflicts of interest.

Reviewers must disclose to editors any conflicts of interests that could bias their opinions of the manuscript; they should recuse themselves from reviewing specific manuscripts if the potential for bias exists. In return, the editorial staff should have the possibility to judge the objectiveness of the review and decide whether to refuse the reviewer's service.

Editorial staff may use information disclosed in conflict-of-interest and financial-interest statements as a basis for editorial decisions.

Editors who make final decisions about manuscripts must have no personal, professional, or financial interest/involvement in any of the issues they might judge. Other members of the editorial staff, if they participate in editorial decisions, must provide editors with a current description of their financial interests (as they might relate to editorial judgment) and recuse themselves from any decisions in which a conflict of interest exists.

Publication of Negative Findings. Many studies with negative results are actually indecisive. The possibility of indecisive results publication is specially considered by the editorial staff.

Redundant Publications. The editorial staff will not consider manuscripts that are simultaneously being considered by other journals, as well as the papers on work that has already been reported in large part in a published article or is contained in another paper that has been submitted or accepted for publication elsewhere, in print or in electronic media. This policy does not preclude the journal from considering a paper that has been rejected by another journal, or a complete report that follows publication of a preliminary report, such as an abstract or poster displayed at a professional meeting.

Correspondence. If necessary the readers can send their comments, questions and pointed remarks for the published articles and their comments will be published. The corresponding authors can respond to the remarks if they wish.

The article should be checked in the system of the «anti-plagiarism» (<http://www.antiplagiat.ru>) to determine the percentage of the originality and identify possible sources of borrowing.

8) Each author submitting article for consideration to the journal has to be registered previously on the websites: <http://orcid.org> and <http://www.researcherid.com> (if he has no ORCID and ResearcherID yet). The author's ORCID (Open Researcher and Contributor ID) and ResearcherID identifiers as an integral part of information about the author, will be placed in the corresponding structural block of the published article.

ATTENTION! In case of a divergence of paper and electronic versions the Editorial staff is guided by the paper version.

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

THE LIST OF REFERENCES STANDARD IN ENGLISH:

For journals:

- [1] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredy deystviya v sisteme proektirovaniya tehnologii demontazha oborudovaniya pri vyvode iz ekspluatatsii bloka AES [The analysis and representation of the action environment in system of technology design of equipment dismantle during NPP unit taking out of operation] [Global nuclear safety], 2014, №1(10), ISSN 2305-414X, p. 25-31. (in Russian)

Indicate article DOI if it in the presence.

For books:

- [2] Mogilev V.A., Novikov S.A. Faykov Yu.I. Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlya issledovaniya mekhanicheskoy stoykosti konstruktov. [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, ISBN 5-9515-0072-9, 215 p. (in Russian)

For web-resources:

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

For foreign references:

- [4] 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:

- [5] Gerasimov S.I., Kuzmin V.A. Issledovaniye osobennostey initsirovaniya svetochuvstvitelny vzryvchatykh sostavov nekogerentnym izlucheniym [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):

- [6] 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.

All documents should be sent to the journal postal address:

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

Editorial office of "Global Nuclear Safety" journal

E-mail: oni-viti@mephi.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1) Полный текст статьи, предназначенной для опубликования, должен сопровождаться представлением от учреждения, в котором выполнена работа, и подписан авторами.

2) Комплект должен содержать экспертное заключение о возможности опубликования.

3) К статье прилагаются:

– сведения об авторах на русском и английском языках (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, домашний, служебный и электронный адреса, телефоны. Если авторов несколько, указать, с кем вести переписку);

– сведения об организации авторов на русском и английском языках, включая почтовый адрес с индексом. Если авторов несколько, указать данные об организации каждого автора);

– название статьи и инициалы авторов на русском и английском языке;

– аннотация на русском и английском языках;

– индекс УДК;

– ключевые слова на русском и английском языках.

4) Объем статьи должен быть не более 12 страниц машинописного текста, включая таблицы, список литературы (10–25 источников) и рисунки (не более 10).

5) Статья должна быть набрана в соответствии с правилами компьютерного набора. В одном файле помещается только одна статья (в случае подачи двух статей и более). Сведения из пункта 3 являются частью статьи и должны быть также представлены в электронном виде.

Статья должна быть оформлена в формате Microsoft Office 97-2003 Word 7.0, через 1 интервал, шрифтом Times New Roman размером 12 пт. Поля со всех сторон – 2,5 см. Использование любых других шрифтов возможно только в виде исключения, если они внесены в код файла. Не следует использовать знаки принудительного переноса и дополнительных пробелов. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.

Для записи формул применять только редактор формул Equation 3.0. Большие формулы необходимо разбить на несколько строк, причем каждая новая строка – новый объект. Запрещается масштабировать формулы. При наборе формул необходимо придерживаться следующих размеров: текст – 11 пт, крупный индекс – 8 пт, мелкий индекс – 6 пт, крупный символ – 12 пт, мелкий символ – 10 пт. Формулы не должны включать в состав знаки пунктуации и нумерацию.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться. Нумеруются только те формулы, на которые имеются ссылки. Нумерация формул должна быть сквозная по всей статье. Таблицы должны иметь заголовки и нумерацию, в них допускаются только общепринятые сокращения.

Желательно, чтобы таблицы не превышали одной страницы текста. Количество таблиц не должно превышать количество страниц.

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

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

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

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

Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТу 7.1-2003 «Библиографическая запись и библиографическое описание. Общие требования и правила составления». **References** предоставляются отдельно (правила оформления см. в разделе **The list of references standard in English**).

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

7) Этика публикаций.

Редакционная коллегия научного журнала «Глобальная ядерная безопасность» руководствуется в своей работе международными этическими правилами научных публикаций, включающими правила порядочности, конфиденциальности, надзора за публикациями, учет возможных конфликтов интересов и др. В своей деятельности редакция следует рекомендациям Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics (<http://publicationethics.org/>)), а также опирается на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

Авторство. Все лица, обозначенные как «авторы», должны соответствовать критериям этого понятия. Участие каждого автора в работе должно быть достаточным для того, чтобы принять на себя ответственность за ее содержание. Право называться автором основывается на следующих фактах:

а) значительном вкладе в концепцию и дизайн исследования или в анализ и интерпретации данных;

- б) подготовке текста статьи или внесении принципиальных изменений;
- в) окончательном утверждении версии, которая сдается в печать.

Участие, заключающееся только в обеспечении финансирования или подборе материала для статьи, не оправдывает включения в состав авторской группы. Общее руководство исследовательским коллективом также не признается достаточным для авторства.

Редакторы журнала «Глобальная ядерная безопасность» вправе спросить у авторов, каков вклад каждого из них в написание статьи; эта информация может быть опубликована.

Все члены коллектива, не отвечающие критериям авторства, должны быть перечислены с их согласия в специальном разделе «Выражение признательности».

Порядок, в котором будут указаны авторы, определяется их совместным решением.

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала оставляет за собой право на сокращение и редактирование присланных статей.

Рецензирование. Журнал «Глобальная ядерная безопасность» является рецензируемым журналом. Поступающие в редакцию журнала статьи и краткие сообщения проходят обязательное рецензирование членами редколлегии или специалистами по профилю данной статьи. Рецензия статьи раскрывает актуальность предоставленного материала, степень научной новизны, определяет соответствие предоставляемого текста общему профилю издания, фиксирует наличие плагиата. По результатам рецензирования статья может быть либо отклонена, либо отослана автору на доработку, либо принята к публикации.

Конфликт интересов. Конфликт интересов, касающийся конкретной рукописи, возникает в том случае, если один из участников процесса рецензирования или публикации – автор, рецензент или редактор – имеет обязательства, которые могли бы повлиять на его или ее мнение (даже если это и не происходит на самом деле). Наиболее частая причина возникновения конфликта интересов – финансовые отношения (например, связанные с приемом на работу, консультациями, владением акциями, выплатой гонораров и платными заключениями экспертов), прямые или через близких родственников. Возможны и другие причины – личные отношения, научное соперничество и интеллектуальные пристрастия.

Участники процесса рецензирования и публикации должны сообщать о наличии конфликта интересов.

Авторы при представлении рукописи несут ответственность за раскрытие своих финансовых и других конфликтных интересов, способных оказать влияние на их работу. В рукописи должны быть упомянуты все лица и организации, оказавшие финансовую поддержку, а также другое финансовое или личное участие. Должна быть описана роль спонсора/спонсоров в структуре исследования, в сборе, анализе и интерпретации данных.

Авторы должны указывать имена тех, кому, по их мнению, не следует направлять рукопись на рецензию в связи с возможным, как правило профессиональным, конфликтом интересов.

Рецензенты должны сообщать редакции обо всех конфликтах интересов, которые могут повлиять на их мнение о рукописи; они должны отказаться от рецензирования конкретной статьи, если считают это оправданным. В свою очередь редакция должна иметь возможность оценить объективность рецензии и решить, не стоит ли отказаться от услуг данного рецензента.

Редколлегия может использовать информацию, представленную в сообщениях о наличии конфликта интересов и о финансовом интересе, как основу для принятия редакционных решений.

Редакторы, которые принимают решения о рукописи, не должны иметь личного, профессионального или финансового интереса/участия в любом вопросе, который они могут решать. Другие члены редакционного коллектива, если они участвуют в принятии решений, должны предоставить редакторам описание их финансовой заинтересованности (так как она может иметь влияние на редакторские решения) и отказаться от участия в принятии решения, если имеет место конфликт интересов.

Публикация отрицательных результатов. Многие исследования, показывающие отрицательные результаты, в действительности являются нерешающими/неокончательными. Возможность публикации неокончательных результатов исследований рассматривается редколлегией в особом порядке.

Множественные публикации. Редакция не рассматривает рукописи, одновременно представленные для публикации в другие журналы, а также работы, которые в большей части уже были опубликованы в виде статьи или стали частью другой работы, представленной или принятой для публикации каким-либо другим печатным изданием или электронными средствами массовой информации. Эта политика не исключает рассмотрение статьи, не принятой к публикации другим журналом, или полного описания, представленного после публикации предварительных результатов, т.е. тезисов или постерных сообщений, представленных на профессиональных конференциях.

Переписка. Читатели в случае необходимости могут направлять свои комментарии, вопросы или критические замечания к опубликованным статьям, которые будут напечатаны в журнале. При желании авторы статей могут ответить на замечания.

8) Каждый автор, подающий статью на рассмотрение в журнал, должен предварительно зарегистрироваться на сайтах: <http://orcid.org> и <http://www.researcherid.com> (если у него еще нет ORCID и ResearcherID). Авторские идентификаторы ORCID (Open Researcher and Contributor ID) и ResearcherID, как неотъемлемая часть сведений об авторе, будет размещаться в соответствующем структурном блоке опубликованной статьи.

Ответственность за достоверность данных в публикуемой в журнале рекламе несет рекламодатель. Публикуемая реклама не является частью авторских произведений.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ:

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

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

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

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

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

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

Для патентов: Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК⁷ Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство [Текст] / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с. : ил.

Для авторских свидетельств: А. с. 1007970 СССР, МКИ³ В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин (СССР). – № 3360585/25–08; заявл. 23.11.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. – 2 с.

Для электронных ресурсов: Дирина, А.И. Право военнослужащих РФ на свободу ассоциаций [Электронный ресурс] / А.И. Дирина // Военное право: сетевой журн. – 2010. – Режим доступа: URL: <http://voennoepravo.ru/node/2149> – 19.02.2011.

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

E-mail: oni-viti@mephi.ru

Тел.: 8(8639)222717.

ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2018, 1(26)

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

Сдано в набор 15.03.2018 г.

Компьютерная верстка Вишнева М.М.

Подписано к печати 22.03.2018 г.

Бумага «SvetoCory» 80 г/м². Объем 10,34 усл.печ.л.

Гарнитура «TimesNewRoman»,

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ВИТИ(ф) НИЯУ МИФИ