



ТЕХНИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ  
РОСАТОМ



**ИАТЭ**

НИЯУ МИФИ

Обнинский институт  
атомной  
энергетики

**СБОРНИК ЛУЧШИХ ТРУДОВ  
МОЛОДЕЖНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
посвященной Дню Российской науки  
и 70-летию со дня пуска  
Первой в мире АЭС

# **«НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГОРОДА ОБНИНСКА»**

**Обнинск - 2024**

УДК 001(06):90:621.311.25

ББК 72:63.3:31.4

С 23

**Молодежная научно-техническая конференция «Научный потенциал города Обнинска»: сборник лучших трудов** (Обнинск, 9 февраля 2024 г.) – Обнинск: АНО ДПО Техническая академия Росатома – ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024. – 124с.

Сборник лучших трудов Молодежной научно-технической конференции «Научный потенциал города Обнинска», посвященной Дню Российской науки и 70-летию со дня пуска Первой в мире АЭС

В сборнике лучших трудов научно-технической конференции «Научный потенциал города Обнинска» представлены работы молодых ученых, аспирантов, специалистов и студентов вузов, институтов, организаций и научно-производственных предприятий города Обнинска по различным научным отраслям.

Целью конференции является ознакомление научной общественности с результатами исследований, выполненных студентами, аспирантами и учеными, направленными на усиление роли науки и технологий в решении важнейших задач развития общества и страны в рамках реализации мероприятий Десятилетия науки и технологий (в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 25 апреля 2022 года № 231).

Материалы сборника будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам промышленных, научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

Издаётся в авторской редакции  
Материалы получены до 01.03.2024

ISBN 978-5-7262-3062-7

© АНО ДПО Техническая академия Росатома, 2024 г.

© ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024 г.

© Авторы, 2024 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### **ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ .....**

ВЛИЯНИЕ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ТВС С ПОВЫШЕННОЙ КАМПАНИЕЙ  
НА ЗАПАС РЕАКТИВНОСТИ В РЕАКТОРЕ БН-600 ..... 7

Карташева Е.Е., Стогов В.Ю.

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»

ВЛИЯНИЕ ВЫГОРАЮЩЕГО ПОГЛОТИТЕЛЯ НА НЕЙТРОННО-  
ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТОРА ВВЭР-1200 ..... 14

Иваницкая Е.С., Терехова А.М.

ИАТЭ НИЯУ МИФИ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕКИНГА НА ПРИМЕРЕ  
ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ЖИДКОСТИ..... 21

Старостин М.И., Бабухин А.С., Николаева О.Н.

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»

КОНТРОЛЬ АЛЬФА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ТВЭЛОВ И ТВС С МОКС И  
СНУП-ТОПЛИВОМ ..... 28

Жидков В.С., Чернов В. А., Мастеров А.В., Николаев С.А.

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»

### **РАДИОЭКОЛОГИЯ.....**

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА МЕСТНОСТИ  
КАК ОСНОВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО ВЫРАБОТКЕ МЕР ЗАЩИТЫ  
ПЕРСОНАЛА АЭС И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА СОБЫТИЯ ПО  
ШКАЛЕ ИНЕС ..... 36

Прудникова Е.С.

НПО «Тайфун»

ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ  
АТМОСФЕРЫ ГОРОДА ОБНИНСКА ..... 42

Полянская О.Н., Богачева Е.Г.

НПО «Тайфун»

ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ  
МЕТАЛЛАМИ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ РАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
НАПРАВЛЕННОСТИ.....49

Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В.,  
Дементьева Н.В.

НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ РАДИОУГЛЕРОДА В  
КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В Г. ОБНИНСК .....57

Зубачева А.А., Каткова М.Н., Баратова З.А., Тарасенко А.А.

НПО «Гайфун»

## **ОБРАЗОВАНИЕ .....**

ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА  
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ В ОБЛАСТИ  
РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....64

Александрова О. П., Онищук Е. А.

АНО ДПО «Техническая академия Росатома

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА АТОМНОЙ ОТРАСЛИ .....79

Карпенко А. Я., Правосуд С.С., Нарзыкулов Н. Б., Брежнев А. И.,  
Тимошинов А. В.

АНО ДПО Техническая академия Росатома

СОЦИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА УРОВНЯ ПРАВОВОЙ  
ИНФОРМИРОВАННОСТИ ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ  
ПЕРВОГО НАУКОГРАДА РОССИИ.....83

Пацула А.В., Колесникова Е.Д.

Частное образовательное учреждение высшего образования  
«Среднерусский гуманитарно-технологический институт»

КРИТЕРИИ УСПЕШНОСТИ РАБОТЫ КАФЕДРЫ.....88

Карпенко А.Я., Волос М.М.

АНО ДПО Техническая академия Росатома

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....**

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ  
УВЕЛИЧЕНИЯ ВЕСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ..... 97

Жуков В.А., Магрицкий А.С., Жукова Е.С.  
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КЛЕЕВОГО  
СОЕДИНЕНИЯ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОГО БЕЗ ДАВЛЕНИЯ, В  
ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ..... 103

Куприкова Е.Ю., Магрицкий А.С., Жуков В.А.  
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ,  
ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННО – КОСМИЧЕСКОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ ..... 111

Магрицкий А.С., Богачев А.А., Авцынова И.В., Шогенов В.А.  
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»

## **ОНКОЛОГИЯ.....**

КОМБИНАЦИЯ ВНУТРИАРТЕРИАЛЬНОЙ МАСЛЯНОЙ  
ХИМИОЭМБОЛИЗАЦИИ ПЕЧЕНИ С СИСТЕМНОЙ ТЕРАПИЕЙ  
СОРАФЕНИБОМ У ПАЦИЕНТОВ С ГЕПАТОЦЕЛЛЮЛЯРНЫМ  
РАКОМ ..... 118

Дикова А.С., Иванов С.А., Кучеров В.В., Фалалеева Н.А., Петросян А.П.  
МРНЦ им.А.Ф. Цыба

## **ЭКОНОМИКА.....**

ВЛИЯНИЕ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАЗВИТИЕ  
СТРАН ..... 122

Бурцева Т.А.

Частное образовательное учреждение высшего образования  
«Среднерусский гуманитарно-технологический институт»

Бурцев В.А.

Частное профессиональное образовательное учреждение «Обнинский  
колледж информации и права»

# **ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ**

# ВЛИЯНИЕ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ТВС С ПОВЫШЕННОЙ КАМПАНИЕЙ НА ЗАПАС РЕАКТИВНОСТИ В РЕАКТОРЕ БН-600

*Карташева Е.Е., Стогов В.Ю.*

АО «Государственный научный центр Российской Федерации –  
Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского»,  
Калужская обл., Обнинск

## Аннотация

Обеспечение устойчивости ядерной энергетики возможно посредством замыкания топливного цикла, способствующего увеличению ресурса топлива и соответствующего политике нераспространения. Достижение этого осуществимо посредством использования быстрых реакторов, имеющих коэффициент воспроизводства топлива, превышающий единицу. Однако в процессе эксплуатации быстрых реакторов могут иметь место колебания запаса реактивности, которые отражаются на безопасности реакторной установки, а также могут отражаться на ее экономичности. В данной статье приведены результаты расчета оценки вклада использования ТВС с повышенной кампанией в изменение запаса реактивности реактора БН-600.

**Ключевые слова** быстрый натриевый реактор, запас реактивности, топливная кампания, равномерно-частичная перегрузка, зона большого обогащения

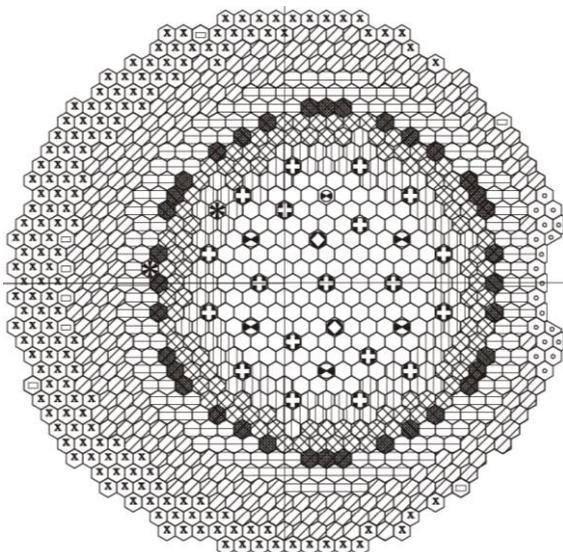
## Введение

При выборе кампании и длительности интервала между перегрузками реактора БН-600 учтена необходимость работы Белоярской АЭС с двумя перегрузками в год при коэффициенте использования установленной мощности  $\sim 0,77$ . При этом учтена потребность работы с разной продолжительностью зимнего и летнего интервалов между перегрузками.

Продолжительность зимнего интервала между перегрузками принята равной 170 эффективных суток, а летнего интервала между перегрузками – 110 эффективных суток. В случае необхо-

димости длительность интервала может быть изменена до любой величины, находящейся внутри диапазона от 110 до 170 эфф. сут, однако суммарная продолжительность двух смежных интервалов должна составлять 280 эфф. сут – при этом обеспечивается сохранение проектных характеристик в пределах, соответствующих принятым продолжительностям зимнего и летнего интервалов.

*Рис. 1 – Картограмма активной зоны реактора БН-600*



- - ТВС ЗМО ( $Z_5=17\%$ ) - 136 шт.
- ◐ - ТВС ЗСО ( $Z_5=21\%$ ) - 94 шт.
- ◑ - ТВС ЗБО ( $Z_5=26\%$ ) - 103 шт. (четырёхкратный режим перегрузки)
- ◒ - ТВС ЗБО ( $Z_5=26\%$ ) - 36 шт. (пятикратный режим перегрузки)
- ◓ - ТВС внутренней боковой зоны воспроизводства - 161 шт.
- ◔ - ТВС наружной боковой зоны воспроизводства - 217 шт.
- ⊕ - стержни АЗ - 5 шт.
- ⊖ - стержень АЗ-П - 1 шт.
- ⊕ - стержни КС - 19 шт.
- ⊖ - стержни РС - 2 шт.
- ⊗ - ИН - 2 шт.
- ⊗ - отработавшие сборки в ВРХ (162 ТВС + 1 ИН) - 163 шт.
- - сборки стальные - 19 шт.
- ◓ - сборки технологические - 8 шт.

Для активной зоны реактора БН-600 принята кампания ТВС, равная 560 эфф. сут, и четырехкратная равномерно-

частичная схема перегрузки для основного массива ТВС (136 ТВС ЗМО – ТВС зоны малого обогащения, 94 ТВС ЗСО – ТВС зоны среднего обогащения, 103 ТВС ЗБО – ТВС зоны большого обогащения). При этом в наружном ряду зоны большого обогащения для тридцати шести ТВС принята повышенная кампания – пять интервалов между перегрузками. Картограмма активной зоны реактора БН-600 с отмеченными ТВС зоны большого обогащения, имеющими повышенную кампанию, приведена на рисунке 1.

### **Влияние периферийных ТВС ЗБО с повышенной кампанией на запас реактивности**

Вследствие принятой схемы равномерно-частичных перегрузок в активной зоне одновременно находятся сборки с разным временем облучения с момента их установки:

- - наработка ТВС основного массива – 560 эфф. сут (четырёхкратный режим перегрузки);
- - наработка периферийных ТВС – от 670 до 730 эфф. сут (пятикратный режим перегрузки).

Для проведения оценки разности запаса реактивности при двух разных вариантах топливной кампании периферийных ТВС (670 и 730 эфф. сут) с помощью программного комплекса TRIGEX [1, 2] была смоделирована активная зона реактора БН-600.

При загрузке свежего топлива были заданы шаги по выгоранию:

- 1) для первого случая:
  - для основного массива ТВС: 110 сут, 170 сут, 110 сут, 170 сут (четырёхкратный режим перегрузки, соответствующий 560 эфф. сут);
  - для периферийных ТВС ЗБО: 110 сут, 170 сут, 110 сут, 170 сут, 110 сут (пятикратный режим перегрузки, соответствующий 670 эфф. сут);
- 2) для второго случая:

- для основного массива ТВС: 170 сут, 110 сут, 170 сут, 110 сут (четырёхкратный режим перегрузки, соответствующий 560 эфф. сут);
  - для периферийных ТВС ЗБО: 170 сут, 110 сут, 170 сут, 110 сут, 170 сут (пятикратный режим перегрузки, соответствующий 730 эфф. сут);
- 3) для третьего (контрольного) случая:
- для основного массива ТВС: 140 сут, 140 сут, 140 сут, 140 сут (четырёхкратный режим перегрузки, соответствующий 560 эфф. сут);
  - для периферийных ТВС ЗБО: 140 сут, 140 сут, 140 сут, 140 сут, 140 сут (пятикратный режим перегрузки, соответствующий 700 эфф. сут).

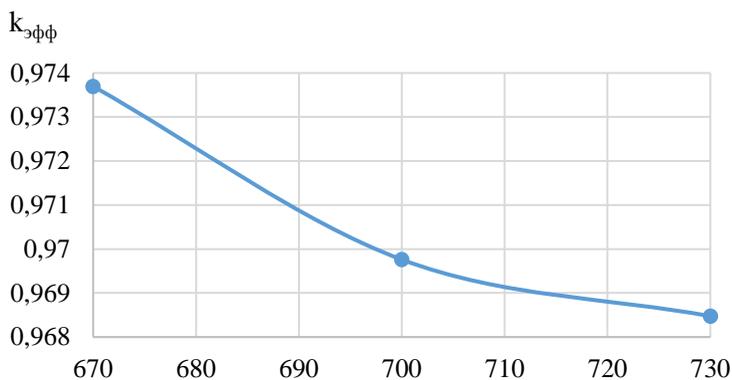
Необходимость моделирования кампании, начинающейся со 140 эфф. сут и длящейся 00 эфф. сут, обусловлена тем, что количество суток, с которых начинается кампания, может находиться в пределах от 110 до 170 эфф. сут, а следовательно, возможны кампании, начинающиеся с любого количества суток, лежащих в заданном интервале (однако при этом суммарная продолжительность двух смежных интервалов должна составлять 280 эфф. сут).

В результате проведения трех моделирований, получили:

- для кампании 670 эфф. сут, начинающейся со 110 эфф. сут:  $k_{\text{eff}} = 0,9737$ ;  $\rho = -2,70 \text{ \%}\Delta K/K$ ;
- для кампании 700 эфф. сут, начинающейся со 140 эфф. сут:  $k_{\text{eff}} = 0,9698$ ;  $\rho = -3,11 \text{ \%}\Delta K/K$ ;
- для кампании 730 эфф. сут, начинающейся со 170 эфф. сут:  $k_{\text{eff}} = 0,9684$ ;  $\rho = -3,26 \text{ \%}\Delta K/K$ .

Результаты моделирований представлены на рисунке 2 в виде графической зависимости  $k_{\text{eff}}$  от длительности топливной кампании периферийных ТВС.

Полученная разница  $\delta k_{\text{eff}}$  для кампаний 670 и 730 эфф. сут составляет 0,0053 (рис. 2), при этом  $\delta\rho = 0,0056 \text{ }\Delta K/K$ . Чтобы выяснить, какой вклад вносят 36 периферийных ТВС ЗБО в изменение запаса реактивности, был проведен дополнительный расчет с помощью программного комплекса TRIGEX в соответствии со строгой теорией возмущения [3].



Количество эфф. сут работы  
периферийных ТВС ЗБО

**Рис. 2 – Зависимость  $k_{eff}$  от длительности топливной кампании периферийных ТВС ЗБО**

В результате расчета в соответствии со строгой теорией возмущения получили:

- вклад ТВС ЗМО в изменение запаса реактивности:  $\delta\rho = -0,0021 \Delta K/K$ ;
- вклад ТВС ЗСО в изменение запаса реактивности:  $\delta\rho = -0,0017 \Delta K/K$ ;
- вклад ТВС ЗБО в изменение запаса реактивности:  $\delta\rho = -0,0018 \Delta K/K$ , из которых  $\delta\rho = -0,0003 \Delta K/K$  – вклад периферийных ТВС ЗБО с повышенной кампанией.

С помощью программного комплекса TRIGEX был проведен анализ различных процессов, происходящих в ТВС и влияющих на запас реактивности, который показал, что:

- 1) наибольший вклад в изменение запаса реактивности, вносимый ТВС ЗМО, объясняется меньшей утечкой и большим образованием нейтронов вследствие цен-

- трального расположения этих сборок в активной зоне (рис. 1);
- 2) общий вклад ТВС ЗБО в изменение запаса реактивности меньше вклада ТВС ЗМО, так как на периферии имеет место утечка, а значит, и меньшее образование нейтронов, участвующих в цепной реакции деления;
  - 3) вклад периферийных ТВС ЗБО в общее изменение запаса реактивности относительно небольшой и составляет  $\delta\rho = -0,0003 \Delta K/K$ , что объясняется большой утечкой в месте их расположения – на периферии активной зоны (рис. 1).

### **Выводы**

Расчет двух вариантов топливных кампаний тридцати шести периферийных ТВС ЗБО, выполненный с помощью программного комплекса TRIGEX с применением строгой теории возмущения, показал, что разница в запасе реактивности для кампаний 730 и 670 эфф. сут составляет  $0,0003 \Delta K/K$ . Полученный результат свидетельствует о том, что вклад периферийных ТВС ЗБО в общее изменение запаса реактивности незначителен и составляет менее 5 % по отношению ко вкладу в изменение реактивности ТВС основного массива. Следовательно, различная кампания периферийных ТВС ЗБО не может являться единственной причиной колебания запаса реактивности, наблюдаемого в быстрых реакторах.

Однако следует понимать, что при наложении нескольких факторов, влияющих на запас реактивности (отклонения паспортных характеристик загружаемых ТВС, отклонения графика несения нагрузки от расчетного, наличие и расположение в активной зоне экспериментальных ТВС [4], изменение используемых конструкционных и топливных материалов) запас реактивности может изменяться в более широких пределах, что может стать причиной предаварийной ситуации.

### **Список литературы**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ TRIGEX № 2013660588 от 11.11.2013.

2. Серегин А.С., Кислицына Т.С. Аннотация комплекса программ TRIGEX-CONSYST-БНАБ-90. Препринт ФЭИ-2655. Обнинск, 1997.
3. Зизин М.Н. Расчеты нейтронно-физических характеристик реакторов на быстрых нейтронах. М.: Атомиздат, 1978.
4. Гурская О.С., Дзугкоева Э.М., Коробейникова Л.В., Мишин В.А., Стогов В.Ю. Влияние замены конструкционной стали ТВС на запас реактивности в реакторе БН-600. ВАНТ, Серия «Ядерные константы». Вып. 4, 2020. – С. 85.

## **EFFECT OF PERIPHERAL FUEL ASSEMBLIES WITH AN INCREASED FUEL CYCLE ON THE REACTIVITY MARGIN IN THE BN-600 REACTOR**

*Kartasheva E.E., Stogov V.Yu.*

### **Abstract**

Ensuring the sustainability of nuclear energy is possible via closing fuel cycle, which ensures an increase in a fuel lifetime and is consistent with non-proliferation policy. This can be achieved by usage of fast reactors with a breeding ratio exceeding one. However, during the fast reactors' operation fluctuations of the reactivity margin may occur, these fluctuations affect the safety of the reactor facility and also may affect its economic efficiency. This article presents the results of the calculated analysis of the effect of using fuel assemblies with an increased fuel cycle on reactivity margin of the BN-600 reactor.

### **Keywords**

Fast sodium reactor, reactivity margin, fuel cycle, uniformly-partial refueling, high enrichment zone

# ВЛИЯНИЕ ВЫГОРАЮЩЕГО ПОГЛОТИТЕЛЯ НА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТОРА ВВЭР-1200

*Иваницкая Е.С., Терехова А.М.*

Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ  
Калужская область, г. Обнинск

Увеличение обогащения топлива приводит к проблеме избыточной реактивности в начале реакторной кампании. В данной работе будет рассмотрено применение гадолиния, в качестве выгорающего поглотителя, для компенсации избыточной реактивности. Цель работы: проанализировать влияние наличия выгорающего поглотителя на нейтронно-физические характеристики реактора ВВЭР-1200: коэффициент размножения нейтронов и выгорание гадолиния. Анализ проводился при загрузке реактора ВВЭР-1200 топливными кампаниями из диоксида и нитрида урана.

Ключевые слова: гадолиний, тепловыделяющая сборка, тепловыделяющий элемент с добавлением гадолиния, водо-водяной энергетический реактор, выгорающий поглотитель, диоксид урана, нитрид урана.

Вопрос развития ядерной энергетики, продления топливной кампании, повышения энерговыработки и улучшения работы реакторов стоит очень остро ввиду того, что реакторы типа ВВЭР наиболее перспективны для настоящего и будущего использования [1].

В данной работе будет рассмотрено применение гадолиния в качестве выгорающего поглотителя [2] для компенсации избыточной реактивности, а также его влияние на нейтронно-физические характеристики диоксида и нитрида урана.

Целью работы является анализ влияния выгорающего поглотителя на коэффициент размножения нейтронов, накопление ксенона и самария, наработку изотопов плутония, выгорания гадолиния.

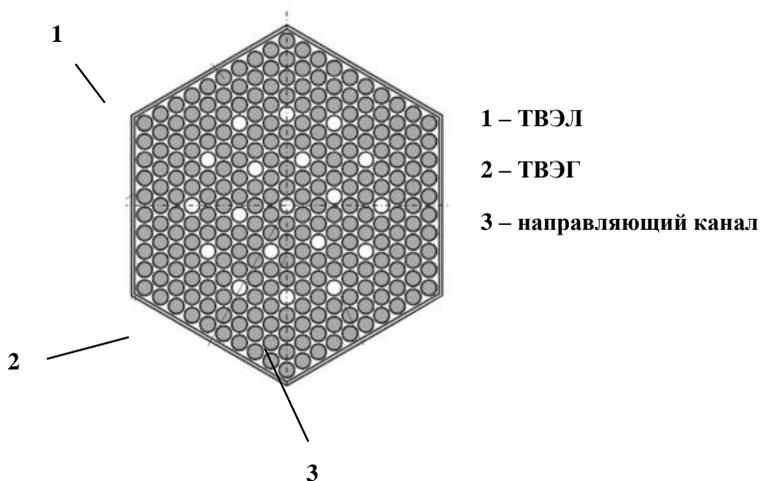
Одним из наиболее перспективных способов продления топливной кампании является повышение обогащение топлива. Однако повышенное обогащение несёт за собой ряд особенно-

стей, для решения которых необходимо добавление выгорающего поглотителя.

Выгорающие поглотители – материалы с изотопами, имеющими высокое сечение захвата тепловых нейтронов. По мере поглощения нейтронов, они превращаются в нуклиды с малым сечением захвата, тем самым регулируя запас реактивности.

В данной работе в качестве выгорающего поглотителя был выбран гадолиний, как традиционно применяющийся в реакторах типа ВВЭР-1200.

В активной зоне выгорающие поглотители могут располагаться как гомогенно, так и гетерогенно. В данной работе будет рассмотрено гетерогенное расположение ВП, представленное заменой некоторых ТВЭЛ на тепловыделяющие элементы с добавлением топливных таблеток из диоксида урана с примесью оксида гадолиния (ТВЭГ) [3-4]. На рисунке 1 представлена тепловыделяющая сборка ВВЭР-1200.

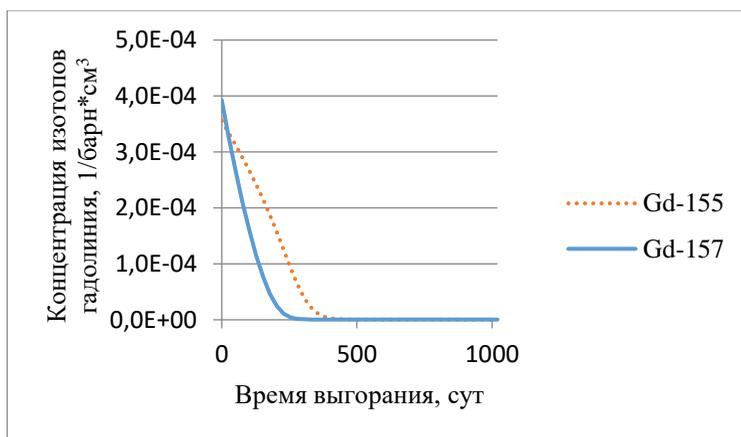


*Рис.1 – Модель ТВС ВВЭР-1200*

Для проведения нейтронно-физических расчётов использовалось программное обеспечение UNK, использующее при расчете метод вероятности первых столкновений, разработанное в

Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» [5]. В ходе работы был проведен анализ зависимости коэффициента размножения нейтронов и выгорания изотопов гадолиния от времени.

Для детального рассмотрения выгорания гадолиния были выбраны два изотопа: Gd-157 и Gd-155. Была просчитана зависимость изменения концентрации гадолиния от времени. Изменения представлены на рисунке 2.



**Рис.2 – Изменение концентрации гадолиния во времени**

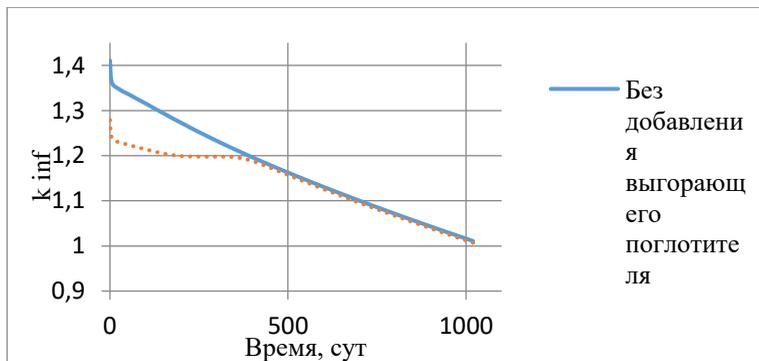
Видно, что Gd-157 выгорает намного быстрее чем Gd-155. Это объясняется многократно большим сечением поглощения Gd-157 [6].

Так Gd-157 практически выгорит на 200-е сутки, а Gd-155 на 400-е. Поэтому, при детальном исследовании влияния гадолиния на нейтронно-физические характеристики топлива, большую практическую важность представляет именно Gd-155, ввиду меньшей скорости выгорания.

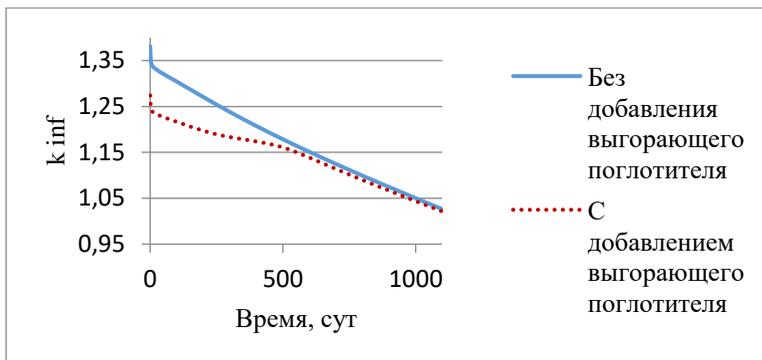
Одной из главных характеристик работы реактора является коэффициент размножения нейтронов ( $k_{inf}$ ) – отношение числа нейтронов данного поколения к числу нейтронов предыдущего во всем объеме активной зоны реактора [7]. Данный коэффициент очень важен для понимания процессов, происходящих в реакторе,

так как основой работы реактора является размножение нейтронов. Для расчётов в работе принята бесконечная геометрия, обуславливающая отсутствие утечки.

В качестве эталона на рисунках 3 и 4 приведены просчитанные зависимости коэффициента размножения нейтронов от времени для диоксида и нитрида урана без добавления выгорающего поглотителя.



**Рис.3 – Изменение  $k_{inf}$  для топлива из диоксида урана**



**Рис.4 – Изменение  $k_{inf}$  для топлива из нитрида урана**

Из представленных графиков изменения для коэффициента размножения нейтронов (рисунки 3-4) для диоксида и нитрида

урана видно, что в случае использования гадолиния в качестве выгорающего поглотителя в начале кампании имеется плато, объясняемое эффектом сильной блокировки потока тепловых нейтронов. При этом для диоксида урана до истечения 400 суток коэффициент размножения меняется не существенно.

Снижение коэффициента размножения нейтронов означает снижение мощности реактора. Изменение мощности реакторной установки приводит к различным изменениям изотопного состава, одним из которых является отравление, которое будет рассмотрено ниже.

В результате проведения работы проведен расчёт нейтронно-физических характеристик диоксида урана с добавлением и без добавления гадолиния в качестве выгорающего поглотителя.

Гадолиний в начале кампании значительно влияет на коэффициент размножения. Таким образом, он позволяет скомпенсировать возможное повышение обогащения топлива.

### Список литературы

1. Использование эрбия в качестве выгорающего поглотителя в реакторах типа ВВЭР при работе на удлиненных кампаниях / С.Х. Альассаф, В.И. Савандер, А.А. Хассан // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2020. - №3. – С. 62-71.
2. Сливин, А.А. Возможность использования альтернативных выгорающих поглотителей в ядерных реакторах типа ВВЭР / А.А. Сливин, М.Н. Аникин // [Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий](#): материалы конференции в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, Россия, Северск, 21-25 марта 2016 г. – Северск : Томский политехнический университет, 2016. – С.51-51а.
3. Протактиний-231 - новый выгорающий поглотитель нейтронов / Г. Г. Куликов, Е. Г. Куликов, А. Н. Шмелев, В. А. Апсэ // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2017. – № 3. – С. 195-204.

4. Влияние выгорающих поглотителей (Gd и Eu) на нейтронно-физические характеристики ТВС реакторов ВВЭР-1000 / В.М. Демин, В.И. Савандер, Абу Сондос Махмуд Абдель Рахман Саламэх // Ростовский научный журнал. – 2019. – № 3. – С. 262-272.
5. Белоусов, Н.И. Программа UNK для детального расчета спектра нейтронов в ячейке ядерного реактора / Н.И. Белоусов, В.Д. Давиденко, В.Ф. Цибульский. - Москва: Российский научный центр "Курчатовский институт", 1998. – 24 с.
6. Evaluated Nuclear Data File (ENDF) [Электронный ресурс] URL: <https://www-nds.iaea.org/exfor/endl.htm>
7. Тошинский, Г.И. Беседы о ядерной энергетике. Физика реакторов и технологии модульных быстрых реакторов с теплоносителем свинец – висмут: для начинающих и не только / Москва: РГ-Пресс, 2022. – 480 с.

## **THE EFFECT OF A BURN-UP ABSORBER ON THE NEUTRON-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF A VVER-1200 REACTOR**

*Ivanitskaya E.S., Terekhova A. M.*

### **Abstract**

An increase in fuel enrichment leads to the problem of excessive reactivity at the beginning of the reactor campaign. In this paper, we will consider the use of gadolinium as a burnout absorber to compensate for excessive reactivity. The purpose of the work is to analyze the effect of the presence of a burnout absorber on the neutron-physical characteristics of the VVER-1200 reactor: neutron multiplication coefficient and gadolinium burnout. The analysis was carried out when loading the VVER-1200 reactor by fuel companies from uranium dioxide and nitride.

Keywords: gadolinium, fuel assembly, gadolinium-added fuel element, water-water power reactor, burnup absorber, uranium dioxide, uranium nitride.



# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕКИНГА НА ПРИМЕРЕ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ЖИДКОСТИ

*Старостин М.И., Бабухин А.С., Николаева О.Н.*

АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского»,  
Калужская обл., Обнинск

## 1. Описание трекинга

Трекинг — это метод анализа видеозаписей. В данной работе предлагается использовать точечный трекинг для измерения скорости потока жидкости по движению примесных частиц трасера. Метод предполагает фиксацию наиболее выраженного пикселя в изображении примеси, либо фиксацию центра теневого следа частицы. Серия координат таких пикселей отражает трек выбранной частицы [1]. Координаты, в свою очередь, задаются методом Эйлера, т.е. используется прямоугольная декартова сетка, в которой координаты привязаны к углам изображения. Зная координаты включений и время между кадрами видеосъемки, получаем скорость их движения. Оценка скорости указанным методом выполняется путем построения треков движения теневых следов примесей. Выражения для оценки представлены ниже:

$V_x = \Delta x / \Delta t$  – проекция мгновенной скорости частицы на ось X,  $\Delta x$  – проекция перемещения за один кадр на ось X,  $\Delta t$  – время между кадрами.

$V_y = \Delta y / \Delta t$  – проекция мгновенной скорости частицы на ось Y,  $\Delta y$  – проекция перемещения за один кадр на ось Y,  $\Delta t$  – время между кадрами.

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \text{ – мгновенная скорость частицы.}$$

Перспективным методом оценки скоростей является привлечение к анализу полученного ряда кадров нейросетей, которые в автоматическом режиме смогут фиксировать координаты любых примесей, что значительно облегчит исследование и ускорит процесс. Кроме того, нейросетевой метод позволит обрабатывать гораздо большее количество треков, даже те, что неразличимы человеческим глазом, а в перспективе, при достаточно вы-

соком качестве съемки, фиксировать треки непосредственно частиц среды [1].

## **2. Оценка источников погрешностей**

Любые измерения сопровождаются погрешностями. В данной работе основным источником погрешностей является погрешность фокусировки и юстировки цифровой камеры, влияющая на точность определения масштаба съемки, положения координат частиц и привязки получаемых координат к геометрии установки. Для правильной интерпретации результатов также необходимо учитывать различные оптические эффекты (преломление, абберации). Важным фактором, влияющим на точность результатов, является разрешение изображений с камеры. Чем оно выше, тем выше точность получаемых данных. Помимо разрешения важна также чувствительность матрицы камеры и скоростные возможности сохранения изображений. Если камера позволяет получать более контрастные изображения и объекты трекинга хорошо отличимы от фона, погрешность позиционирования уменьшается. Выполнение многократных измерений, набор большего числа полезных событий позволяет уменьшить систематическую и статистическую погрешность и тем самым также повысить точность трекинга [1].

## **3. Обзорное сравнение трекинга с другими доступными методами измерения скоростей**

Основным и очень важным достоинством методов измерения, основанных на трекинге, отсутствие влияний на характер течения жидкости, т.к. метод не вносит значительных изменений в форму гидравлического канала. Так по сравнению с методами, основанными на измерении перепада давления в потоке, например, при помощи трубок Прандтля и Пито, трекинг позволяет строить распределение скоростей в канале без внесения неоднородностей в поток. Важно отметить, что при помощи перефокусировки камеры, т.е. перемещения фокусной плоскости по ширине канала данное распределение можно сделать трехмерным. Такими же достоинствами трекинг обладает и по сравнению с различными методами, основанными на помещении препятствия

внутри потока (измерение перепада давления на расходомерных шайбах, трубках Вентури и т.п., измерение скорости с помощью различных расходомеров с крыльчаткой). По сравнению с методами косвенного измерения скорости жидкости (ультразвуковые или электромагнитные расходомеры) трекинг обладает возможностью строить профиль скорости. По сравнению с электромагнитными расходомерами, трекинг не требователен к электропроводности среды.

Принимая во внимание, что погрешности трекинга главным образом определяется погрешностью определения координат объектов трассера на изображении и, учитывая высокий современный уровень цифровых камер, можно утверждать, что трекинг в целом обладает более высокой, по сравнению с предыдущими методами, точностью [1].

К недостаткам можно отнести необходимость организации окон съемки и подсветки, необходимость высокой квалификации персонала для юстировки съемочного оборудования, требовательность к точности юстировки, а также относительно высокая стоимость оборудования. Кроме того, трекинг практически не реализуем в экстремальных условиях. При высоком давлении в контуре невозможно организовать окно съемки из-за высоких температур, сильных электромагнитных, радиационных полей съемочная аппаратура может не функционировать. Поэтому метод трекинга практически неприменим к установкам, работающим в подобных условиях. Помимо этого наблюдаемая жидкость должна быть достаточно прозрачной для четкого различения частиц трассера.

#### **4. Постановка практической задачи**

Работы проводились на установке, содержащей гидравлический контур. В циркулирующей жидкости имеется незначительное количество примесных частиц. Кроме того, в определенных режимах работы установке, в гидравлическом контуре предположительно происходит частичное вскипание жидкости, и возникают пузыри.

Требовалось определить кинематические характеристики циркулирующей в установке среды: значение средней скорости, а

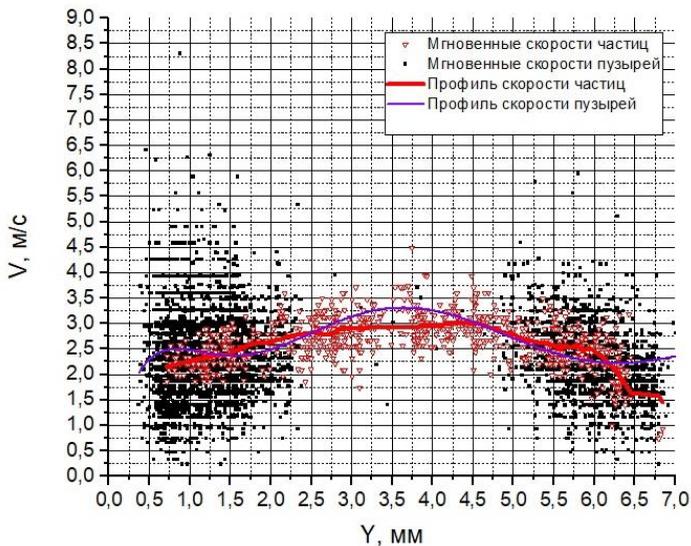
также форму профиля распределения скоростей, а также оценить законы движения данных пузырей в контуре.

## **5. Схема установки**

Экспериментальная установка представляет собой замкнутый гидравлический контур с установленным на нем ультразвуковым расходомером, через который циркулирует жидкая среда. Отдельный его участок является каналом прямоугольного сечения  $6 \times 80$  мм. Перпендикулярно каналу сверху и снизу подведены два окна, через которые подводится инфракрасное излучение, нагревающее среду. С двух внешних сторон контура, так же перпендикулярно каналу, находятся два окна толщиной 25 мм, через которые в рамках эксперимента осуществлялась контрольная подсветка и видеосъемка. Окно, через которое осуществлялась видеосъемка, было расположено на расстоянии  $L_1=234$  мм от объектива видеокамеры. Фокальная плоскость видеокамеры находится на расстоянии  $L_2=50,15$  мм. Контрольная подсветка осуществлялась при помощи источника света, расположенного за другим окном на оптической оси. Масштаб съемки был оценен как 43.3 пикселя на мм.

## **6. Получение и оценка результатов**

В ходе видеосъемки была получена запись течения среды в гидравлическом канале. Длина записи составила 1,2 с при частоте обновления кадров 10000 к/с. Полученная запись была обработана в ImageJ таким образом, чтобы были более заметны пузыри и частицы включения. По изображениям были построены 127 треков пузырей, и 72 трека включений. На основе треков посредством усреднения и математических аппроксимаций были построены распределения скоростей, показанные на рисунке. Средняя скорость по трекам составила 2.87 м/с.



**Рис. 1 – Профили и значения скоростей частиц по высоте канала**

Была проведена оценка законов поведения пузырей, которая основывалась на предположении о том, что вдоль потока пузыри движутся со скоростью потока, а поперечная потоку составляющая скорости пузырей появляется за счет силы Архимеда и диффузии пузырей [2, 3]. С учетом этого предположения на основе [3] был получен эмпирический закон движения пузырей:

$$V_y = V_{ya} + d \frac{\nabla \Phi}{\Phi} = V_{ya} + d \frac{\partial \Phi}{\partial y} \frac{1}{\Phi},$$

где  $V_{ya}$  - составляющая вертикальной скорости, обусловленная архимедовой силой, считается постоянной в силу большой вязкости среды,  $d$  - коэффициент диффузии среды,  $\Phi$  - концентрация частиц.

Для оценки  $V_{ya}$  было усреднено значение средней вертикальной составляющей скорости  $V_{ya}$ , которое составило 0,05 м/с. Для оценки члена  $d \frac{\partial \Phi}{\partial y} \frac{1}{\Phi}$  было использовано предположение

о том, что концентрация пузырей прямо пропорциональна теневому следу. В таком случае можно предполагать, что  $\Phi = k \cdot I$ , где  $k$  - некий коэффициент пропорциональности,  $I$  - освещенность в пикселе. Тогда  $\partial\Phi = k\partial I$  и, соответственно,  $d \frac{\partial\Phi}{\partial y} \frac{1}{kI} = d \frac{k\partial I}{\partial y} \frac{1}{kI} = d \frac{\partial I}{I} \frac{1}{\Delta y}$ . Приняв в качестве малого изменения параметров изменения между двумя соседними пикселями можно получить  $V_y - V_{ya} = d \frac{\Delta I}{I} \frac{1}{\Delta y}$ . Здесь  $\Delta I$  и  $\Delta y$  - соответствующие изменения освещенности и вертикальной координаты между двумя соседними пикселями. Отсюда  $d = \frac{\Delta y \cdot I \cdot (V_y - V_{ya})}{\Delta I}$ . Среднее значение коэффициента диффузии составило  $870 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Полученное значения коэффициента диффузии не противоречит теоретической оценке [3], а среднее значение скорости является согласованным с данными, полученными при помощи расходомера (2.85 м/с).

## 7. Общие выводы

Проведенный обзорный анализ трекинга показывает, что трекинг является эффективным методом оценки поведения движущихся сред, позволяющим получать данные недоступные для большинства других методов. Несмотря на относительную скудость результатов, а также простоту заложенных предположений, при помощи трекинга были получены весьма достоверные данные. Следует отметить что, несмотря на значительные преимущества, на широкое применение данного метода накладывают свое ограничение требовательность к точной юстировке и относительно высокая стоимость оборудования. В настоящее время во многих практических приложениях вследствие низких требований к точности могут быть применены более дешевые методы измерений. Тем не менее, развитие электроники и цифровых систем анализа данных делает трекинг все более универсальным и дешевым методом.

### Список литературы

1. М. С. Скляренко. Оценка точности методов трекинга для определения 2D-координат и скоростей механических систем по данным цифровой фотосъёмки / М.С. Скляренко // Компьютерная оптика. – 2015. – №39. – С. 125–135.
2. Л.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. /Л.Г. Лойцянский. – 7-е из, испр. – Москва: Дроф, 2003. – 840 с.
3. М.А. Стырикович. Тепломассообмен и гидродинамика в двухфазных потоках атомных электрических станций / М.А. Стырикович, В.С. Полонский, Г.В. Циклаури. – Москва; Наука, 1982. – 370 с.

# КОНТРОЛЬ АЛЬФА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ТВЭЛОВ И ТВС С МОКС И СНУП-ТОПЛИВОМ

*Жидков В.С., Чернов В. А., Мастеров А.В., Николаев С.А.*  
АО «Государственный научный центр Российской Федерации –  
Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского»,  
Обнинск, Россия

## Аннотация

В работе представлены результаты математического и физического моделирования нейтронного и гамма-излучения от МОКС и СНУП-топлива, а также результаты испытаний стандартного датчика БДЗА-96 и прототипов разрабатываемых детекторов для контроля альфа-загрязненности твэлов и ТВС с МОКС и СНУП-топливом на базе сцинтиллятора ZnS(Ag).

## Ключевые слова

Сцинтилляторы, спектрометрия, альфа-частица, альфа-загрязнение, нейтрон, гамма-излучение, СНУП топливо, МОКС-топливо, энергетические спектры, сульфид цинка.

## Введение

Для обеспечения функционирования комплекса роботизированного производства по изготовлению уран-плутониевого топлива для ТВС РУ БН-1200М и БР-1200 необходима установка контроля альфа-загрязненности поверхности твэлов и ТВС.

Требования к контролю твэлов установлены в НП-080-07 и технических условиях на твэлы.

При изготовлении твэлов и ТВС при рефабрикации топлива ожидается существенное увеличение интенсивности фонового нейтронного и гамма-излучения по сравнению с топливом на основе U-235 и U-238, неучет влияния которых на оборудование может привести к ошибкам первого и второго рода. Это требует разработки новых средств и методов контроля.

## Математическое и физическое моделирование нейтронного и гамма-излучения МОКС и СШУП-топлива и влияние излучения на альфа-детектор.

На основе заданного изотопного состава в АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» были созданы математические и физические модели гамма и нейтронного излучения твэлов и ТВС, содержащих несколько видов рефабрицированного МОКС и СШУП-топлива. Расчёты переноса фонового нейтронного и гамма-излучения твэлов и ТВС были выполнены по программе MCNP4B с библиотекой констант DLG 189 MCNPDAT, использованы значения выхода гамма-квантов из [1], содержание изотопа Am-241 принималось 1 % от массы тяжелых атомов. Были получены расчетные значения мощности эквивалентной дозы нейтронного и гамма-излучения от твэлов и ТВС с МОКС и СШУП-топливом для места расположения альфа-детектора, результаты приведены в таблице.

**Таблица 1 – Расчетные значения мощности эквивалентной дозы гамма и нейтронного излучений от твэлов и ТВС РУ БН-1200М и БР-1200**

Источник	МАЭД гамма-излучения, мЗв/ч	МАЭД нейтронного излучения, мЗв/ч
Твэл с МОКС топливом БН-1200М	4,93	$60,8 \cdot 10^{-3}$
Твэл со СШУП топливом БН-1200М	4,52	$49,8 \cdot 10^{-3}$
Твэл со СШУП топливом БР-1200	4,74	$47,7 \cdot 10^{-3}$
ТВС с МОКС топливом БН-1200М	2,30	3,78
ТВС с СШУП топливом БН-1200М	2,11	2,42
ТВС с СШУП топливом БР-1200	25,6	1,57

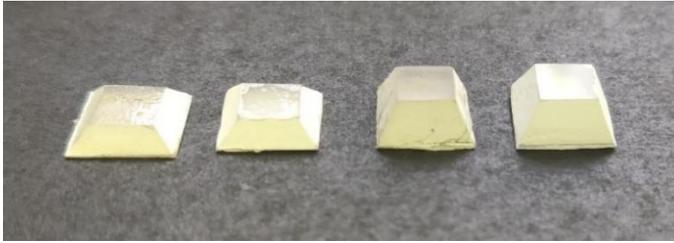
Для физического моделирования полей нейтронов твэлов и ТВС использовался источник быстрых нейтронов типа ИБН с потоком нейтронов  $7,2 \cdot 10^5$  н/с. Для физического моделирования

гамма-излучения твэлов и ТВС использовался источник Cs-137 типа ИГИ-Ц-3-2 активностью 59 МБк. Требуемые для испытания в соответствии с математической моделью значения мощности эквивалентной дозы нейтронного и гамма излучения определялись расчётным путём и подтверждались измерениями дозиметрами.

Проводились испытания детектора альфа-излучения БДЗА-96, так как данный детектор или его аналоги используются в существующих средствах контроля альфа-загрязнённости. Испытания детектора проводились для двух значений мощности дозы нейтронного излучения, соответствующих геометрическому положению при контроле поверхности твэла и чехловой трубы ТВС. Под воздействием нейтронного излучения скорость счёта импульсов может достигать 50 имп/с при фоновом значении 0,1 имп/с. Таким образом датчики такого типа в условиях высокофонового топлива неработоспособны. Отклик детектора на гамма-источник Cs-137 полностью отсутствовал.

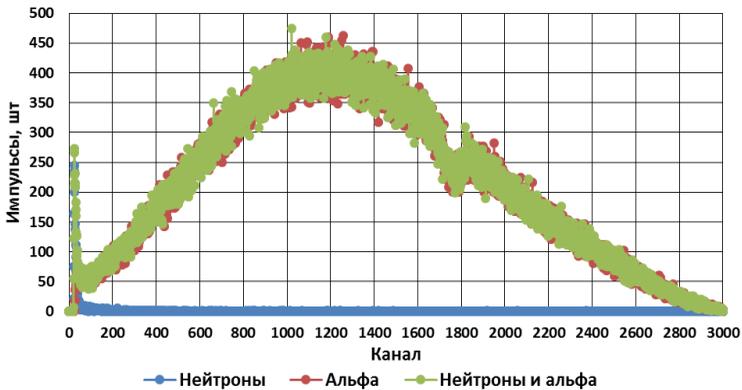
### **Контроль полной альфа-загрязнённости твэлов и ТВС в условиях высокофонового топлива**

Так как основным фактором, влияющим на работу детектора БДЗА-96, является нейтронное излучение, решалась задача создания детектора альфа-излучения с минимальной чувствительностью к нейтронному излучению и способного контролировать цилиндрическую поверхность малого диаметра. Для уменьшения чувствительности к нейтронному излучению ООО «Инженерным Бюро ВАСО» совместно с АО «ГНЦ РФ ФЭИ» разработан детектор на базе сцинтиллятора ZnS(Ag), диффундированного на тонкую полиэстеровую пленку. В качестве ФЭУ использовался кремниевый фотонный преобразователь типа MICROFC60035 с приемным окном 6 x 6 мм. Для оптимизации оптической системы и повышения количества импульсов были разработаны призматические оптические концентраторы (рис. 1).



**Рис. 1 – Набор подложек из оргстекла разной высоты**

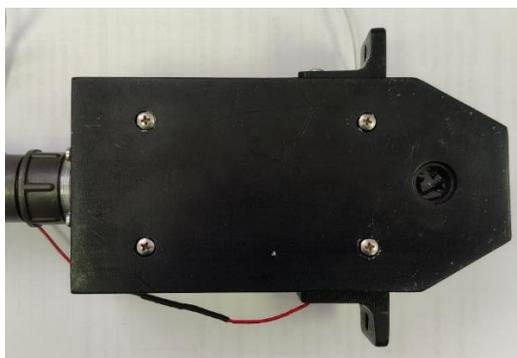
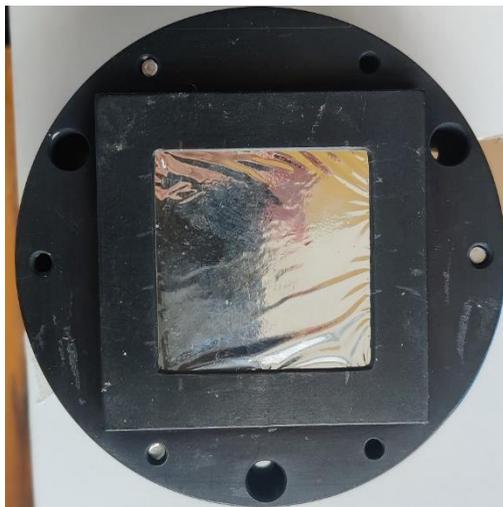
Определялась чувствительность элементарной измерительной ячейки с приёмным окном 10х10 мм к альфа-излучению образцового источника Pu-239 и источника нейтронного излучения типа ИБН. На рисунке 2 представлены совмещённые спектры альфа- и нейтронного излучений для определения порога дискриминации нейтронов. Порог дискриминации нейтронов составил ~ 350 мВ, при такой дискриминации скорость счёта импульсов, и, следовательно, чувствительность детектора альфа-излучения уменьшается всего на ~5%.



**Рис. 2. Совмещенный спектр альфа-излучения, нейтронов и альфа+нейтроны**

На базе разработанной элементарной ячейки разработан адаптивный датчик поверхностной альфа-загрязненности (рис.3) для контроля изделий сложной формы (например, ребра ТВС). Для контроля твэлов разработан кольцевой проходной датчик на

основе 18 кремниевых ФЭУ (рис. 3), разработан и изготовлен цилиндрический источник альфа-излучения с метрологическим обеспечением для его поверки [2].



### ***Рис. 3 – Макеты плоского (слева) и цилиндрического (справа) датчика альфа-излучения***

Первые испытания макетных образцов этих датчиков показывают, что, относительно прототипа на основе элементарной ячейке, порог дискриминации нейтронов остается примерно на том же уровне в  $\sim 350$  мВ, эффективность регистрации составляет от 34% до 79% (в зависимости от варианта исполнения), однако при этом средняя амплитуда импульсов от альфа-частиц заметно уменьшилась, таким образом с применением дискриминации нейтронов эффективность падает уже примерно вдвое. Есть несколько путей решения данной проблемы: уменьшение чувствительности датчика к нейтронному излучению, увеличение средней амплитуды импульсов альфа-частиц, использование в установке нескольких датчиков.

Для уменьшения чувствительности к нейтронному излучению возможна замена материала концентратора, также можно рассмотреть изменение материала подложки сцинтиллятора. Увеличения амплитуды импульсов альфа-частиц можно добиться некоторыми конструкционными и компонентными изменениями датчика.

### **Заключение**

1. МОКС и СНУП-топливо, получаемое в процессе рефабрикации, обладает достаточно высоким фоновым гамма и нейтронным излучением.

2. Серийно выпускаемые детекторы альфа-излучения не могут применяться для контроля твэлов и ТВС ввиду высокой чувствительности к фоновому нейтронному излучению. Необходимо разработка новых детекторов, в том числе кольцевого типа, и их метрологического обеспечения.

3. По результатам исследований влияния нейтронов на одноэлементный прототип детектор альфа-излучения определен порог дискриминации нейтронного излучения, при котором эффективность детектора альфа-излучения, уменьшается всего на  $\sim 5\%$ .

4. Исследования разработанных ООО «Инженерное Бюро ВАСО» и АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» макетных образцов и прототипов датчиков альфа-излучений позволяют с определенным оптимизмом говорить о перспективах создания промышленных образцов и проведения их испытаний с целью утверждения типа СИ.

### **Список литературы**

1. Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов. Дополнение 2007 г. / под ред. Дугласа Райлли; пер. с англ. ВНИИА. – Москва: Бином, 2013. – 435 с.
2. Патент RU 2800335 С1 20.07.2023 Цилиндрический источник альфа-излучения и способ его метрологического обеспечения.
3. Материалы отраслевой конференции «Новая атомная энергетика». Сочи, 20-21 октября 2023 г.

## **ALPHA CONTAMINATION CONTROL OF FUELD RODS AND FUEL ASSEMBLIES WITH MOX AND MNUP FUEL**

*Zhidkov V. S., Chernov V.A., Masterov A. V., Nikolaev S. A.*

### **Abstract**

The article presents the results of mathematical and physical modeling of neutron and gamma radiation from MOX and MNUP fuel, as well as the results of test of standard BDZA-96 detector and prototypes of developed detectors for alpha contamination control of fuel rods and fuel assemblies based on ZnS(Ag) scintillator.

### **Keywords**

Scintillators, spectrometry, alpha particle, alpha contamination, neutron, gamma radiation, MNUP fuel, MOX fuel, energy spectrum, zinc sulfide.

## **РАДИОЭКОЛОГИЯ**

# ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА МЕСТНОСТИ КАК ОСНОВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО ВЫРАБОТКЕ МЕР ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА АЭС И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА СОБЫТИЯ ПО ШКАЛЕ ИНЕС

*Прудникова Е.С.*

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО  
«Тайфун») Калужской обл., г. Обнинск

## Аннотация

На современном уровне обеспечения радиационной безопасности при прогнозе радиационной обстановки в зоне влияния АЭС используются модели распространения радионуклидов в окружающей природной среде, учитывающие ландшафтно-геофизические особенности местоположения источника выброса. Атмосферный выброс радионуклидов является наиболее опасной аварийной ситуацией как с точки зрения наибольшего количества путей формирования радиационной дозы на человека, так и потребности в высокой скорости подготовки рекомендаций по мерам защиты населения.

**Ключевые слова:** АЭС, радионуклид, аварийная ситуация, выброс, радиационная обстановка, ЦТП, ИНЕС, меры защиты, прогноз распространения, противоаварийная тренировка

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности страны одна из приоритетных задач государственной политики в Российской Федерации. В связи с этим Президентом РФ подписан Указ от 13 октября 2018 г. N 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу». Согласно Постановлению Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. N 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (с изменениями и дополнениями от 16.02.2023 г.) Росгидромет определен ответственным за проведение мониторинга и предупреждение об экстремально высоких уровнях радиоактивного и химического загрязнения окружающей среды на

территории РФ. Для выполнения функций предоставления оперативной информации о радиоактивном загрязнении окружающей среды на федеральном уровне Росгидрометом определено ФГБУ «НПО «Тайфун», в составе которого функционирует Федеральный информационно-аналитический центр – ФИАЦ Росгидромета. Одним из направлений деятельности ФИАЦ Росгидромета в области радиационного мониторинга является участие в процессах повышения надежности функционирования российских АЭС (в качестве Центра Технической Поддержки Кризисного Центра (КЦ) АО «Концерн Росэнергоатом» – ЦТП НПО «Тайфун») и реагирование на аварии и инциденты радиационного характера, в результате которых возможен или произошел выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. ЦТП НПО «Тайфун» функционирует с 1997 года в рамках соглашения с АО «Концерн Росэнергоатом». С 2014 года ЦТП «НПО «Тайфун» также обеспечивает выполнение функций и задач Регионального кризисного центра Московского центра (МЦ) ВАО АЭС. Таким образом ЦТП «НПО «Тайфун» привлекается для оказания экспертной поддержки для АЭС из таких стран как Армения, Иран, Словакия, Болгария, Индия, Финляндия, Венгрия, Чехия, Китай, Беларусь, Украина, Турция, входящим в состав этого центра. Режим функционирования ЦТП НПО «Тайфун» - круглосуточный. В зависимости от обстановки на подведомственных АО «Концерн Росэнергоатом» АЭС, деятельность ЦТП НПО «Тайфун» осуществляется в одном из трех режимов работы: «Повседневная деятельность», «Повышенная готовность» и «Чрезвычайная ситуация». В случае возникновения аварийной ситуации на АЭС, ЦТП НПО «Тайфун» наряду с другими центрами технической поддержки привлекается Кризисным центром АО «Концерн Росэнергоатом» для реагирования на радиационный инцидент и оперативной оценки сложившейся ситуации. Общие принципы организации и функционирования ЦТП НПО «Тайфун» определяются «Положением о Центре технической поддержки ФГБУ «НПО «Тайфун», федеральными законами и другими правовыми документами.

Ежегодно ЦТП НПО «Тайфун» привлекается для участия в тренировочных мероприятиях, проводимых АО «Концерн Росэнергоатом» зарубежных (входящих в состав РКЦ ВАО АЭС

МЦ) и российских АЭС. С момента образования эксперты ЦТП НПО «Тайфун» приняли участие в более чем 160 противоаварийных тренировках и более чем в 20 комплексных противоаварийных учениях АО «Концерн Росэнергоатом». [1]

Основными задачами ЦТП НПО «Тайфун» являются: оценка и прогноз гидрометеорологической обстановки в районе радиационной аварии на основе данных наблюдательной сети Росгидромета, прогноз возможности трансграничного переноса радиоактивного загрязнения, расчет, подготовка и предоставление данных анализа и прогноза радиоактивного загрязнения окружающей среды, оперативное представление данных радиационного мониторинга, полученных от наблюдательной сети Росгидромета, оценка и прогноз радиологических последствий, включая подготовку рекомендаций по мерам защиты населения и устранению последствий аварийного выброса. Суть последней задачи – подготовка расчетных и экспертно-консультативных материалов на основании характеристик источника выброса: расчет оценки радиационной обстановки на местности, рекомендации по мерам защиты персонала и населения. Рассчитывается прогнозируемая доза (мЗв) на первые 10 суток после аварии на расстоянии 50 км от места аварии. Прогноз (оценка доз, получаемых населением от радиоактивного облака) дается на щитовидную железу у взрослых и детей отдельно и на весь организм. Выработка рекомендаций по применению мер защиты включает в себя йодную профилактику для взрослого и детского населения по отдельности, укрытие и эвакуацию. Также определяется класс события по международной шкале INES и формируется список населенных пунктов и их отдаление от места аварии, в отношении которых рекомендуется применение неотложных решений (в т.ч. указанных выше мер защиты) в начальном периоде радиационной аварии. [2]

Решение задачи по оценке и прогнозу радиологических последствий, включая подготовку рекомендаций по мерам защиты населения и устранению последствий аварийного выброса происходит в два этапа. Первый этап – оценка радиационной обстановки на местности с прогнозированием мощности дозы за первые 10 суток (после начала аварии) на расстояние 50 километров от источника выброса. Так, в случае возникновения гипотетического

выброса с какого-либо предприятия города Обнинска, на территории которого есть радиационно опасный объект, в 50-ю зону расчета попадут такие населенные пункты как Медынь, Селятино и Серпухов. Для проведения расчетных мероприятий в качестве исходной информации используются параметры источника выброса (радионуклидный состав и активность, эффективная высота и продолжительность), а также метеорологические условия в районе АЭС или РОО. В случае возникновения аварии на двух и более энергоблоках АЭС, то расчетные мероприятия проводятся для каждого энергоблока отдельно, но метеорологические условия при этом для каждого расчета не меняются. Полученная в результате расчетов информация о прогнозируемой мощности дозы позволяет определить необходимость и тип мер защиты персонала станции и населения близлежащих населенных пунктов по уровням А и Б. Второй этап – анализ полученных результатов и выработка рекомендаций по применению защитных контрмер, а также определение класса аварии по международной шкале ИНЕС. Для каждого источника выброса (по уровню А и Б) вырабатывается свой набор рекомендаций с указанием расстояния, для которого необходимо применение каждого типа мер защиты (йодную профилактику для взрослого и детского населения по отдельности, укрытие и эвакуацию). В зависимости от класса аварии и мощности выброса возможно частичное применение экстренных мер защиты персонала АЭС и населения. В связи с тем, что вокруг каждой АЭС установлены посты АСКРО, так называемые детекторные точки, при определении мер защиты указываются также населенные пункты (обычно расположенные в зоне прохождения радиоактивного облака), в отношении которых рекомендуется применение неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии.

Подобная задача была успешно решена во время противаварийной тренировки на Нововоронежской АЭС 28 февраля 2023 года, когда в результате возникновения условной нештатной ситуации произошел гипотетический выброс радиоактивных веществ в атмосферу на двух энергоблоках. При сценарных метеорологических условиях и параметрах условных источников выброса выполнена оценка радиационной обстановки на местности в радиусе 50 км, и сформированы рекомендации по мерам защиты персонала и

населения, также определен класс условной аварии по шкале ИНЕС. Особенность данной задачи заключается в том, что при выработке рекомендаций по применению экстренных мер учитывалось распространение радиоактивных веществ (в результате условного выброса на двух энергоблоках) в 50 километровой зоне от Нововоронежской АЭС. Так как после возникновения условного выброса на одном энергоблоке применение мер защиты не требуется, а последствия гипотетического выброса на другом энергоблоке требуют применения экстренных мер. Как следствие для решения общей задачи был проведен анализ значений прогнозируемой дозы по категории «на все тело» для каждого условного выброса и расстояние по реализации каждого вида мер защиты, сформирован список населенных пунктов, для которых необходимо применение этих мер и определен класс события по шкале ИНЕС. Таким образом, для решения задачи по выработке экстренных мер защиты персонала АЭС и населения (после возникновения радиационной аварии) и формированию списка населенных пунктов, для которых необходимо их применение, невозможно без проведения оценки радиационной обстановки на местности.

### **Список литературы**

1. Бурков А.И., Мухалев В.Н., Прудникова Е.С. Гидрометеорологические аспекты при обеспечении безопасности ядерной энергетики // Сборник тезисов докладов VI Международной (XIX Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск», г. Обнинск, 20-21 апреля 2023 г. - С. 121-123.
2. Мухалев В.Н., Прудникова Е.С. Выполнение комплекса оперативных задач ЦТП НПО «ГАЙФУН» при возникновении аварийных ситуаций на радиационно-опасных объектах // Метеоспектр. - 2024. - №1. - С. 8-11.

# ASSESSMENT OF THE RADIATION SITUATION IN THE LOCAL AS A BASIS FOR SOLVING THE PROBLEM OF DEVELOPING MEASURES FOR PROTECTING NPP PERSONNEL AND DETERMINING THE CLASS OF AN EVENT ON THE INES SCALE

*Prudnikova E.S.*

## **Annotation**

At the modern level of ensuring radiation safety, when predicting the radiation situation in the zone of influence of a nuclear power plant, models of the distribution of radionuclides in the natural environment are used, taking into account the landscape and geophysical features of the location of the release source. The atmospheric release of radionuclides is the most dangerous emergency situation, both from the point of view of the largest number of ways to generate a radiation dose per person, and the need for a high speed of preparation of recommendations on measures to protect the population.

**Key words:** NPP, radionuclide, emergency, release, radiation situation, TSC, INES, protection measures, propagation forecast, emergency training

# ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА ОБНИНСКА

*Полянская О.Н., Богачева Е.Г.*

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение» «Тайфун» (ФГБУ «НПО» Тайфун»), Калужская обл., г. Обнинск

## Аннотация

В статье представлены результаты радиационного мониторинга в г. Обнинске в период с 2019 по 2023 года. Показаны сезонные вариации объемной активности  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{131}\text{I}$  в атмосфере города.

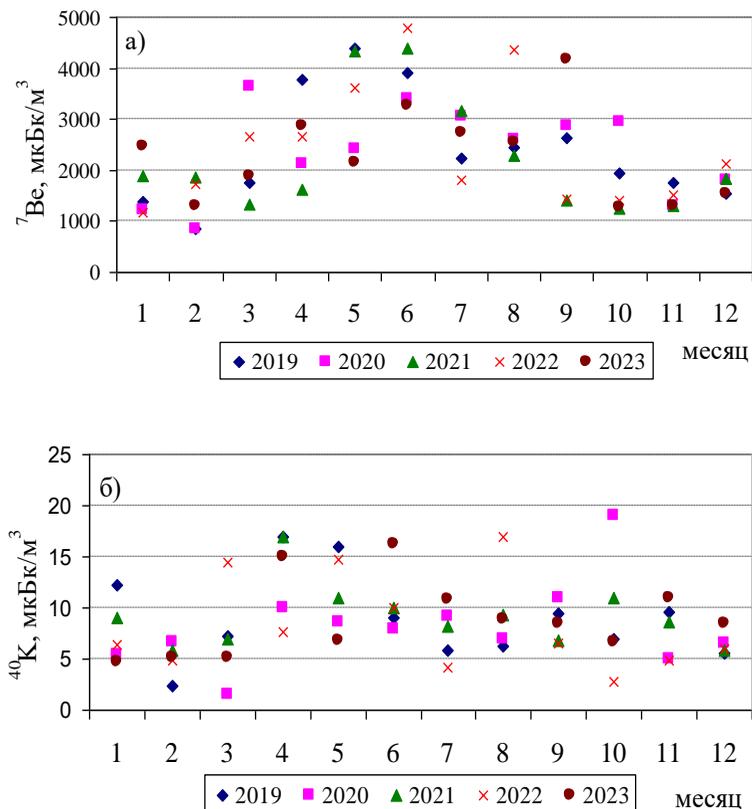
**Ключевые слова:** радиационный мониторинг, аэрозоли, Be-7, K-40, Cs-137, I-131

ФГБУ «НПО «Тайфун» проводит многолетний мониторинг г. Обнинска на содержание в приземном слое атмосферы как естественных, так и техногенных радионуклидов. Результаты мониторинга показывают, что в атмосфере города из гамма-излучающих радионуклидов в основном присутствуют: короткоживущий радионуклид  $^7\text{Be}$  космогенного происхождения, природные  $^{40}\text{K}$  и продукты распада радона, а также техногенные  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$ . В статье представлены результаты мониторинга, полученные в период с 2019 по 2023 года.

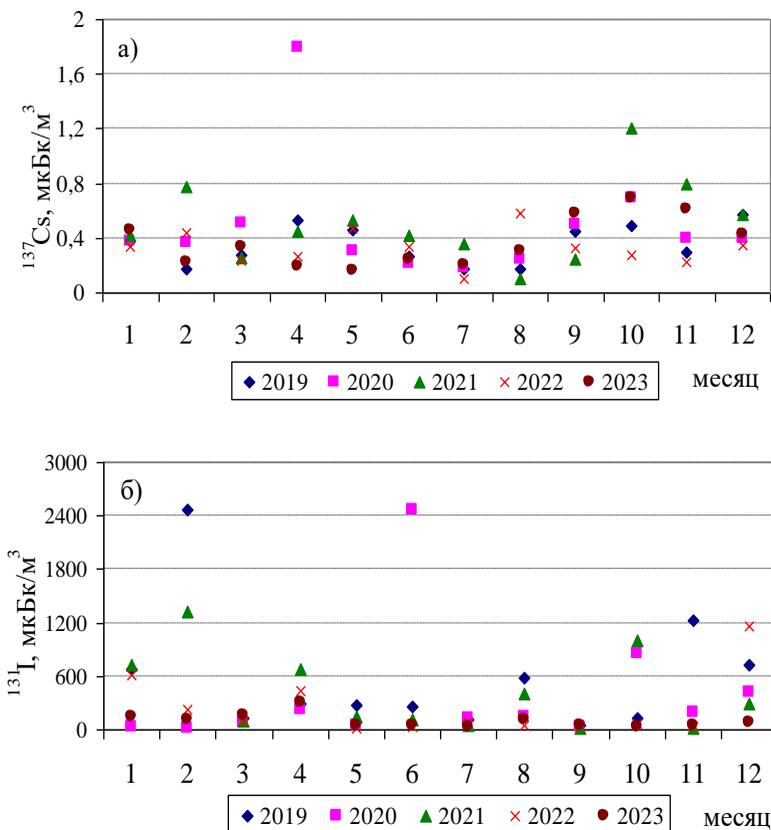
Наблюдения за объемной активностью радионуклидов в приземном слое атмосферы г. Обнинска осуществляется путем гамма-спектрометрического анализа проб аэрозолей, отобранных с помощью воздухо-фильтрующей установки (ВФУ) производительностью не менее  $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ , расположенной на территории высотной метеорологической мачты (ВММ-310). Пробы воздуха отбираются на два фильтра ФПП-15-1,5 (для улавливания аэрозолей) и СФМ-И (для улавливания радиоактивного йода в молекулярной форме) с экспозицией одни сутки, кроме выходных и праздничных дней. Анализ объединенных за месяц проб осуществляется с помощью поверенного полупроводникового спек-

тронетра с детектором из особо чистого германия фирмы ORNEC (США) с относительной эффективностью 60 %. Минимальная детектируемая объемная активность для месячных проб составляет  $2 \cdot 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup> с суммарной неопределенностью не более 50 % (P=0,95).

Среднемесячная объемная активность <sup>7</sup>Ве, <sup>40</sup>К, <sup>137</sup>Сs и <sup>131</sup>И в приземном слое атмосферы г. Обнинска в 2019-2023 гг. представлена на рис.1-2.



**Рис.1 – Объемная активность а) <sup>7</sup>Ве и б) <sup>40</sup>К в приземном слое атмосферы г. Обнинска**



**Рис.2 – Объемная активность а)  $^{137}\text{Cs}$  и б)  $^{131}\text{I}$  в приземном слое атмосферы г. Обнинска**

Как видно из рисунков, объемная активность  $^{7}\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  демонстрирует сезонные вариации. Для анализа такой сезонной закономерности результаты каждого года были разделены на 4 сезона: весна (март, апрель, май), лето (июнь, июль, август), осень (сентябрь, октябрь, ноябрь), зима (декабрь, январь, февраль). Средние и медианные значения объемной активности для всех четырех сезонов представлены в таблице.

В сезонном ходе объемной активности  $^{7}\text{Be}$  в атмосфере г. Обнинска, имеют место максимум в весенне-летний период и ми-

нимум в зимний. Подобное поведение радионуклида связано с весенне-летним обменом воздушных масс между стратосферой и тропосферой. Минимальные значения содержания  ${}^7\text{Be}$  зарегистрированы в феврале 2019 г. и 2020 г. и составляли 0,85 и 0,86 мБк/м<sup>3</sup> соответственно, максимальное значение – 4,8 мБк/м<sup>3</sup> в июне 2022 г. Среднегодовое значение варьировалось в диапазоне 2,2-2,4 мБк/м<sup>3</sup>, при среднем значении 2,3 мБк/м<sup>3</sup>, что хорошо согласуется с литературными данным по содержанию  ${}^7\text{Be}$  в средних широтах [1].

**Таблица 1 – Среднее и медианное значение объемной активности  ${}^7\text{Be}$ ,  ${}^{40}\text{K}$ ,  ${}^{137}\text{Cs}$ ,  ${}^{131}\text{I}$  для четырех сезонов 2019-2023 гг., мкБк/м<sup>3</sup>**

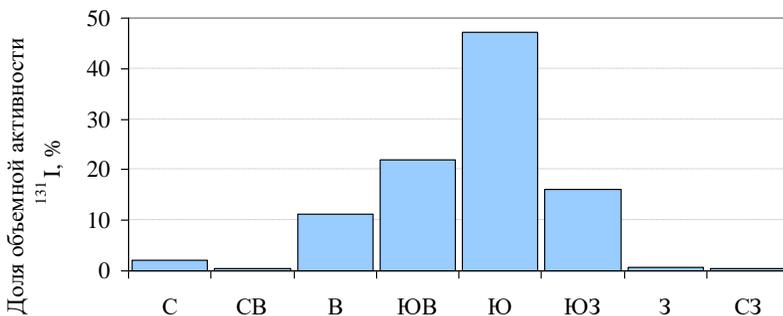
	Весна	Лето	Осень	Зима
${}^7\text{Be}$				
Среднее	2752	3130	1901	1572
Медиана	2650	3070	1430	1550
${}^{40}\text{K}$				
Среднее	9,5	9,0	8,5	6,3
Медиана	8,6	9,0	8,5	5,8
${}^{137}\text{Cs}$				
Среднее	0,36	0,26	0,52	0,42
Медиана	0,33	0,24	0,49	0,40
${}^{131}\text{I}$				
Среднее	201	308	253	602
Медиана	152	110	53	421

Минимальные значения содержания природного  ${}^{40}\text{K}$  наблюдаются в зимний период, когда почва покрыта снегом и естественное пылеобразование минимально. Максимальное естественное пылеобразование на местности происходит в апреле, когда почва высыхает, а растительные покров еще не развился. Поэтому с апреля объемная активность  ${}^{40}\text{K}$  в г. Обнинске увеличивается в среднем в 1,5 раза. Минимальное зарегистрированное среднемесячное значение объемной активности  ${}^{40}\text{K}$  – 2,0 мкБк/м<sup>3</sup>, максимальное – 19 мкБк/м<sup>3</sup>. Среднегодовое значение  ${}^{40}\text{K}$  с 2019-

2023 гг. варьировалось в диапазоне 7,8 – 9,0 мБк/м<sup>3</sup> при среднегодовом 8,3 мБк/м<sup>3</sup>.

Объемная активность <sup>137</sup>Cs так же имеет своеобразную циклическую структуру с минимумами в конце весны–начале лета, когда высокая растительность уменьшает поступление радионуклида в атмосферу за счет ветрового подъема. Максимумы объемной активности <sup>137</sup>Cs наблюдаются в осеннее-зимний период. Схожая картина наблюдается и в странах Европы [2,3]. Повышение уровней <sup>137</sup>Cs в г. Обнинске в эти сезоны может быть обусловлено как сжиганием органического топлива на теплоэлектростанции (ТЭЦ), так и выбросами <sup>137</sup>Cs в атмосферу ФГУП «ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского» (ФЭИ) [4]. Уровни среднемесячной объемной активности <sup>137</sup>Cs в воздухе в 2019-2023 гг. находились в диапазоне 0,1–1,2 мкБк/м<sup>3</sup> при среднем значении 0,34 мкБк/м<sup>3</sup>. Исключением стал случай повышения объемной активности <sup>137</sup>Cs до 1,8 мкБк/м<sup>3</sup> в апреле 2020 г., что связано с поступлением радионуклида в атмосферу в результате сильных пожаров, возникших в зоне Чернобыльской АЭС [5]. Среднегодовые объемные активности <sup>137</sup>Cs варьировались в диапазоне 0,31–0,51 мкБк/м<sup>3</sup> и были на семь порядков ниже допустимой среднегодовой объемной активности (ДОА<sub>нас.</sub>) в соответствии с НРБ-99/2009 [6].

Среднемесячная объемная активность <sup>131</sup>I в 2019-2023 гг. менялась в широких пределах от 11 мкБк/м<sup>3</sup> (ноябрь 2021 г.) до 2,5 мБк/м<sup>3</sup> (февраль 2019 г.). Наиболее вероятным источником поступления <sup>131</sup>I в атмосферу города является ФГУП «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова» (НИФХИ), в аэрозольных выбросах которого присутствуют изотопы йода [7]. Определенной сезонности в рассматриваемые годы не отмечается, что связано, по-видимому, с неоднородностью выбросов предприятием и метеоусловиями. Анализ направления ветра в дни регистрации <sup>131</sup>I за 2019-2022 гг. показал, что в 42 % случаев регистрации радионуклида наблюдается южное направление ветра, в 17 % юго-восточное, в 14 % – юго-западное. На юго-востоке города расположен НИФХИ. Распределение объемной активности <sup>131</sup>I в зависимости от направления ветра показано на рис. 3. Наибольшая объемная активность радионуклида регистрируется при южном направлении ветра.



**Рис.3 – Распределение объемной активности  $^{131}\text{I}$  по направлению ветра**

Максимальные суточные значения наблюдались 12-13.02.2019 и составляли  $6,3 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>3</sup>, 04-05.06.2020 – 39 мБк/м<sup>3</sup>, 03-04.02.2021 – 29 мБк/м<sup>3</sup>, 05-06.12.2022 – 17 мБк/м<sup>3</sup>, 15-16.03.2023 – 2,0 мБк/м<sup>3</sup>, что на два-три порядка ниже ДОА<sub>НАС</sub> для  $^{131}\text{I}$  в соответствии с НРБ-99/2009 [6].

Таким образом, в приземном слое атмосферы г. Обнинска присутствуют гамма-излучающие радионуклиды как естественного происхождения –  $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$ , так и техногенного –  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ , поступление которых в атмосферу города обусловлено как ветровым переносом глобальных радиоактивных выпадений, так и влиянием местных предприятий ядерного-топливного цикла.

### Список литературы

1. Вариации содержания  $^7\text{Be}$  в приземном слое атмосферы на средних широтах / Т. Б. Петрова, П. С. Микляев, В. К. Власов [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. – 2009. – Т. 50, № 5. – С. 396-401.
2. Long-term variations of radionuclides in the Bratislava air / I. Sýkora, K. Holý, M. Jeřkovský [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 166, No. Part 1. – P. 27-35.

3. Błazej, S. Cosmogenic  $^{22}\text{Na}$ ,  $^7\text{Be}$  and terrestrial  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  radionuclides in ground level air samples collected weekly in Kraków (Poland) over years 2003-2006 / S. Błazej, J. W. Mietelski // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2014. – Vol. 300, No. 2. – P. 747-756.
4. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2022 г. Ежегодник// Под ред. В.С. Косых и др. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2023. – 346 с.
5. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2020 году. Ежегодник. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. – 340 с.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
7. Использование результатов радиационного мониторинга окружающей среды для контроля источника выбросов йода-131 предприятием / А. И. Крышев, В. Г. Булгаков, М. Н. Каткова [и др.] // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 44-51.

## **GAMMA EMITTERS IN THE GROUND-LEVEL ATMOSPHERE IN OBNINSK**

*Polianskaia O.N., Bogacheva E.G.*

Abstract: In this study, the results of the radiation monitoring in 2019-2023 in Obninsk are presented. Seasonal variation of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{131}\text{I}$  activity concentrations in the ground-level atmosphere were shown.

Key words: radiation monitoring, aerosols, Be-7, K-40, Cs-137, I-131

## **ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

*Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В.,  
Дементьева Н.В.*

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ)  
Калужская область, г. Обнинск

Проведена сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова в 30-км зоне воздействия ПАО «НЛМК» и электрометаллургического завод ООО «НЛМК-Калуга». Определен полиэлементный состав твердой и жидкой фракций выпадений (Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Cd, Co). Талые воды по своему анионно-катионному составу и содержанию ТМ не превышают нормативных значений. Интенсивность загрязнения снежного покрова зависит от используемой технологии, объема выбросов, направления и расстояния от источника загрязнения.

Загрязнение окружающей среды выбросами промышленного производства приобрело в настоящее время глобальный характер. Одним из наиболее распространенных видов техногенного загрязнения является поступление в окружающую среду тяжелых металлов (ТМ) при работе предприятий черной и цветной металлургии, которые в соответствии с международной «Конвенцией об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте» относятся к наиболее экологически опасным производствам и объектам [1].

В зоне воздействия промышленных агломераций ТМ являются основным видом химического загрязнения агроэкосистем, доля поступления которых от техногенных источников составляет от 70% до 95% [2]. При этом концентрация загрязняющих веществ в снежном покрове на 2 – 3 порядка выше, чем в атмо-

сферном воздухе, а почва и снежный покров отражают различные временные характеристики загрязнения атмосферного воздуха

В центральном федеральном округе РФ почти третья часть (26,2%) объема выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферный воздух приходится на Липецкую обл., где основным источником загрязнения является публичное акционерное общество “Новолипецкий металлургический комбинат” (ПАО НЛМК) [5]. В состав группы НЛМК входит ПАО «НЛМК» и ООО «НЛМК-Калуга», которые вырабатывают до 21% всей российской стали. Вместе с тем данные предприятия кардинально различаются не только географическим расположением, но и используемыми технологиями, видами и объемами производства.

ПАО «НЛМК» основан в 1934 году имеет производственные мощности, позволяющие ежегодно выпускать 9,5 млн. т чугуна, 9,9 млн. т стали и до 7 млн. т горячекатаного и холоднокатаного листового проката. В структуру производства входят агломерационное, коксохимическое, азототуковое, доменное, прокатное производства, и ремонтный завод.

ООО «НЛМК-Калуга» электрометаллургический завод нового поколения основан в 2013 году. Проектная мощность предприятия 1,55 млн. т. в год жидкой стали и 1,5 млн. т. в год сортового и фасонного проката. В производственную структуру компании входят подразделения по заготовке и переработке лома черных металлов, сталеплавильное (дуговая сталеплавильная печь ДПС-120 с технологией «Ultimate»), прокатные и вспомогательные цеха [6].

Загрязнение окружающей среды приводит к необходимости регулярного контроля и анализа содержания токсичных химических веществ в атмосфере, почве, а в зимний период – в снежном покрове.

Целью проводимых исследований являлись пространственно-экологическая оценка загрязнения ТМ снежного покрова и сравнительный анализ результатов мониторинга в зонах воздействия ООО «НЛМК-Калуга» и ПАО «НЛМК»

## Методы исследования

Объектами исследований являлись атмосферные выпадения и снежный покров, входящих в 30 км зону воздействия металлургического комбината ПАО «НЛМК» (г. Липецк) и ООО «НЛМК-Калуга» (с. Ворсино, Калужской области).

Отбор проб снега проводили методом шурфа с площади 50×50 см на всю глубину снежного покрова без захвата приземного слоя (3-5 см), чтобы исключить попадание в пробу частиц почвы. Проба отбиралась в полиэтиленовый мешок емкостью 30 л. Высота снежного покрова составляла в среднем 40 см. Вес пробы около 20 кг, что позволяло получить при оттаивании 12-15 л воды. Для отбора «фоновых» проб выбирались участки, расположенные на расстоянии 24 км от основного источника загрязнения в Липецкой обл. и 23 км в Калужской обл.

Согласно методическим рекомендациям [7] оценка опасности загрязнения снежного покрова металлами проводилась с использованием: коэффициента техногенной концентрации ( $K_c$ ), пылевой нагрузки ( $P_n$ ), общей нагрузки загрязнения ( $P_{общ}$ ), коэффициента относительного увеличения общей нагрузки элемента ( $K_p$ ), суммарного показателя загрязнения снежного покрова ( $Z_c$ ).

## Результаты и обсуждение

В результате исследований установлено, что основная доля ТМ, выпадающих с зимними осадками, содержится в форме труднорастворимых соединений, которые являются потенциально опасными для биологических объектов из-за постепенного возрастания их мобильности после взаимодействия с кислотностью почв и различными микроорганизмами. При этом основным компонентом пылевидных выпадений является железо, количество которого в выпадениях ПАО «НЛМК» и ООО «НЛМК-Калуга» достигает 70,2, и 83,6%, соответственно (табл. 1).

Для всех промышленных предприятий характерны закономерности, заключающиеся в возрастании коэффициента  $K_c$  с приближением к источникам загрязнения. По всей совокупности изучаемых тяжелых металлов данные показатели для ближних

районов расположения ПАО «НЛМК» до 7 раз выше относительно ООО «НЛМК-Калуга».

**Таблица 1 – Средний химический состав пылевидных выпадений в районах размещения металлургических предприятий, %**

Год исследований	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	Fe	Zn	Al
ПАО «НЛМК»												
2019	0,02	0,02	0,42	0,21	6,8	0,01	0,28	0,55	0,44	70,2	3,8	14,5
ООО «НЛМК-Калуга»												
2020	0,01	0,02	0,14	0,4	10,6	–	0,3	0,6	–	83,6	4,4	–

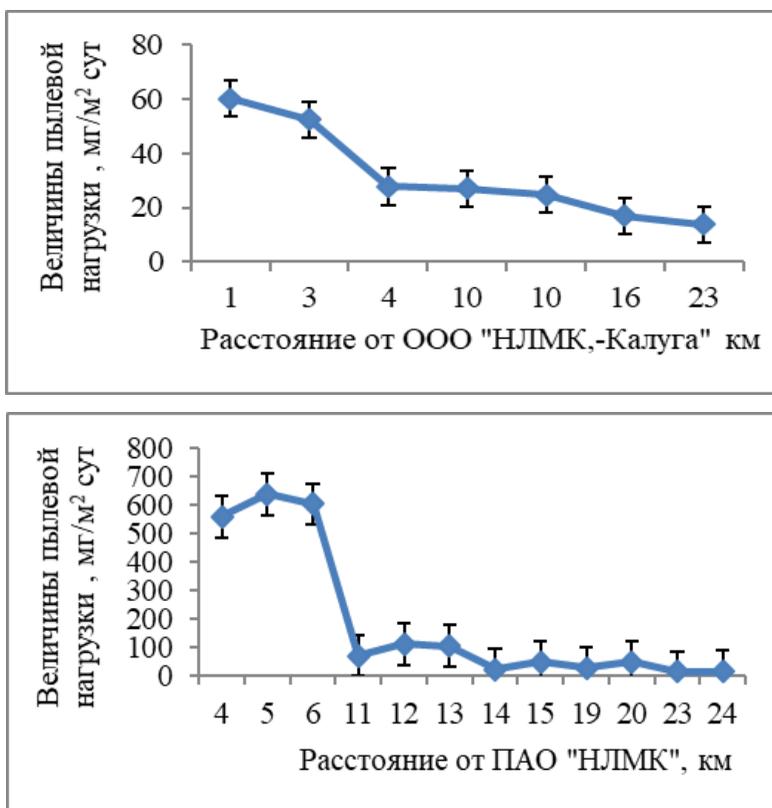
В отличие от труднорастворимых фракций какой-либо четкой закономерности в распределении водорастворимых концентраций тяжелых металлов в выпадениях наблюдаемых металлургических предприятий не наблюдается, однако с приближением к источникам загрязнения на расстоянии 3-4 км количество водорастворимых фракций в выпадениях ПАО «НЛМК» возрастает относительно ООО «НЛМК-Калуга» до 12 раз.

Следует отметить, что ТМ имеют различную мобильность и из факела выброса промышленных предприятий распространяются на разные расстояния. В большинстве случаев содержание ряда тяжелых металлов, и особенно железа, в пылевидных выпадениях ПАО «НЛМК» до 8 раз превышает соответствующие значения в выпадениях ООО «НЛМК-Калуга».

Наибольшие значения выбросов наблюдались на расстоянии 1-3 км от электрометаллургического комбината и на дистанции 4-7 км ПАО «НЛМК». Установленные показатели согласуются с данными М.Е. Берлянда [8], в соответствии которыми наибольшие концентрации выбросов создаются в приземном слое атмосферы на расстоянии 10–40 высот трубы (высота трубы ООО «НЛМК-Калуга» – 50 м, ПАО «НЛМК» – 250 м).

В районе расположения «НЛМК-Калуга» средний уровень пылевой нагрузки выявлен только в ближней 2-х километровой зоне воздействия, а на остальной части территории наблюдались низкие значения (рис. 1). В то же время для ПАО «НЛМК» с уве-

личением расстояния от источника загрязнения до 10-12 км пылевая нагрузка из высокой переходит в среднюю, а далее фиксируется низкая степень пылевой нагрузки. При этом в преобладающих по розе ветров северном и северо-восточном направлениях для «НЛМК-Калуга» и восточном для «НЛМК-Липецк» наблюдались повышенные уровни запыленности.



**Рис. 1 – Пылевая нагрузка ( $P_n$ ) на снежный покров на разных расстояниях от ООО «НЛМК-Калуга» и ПАО «НЛМК»**

Суммарный показатель загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами ( $Z_c$ ) в районе расположения ООО «НЛМК-Калуга» находится в диапазоне низких значений. Однако в непосредственной близости от промышленного предприятия установ-

лено превышение концентраций ряда тяжелых металлов относительно фоновых показателей до 8 раз. Для ПАО «НЛМК» выявлены средние и низкие показатели Zс, а максимально наблюдаемое превышение фоновых показателей тяжелых металлов достигает 17 раз.

Проведенная оценка показала очень высокий уровень пылевой нагрузки (Pn) в промышленно-селитебной 8-км зоне ПАО «НЛМК» ( $>10000$  мг/км<sup>2</sup> сут). Во всей остальной зоне обследования, кроме фоновых территорий, наблюдался средний уровень (1000-5000 мг/км<sup>2</sup> сут) притока ТМ (преимущественно железа), что говорит о достаточно высокой степени техногенной нагрузки на снежный и почвенный покровы. Для ООО «НЛМК-Калуга» практически на всей обследуемой территории отмечен низкий приток тяжелых металлов.

Проведенные исследования показали, что катионный (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) и анионный (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sup>4+</sup>, Cl<sup>-</sup>) количественный состав талых вод в ближних зонах воздействия ПАО «НЛМК» на порядок выше соответствующих значений района расположения «НЛМК-Калуга». Однако даже с учетом ПДК, установленных для питьевой воды, превышений нормативных значений не установлено. В тоже время для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, установлены более жесткие нормативы по содержанию химических элементов [9], что обуславливает в большинстве случаев превышение допустимых уровней содержания Си в талых водах районов расположения рассматриваемых металлургических предприятий в 1,2-5 раз. Для промышленно-селитебной зоны ПАО «НЛМК» также выявлено превышение предельных параметров содержания Zn и Ni в талых водах в 9 и 3,5 раза, соответственно.

### **Заключение**

Интенсивность загрязнения снежного покрова зависит от комплекса факторов: расстояния и направления от источников загрязнения, объемов выбросов, используемых технологий, вида производимой промышленной продукции, погодных условий и характера подстилающей поверхности. При этом для рассматриваемых предприятий характерны закономерности, заключающие

в возрастании коэффициентов концентрации тяжелых металлов в снежном покрове с приближением к источникам загрязнения, которые для районов расположения ПАО «НЛМК» в среднем в 3,5-7,1 раза выше относительно ООО «НЛМК-Калуга».

### Список литературы

1. Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте. Принт 25.02.1991. Финляндия : Эспо, 1991. 19 с.
2. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМ-ГРЭ, 1990. 9 с.
3. Безкопильный И.Н. Некоторые методические подходы к изучению воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения в зоне территориально-производственного комплекса // Гигиеническая санитария. 1984. N 11. С. 24 - 27.
4. Metals and the environment. // Swedish Environ. Protect. Agency. 1993, Report 4245, 185 p.
5. Гос. доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году". М.: Минприроды России; НПП "Кадастр". 2019. 844 с.
6. НЛМК-Калуга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kaluga.nlmk.com/> (дата обращения: 10.10.2019).
7. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМ-ГРЭ, 1990. 9 с.
8. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат. 272 с.

9. Перечень нормативов ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 305 с.

**ASSESSMENT OF THE DEGREE OF IMPACT OF VARIOUS METAL PRODUCTION TECHNOLOGIES ON SNOW COVER IN A 30-KM ZONE**

*Kurbakov D.N., Kuznetsov V.K., Sidorova E.V., Sarukhanov A.V., Dementieva N.V.*

A comparative assessment of heavy metal contamination of the snow cover in the 30-km impact zone of NLMK PJSC and the NLMK Kaluga Electrometallurgical plant was carried out. The polyelement composition of solid and liquid fractions of precipitation (Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Cd, Co) was determined. Meltwater in its anionic-cationic composition does not exceed the standards. The intensity of snow cover pollution depends on the technology used, the amount of emissions, the direction and distance from the source of pollution.

# ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ РАДИОУГЛЕРОДА В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В Г. ОБНИНСК

*Зубачева А.А., Каткова М.Н., Баратова З.А., Тарасенко А.А.*  
Федеральное бюджетное государственное учреждение «Научно-  
производственное объединение «Тайфун»,  
Калужская область, г. Обнинск

## Аннотация

Определение содержания  $^{14}\text{C}$  в компонентах природной среды, отобранных на территории г. Обнинска, проводилось в рамках разработки методики измерений в соответствии с планом научно-исследовательских и технологических работ Росгидромета. Измерение проб проводилось методом жидкостной сцинтилляционной спектрометрии на низкофоном радиометре Quantulus-1220 с применением системы автоматической пробоподготовки образцов Sample Oxidizer A307.

**Ключевые слова:** радиоуглерод, метод жидкостной сцинтилляционной спектрометрии, удельная активность  $^{14}\text{C}$

## Введение

$^{14}\text{C}$  является радионуклидом естественного происхождения, в основном, он образуется в результате взаимодействия вторичных нейтронов космического излучения с ядрами азота. Радионуклид претерпевает  $\beta$ -распад с максимальной энергией частиц 156 кэВ, период полураспада составляет 5730 лет. Первым техногенным источником поступления  $^{14}\text{C}$  являлись ядерные взрывы, максимальные концентрации приходились на 1950-1960 гг., превышая современный уровень почти в два раза. В настоящее время удельная активность  $^{14}\text{C}$  составляет 227 Бк/кг  $^{12}\text{C}$  [1].

На сегодняшний день источником техногенного  $^{14}\text{C}$  являются предприятия атомной отрасли, радионуклид образуется в реакторах любого типа, где наблюдаются мощные потоки нейтронов. Образование осуществляется в результате нескольких реакций, вклад каждой реакции зависит от особенностей конструкции [2]. В окружающую среду радионуклид попадает в основном в виде газоаerosольных выбросов ( $^{14}\text{CO}$ ,  $^{14}\text{CO}_2$ , углево-

дороды) и соответственно быстро включается в биологические процессы, поступая в растительный и животный мир через фотосинтез и пищевые цепи, участвуя в обменных процессах со стабильным углеродом, проникая во все органы, ткани и молекулярные структуры живых организмов тем самым представляя особый интерес для исследований [1].

Институт проблем мониторинга ФГБУ «НПО «Тайфун» осуществляет научно-методическое руководство сети радиационного мониторинга Росгидромета. В рамках данной деятельности ведется постоянная работа по модернизации и развитию государственного мониторинга радиационной обстановки на территории РФ. Разработка и внедрение методик выполнения измерений является одним из направлений. В 2022 году начаты работы по получению и накоплению данных по содержанию  $^{14}\text{C}$  в компонентах окружающей среды.

### **Материалы и методы исследования**

Для получения данных о содержании  $^{14}\text{C}$  в компонентах окружающей среды в 2022-2023 гг. был произведен отбор проб вокруг предприятий города, связанных с атомной отраслью – АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» и АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

За два года было отобрано порядка 150 проб. Подготовка проб была осуществлена с помощью прибора Sample Oxidizer A307. Предварительно высушенные, измельченные и гомогенизированные образцы сжигали на приборе, который осуществляет окисление пробы и сбор образовавшихся при этом радионуклидов в индивидуальные счетные флаконы.

Образец сжигается в потоке кислорода, в процессе его горения образуется двуокись углерода, которая улавливается при помощи химического уловителя (абсорбента углерода Carbo Sorb E). Абсорбент улавливает радиоактивную двуокись углерода и образует карбамат, который с помощью сцинтиллятора для измерения  $^{14}\text{C}$  Permafluor E смывается в счётный флакон для сбора  $^{14}\text{C}$ .

Перед сжиганием проб был проанализирован процесс химического гашения, который приводит к снижению эффективности регистрации и затруднению идентификации  $\beta$ -излучателей. В

зависимости от массы образца и количестве введенных реагентов были подобраны оптимальные условия для достижения максимальной эффективности счета.

Также были оценены параметр извлечения и эффект памяти, которые являются показателями правильной работы прибора. Извлечение метода было проверено путем сжигания проб с известной активностью  $^{14}\text{C}$  и сравнение их с несгоревшими пробами с той же активностью. Параметр извлечения составил 99%. При сжигании образцов с высокой активностью существует вероятность того, что часть активности останется в окислителе и высвободится при сжигании следующей пробы. Это называется эффектом памяти. Данный параметр проверяли путем сжигания проб с известной активностью  $^{14}\text{C}$  и сжиганием неактивного стандартного образца после каждого активного. Параметр памяти составил 0,06 %. Полученные данные о параметрах извлечения и эффекте памяти говорят о корректной работе прибора, так как установленные производителями критерии должны быть выше 97% для извлечения и ниже 0,08 % для памяти [3].

Измерение подготовленных проб выполнялось методом жидкостной сцинтилляционной спектрометрии на приборе Quantulus-1220.

### **Результаты и обсуждения**

В таблице представлены результаты измерения содержания  $^{14}\text{C}$  в компонентах природной среды.

Удельная активность  $^{14}\text{C}$  в пробах травы находилась в пределах от 77 до 179 Бк/кг, в пробах грибов от 69 до 152 Бк/кг, в деревьях достигала 186 Бк/кг, в почве от 10 до 35 Бк/кг, в хвое от 109 до 166 Бк/кг.

Мониторинг содержания  $^{14}\text{C}$  в основном проводится вокруг АЭС. В работе [4] приведены данные об удельной активности  $^{14}\text{C}$  в пробах, отобранных вокруг Курской АЭС. Удельные активности  $^{14}\text{C}$  в пробах почвы составляли 40-90 Бк/кг, на промплощадке станции 70 Бк/кг, в пробах хвои ели 140-270 Бк/кг, в наземных частях растений – 55-170 Бк/кг, корнеплодах – 60-120 Бк/кг.

**Таблица 1 – Удельная активность  $^{14}\text{C}$  в пробах, отобранных вокруг предприятий г. Обнинска**

Компонент ОС	Удельная активность $^{14}\text{C}$ , Бк/кг	
	2022 год	2023 год
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» (8 точек отбора)		
трава	(126±24) - (171±36)	(85±25) - (134±32)
почва	(28±13) - (35±15)	(10±5) - (31±12)
деревья	186±46	(75±27) - (147±32)
грибы	-	(69±24) -(152±34)
АО «НИФХИ им. Л. Я. Карпова» (7 точек отбора)		
трава	(85±20) - (179±34)	(77±24) - (121±39)
деревья	(136±30) - (213±41)	(115±25) - (138±28)
хвоя	(120±29) - (166±37)	(109±27) - (122±31)
грибы	144±28	(77±17) - (146±28)

В 2014-2016 гг. проводились радиоэкологические обследования в районе строительства Балтийской АЭС, содержание  $^{14}\text{C}$  в пробах лесной растительности составляла от 111 до 214 Бк/кг [5].

Удельная активность  $^{14}\text{C}$  в пробах, отобранных на территории г. Обнинска, соответствует фоновым значениям, полученным

в ходе радиационно-экологических обследований вокруг строящейся АЭС.

В продолжении данной работы будет проанализировано содержание  $^{14}\text{C}$  в основных продуктах питания населения города для последующей оценки вклада в ожидаемую эффективную дозу внутреннего облучения.

### Список литературы

1. Рублёвский В.П. Роль углерода-14 в техногенном облучении человека. [Текст] / В.П. Рублёвский, В. Н. Яценко, Е. Г. Чанышев. – М.: ИздАт, 2004. – 197 с.
2. Василенко И.Я. Радиоактивный углерод [Текст] / И.Я. Василенко, В. А. Осипов, В. П. Рублёвский // Природа. – 1992. – №12. – С. 59-65.
3. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию «Система автоматической пробоподготовки образцов модель А307 Sample Oxidizer» PerkinElmer
4. В.Г. Барчуков, О.А. Кочетков, В.Н. Клочков, Н.А. Еремينا, П.П. Сурин, А.А. Максимов, Д.И. Кабанов, В.К. Величко, Н.А. Богданенко, Ж.И. Алсагаев. Распределение углерода-14 в окружающей среде при нормальных условиях эксплуатации Курской АЭС//Медицинская радиология и радиационная безопасность.2023. Т.68. №1. С.25-33.
5. Мониторинг природных и аграрных экосистем в районах расположения атомных электростанций: Труды ФГБНУ ВНИИРАЭ. Выпуск 3 / Под ред. проф. С.В. Фесенко. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2020.– 170 с.

# RESEARCH ON THE CONTENT OF RADIOCARBON IN THE COMPONENTS OF THE NATURAL ENVIRONMENT IN THE CITY OF OBNINSK

*Zubacheva A.A., Katkova M.N., Baratova Z.A., Tarasenko A.A.*

## **Abstract**

Determination of  $^{14}\text{C}$  content in components of the natural environment selected on the territory of Obninsk was carried out as part of the development of measurement techniques in accordance with the plan of scientific research and technological work of Roshydromet. The samples were measured using liquid scintillation spectrometry on a Quantulus-1220 low-background radiometer using the Sample Oxidizer A307 automatic sample preparation system.

**Keywords:** radiocarbon, liquid scintillation spectrometry method, specific activity  $^{14}\text{C}$

## **ОБРАЗОВАНИЕ**

## **ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Александрова О. П., Онищук Е. А.*

Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Техническая академия Росатома»  
249031, Калужская обл., г. Обнинск

Принятая в РФ терминологически классификация относит ядерную медицину к составляющей радиационной медицины – общей медицинской отрасли, систематически использующей источники излучения в целях диагностики и терапии заболеваний. К ядерной медицине принято относить технологии и инструментальные средства (СПЕКТ/СТ/MRI, ПЕТ/СТ/MRI) и подразделения радионуклидной диагностики (ПРНД), радионуклидной терапии (ПРНТ), микроисточниковой и микросферной брахитерапии. Методы лучевой терапии, основанные на ускорителях электронов, адронов, брахитерапию с использованием радионуклидных источников высокой мощности дозы – принято относить к остальной части радиационной медицины.

В 2015 г. в Российской Федерации (РФ) зарегистрировано 298 подразделений радионуклидной диагностики (ПРНД) в 84 населённых пунктах. Действующих ПРНД – 262 в 78 населённых пунктах. Около 50% ПРНД приходится на Москву (96) и Санкт-Петербург (26). По результатам исследований, проведенных «Санкт-Петербургским научно-исследовательским институтом радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» (Роспотребнадзор РФ), количество диагностических планарных гаммакамер в РФ в 2018г. составляло 71, СПЕКТ – 77, СПЕКТ /СТ – 93. К настоящему времени количество ПЕТ-центров, по данным ФМБА, оснащённых ПЕТ-сканерами (совмещённых с /СТ/MRI) составляет 48. В настоящее время количество функционирующих и строящихся центров и ПРНТ в РФ составляет порядка 20. Количество существующих и вновь организуемых отделений микроисточниковой брахитерапии – также порядка 20.

За последнее время специалистами Санкт-Петербургского НИИ радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева, а также – Федеральным медицинским биофизическим центром им А.И. Бурназяна, в сотрудничестве с рядом ВУЗов и клинических центров, были проведены обстоятельные исследования состояния радиационной безопасности (РБ) и радиационной защиты (РЗ) в ряде учреждений ядерной медицины РФ. Было показано, что, в основном, действующая клиническая практика не приводит к критическому превышению допустимых значений эффективных годовых доз облучения персонала в ПРНД. В то же время, локальные – эквивалентные годовые дозы облучения в области хрусталиков глаз, кожных поверхностей, особенно рук, могут в разы превышать допустимые уровни облучения. Этими исследованиями было также показано, что используемые регламенты и способы проведения ядерно-медицинских процедур в большом числе случаев не оптимальны, часто приводят к избыточному облучению организма пациентов, в том числе, и детей. При использовании некоторых радиофармпрепаратов годовые дозы облучения, полученные пациентами (в том числе, детьми,) могут в разы превышать допустимые значения. Большой частью такие неутешительные итоги обусловлены также тем, что реализация радиационного контроля (РК) в этих подразделениях, обеспечение РБ и РЗ персонала и пациентов, находятся на низком уровне. Во множестве ПРНД зачастую игнорируется степень опасности используемых ИИИ, систематически нарушаются нормативные требования; регламентная документация в части обеспечения РБ и ядерной безопасности (ЯБ) ведётся, либо со значительными нарушениями, либо – в неполном объёме. В связи с этими фактами, ведущими специалистами в области РБ медицинской сферы настоятельно указывается на необходимость кардинального реформатирования ПРНД посредством оснащения (или дооснащения) их полноценными квалифицированными службами в части РБ и РК, а также посредством систематического повышения их квалификации в этих специальностях.

Повышение квалификации специалистов подразделений радиационной медицины (в данном случае – подразделений ядерной медицины), по направлениям — радиационная безопасность, радиационная защита, радиационный контроль, является

одним из важнейших требований законодательств РФ для персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения (ИИИ). Периодичность прохождения обучения в РФ — 1 раз в 5 лет (№3-ФЗ от 09.01.1996 г «О радиационной безопасности населения»).

В настоящее время в РФ отсутствует единая система повышения квалификации и переподготовки персонала учреждений ядерно-медицинского профиля в области РБ и РЗ. Потребности в таких услугах, как правило, удовлетворяются в случайных организациях, имеющих соответствующую лицензию на право обучения, но не являющихся профильными для области ядерной медицины, и, как правило, малознакомых со спецификой её деятельности. С целью организации системного подхода в этой области, нами, в рамках АНО ДПО «Технической Академии Росатома», разработаны Программа и материалы Курсов повышения квалификации специалистов клиник, отделений и центров ядерной медицины, по направлениям «Радиационная безопасность, радиационный контроль и нормативное сопровождение в технологиях радионуклидной диагностики, радионуклидной и микроисточниковой терапии». Основной целью Программы является развитие компетенций руководителей и специалистов отделений и центров ядерной медицины в части нормативной и методической базы обеспечения РБ и дозиметрического контроля, а также – повышение их квалификации в области обеспечения РБ и РЗ персонала, а также населения, проживающего на прилегающей к ядерно-медицинскому центру территории. Настоящая Программа ориентирована в основном на действующий персонал ПРНД: руководителей, врачей- радиологов, радиотерапевтов, инженерно-технический персонал, включая специалистов – медицинских физиков, инженеров-физиков, техников, а также лиц, непосредственно ответственных за РБ и РК в следующих подразделениях: РНД; радионуклидной терапии; микроисточниковой брахитерапии; брахитерапии с использованием меченых микросфер. Также потенциальными слушателями Программы являются: специалисты инжинирингового сегмента ядерной медицины относящегося к проектированию и строительству объектов ядерной медицины; специалисты служб сервиса радиационного диагностического, терапевтического и вспомогательного оборудования; специали-

сты технических служб сбора и обращения с радиоактивными отходами, и др.; преподаватели профильных вузов и отделений вузов; специалисты и научные сотрудники профильных научно-исследовательских учреждений Минздрава РФ и РАН; сотрудники экспертных служб; специалисты центров сертификации радиационно-измерительного и радиационно-контрольного оборудования для медицинских учреждений; сотрудники профильных департаментов и головных органов управления Минздрава РФ; руководители и профильные специалисты региональных органов Минздрава РФ; сотрудники профильных департаментов головных органов, руководители и профильные специалисты региональных органов Роспотребнадзора РФ; сотрудники профильных департаментов головных органов, руководители и профильные специалисты региональных органов ФМБА; в системе Росатома: специалисты предприятий, специализирующихся в области производства радионуклидных генераторов, радионуклидов медицинского назначения и РФЛП; сотрудники предприятий, специализирующихся в области производства радиационно-технологического оборудования – диагностического и терапевтического, а также – вспомогательного оборудования, материалов и компонентов; специалисты предприятий, специализирующихся в области производства радиационно-измерительного оборудования – для нужд ядерно-медицинской отрасли.

Краткое содержание Программы: 1) Радиационная безопасность в ядерной медицине. 2) Нормирование облучения пациентов и персонала при проведении ядерно-медицинских процедур. 3) Обеспечение радиационной безопасности населения и лиц, контактирующих с пациентом после проведения ему ЯМП. 4) Обращение с радиоактивными отходами (РАО). 5) Предупреждение и ликвидация последствий радиационных аварий (РА). 6) Методическое обеспечение радиационного и дозиметрического контроля в отделениях радионуклидной диагностики и отделениях радионуклидной терапии. 7) Технические требования к средствам измерения для дозиметрического контроля. 8) Нормативная документация, действующая в области ядерной медицины и вопросы гармонизации нормативной документации ядерно-медицинской сферы РФ и МАГАТЭ

Во время прохождения Курса обучения слушатели должны усовершенствовать свои компетенции в следующих направлениях:

1) в Компетенции «Гарантия качества средств и технологий ядерной медицины» слушатели должны подтвердить умение: а) выбирать значения физико-технических параметров и режимов визуализации на гамма-камерах и гамма-томографах, оптимальных для выполнения планируемого РНД исследования; б) продемонстрировать представительный объём знаний по следующим темам: технологии получения радионуклидов и средств медицинского назначения (реакторы, циклотроны, радионуклидные генераторы, микроисточники для брахитерапии); принципы действия и основные радиационно-физические характеристики генерирующих источников ионизирующих излучений, в том числе, рентгеновских аппаратов и циклотронов; основы синтеза и клинического применения диагностических и терапевтических РФЛП; основы клинического применения микроисточников для брахитерапии.

2) в Компетенции «Дозиметрическое обеспечение радионуклидной терапии» слушатели должны подтвердить умение: а) выбирать оптимальный вариант физико-технического оснащения подразделения ядерной медицины радиационно-измерительным оборудованием: дозиметрическим, радиометрическим, спектрометрическим; б) продемонстрировать представительный объём знаний по следующим темам прикладной радиационной физики: радиоактивный распад; средства и методы детектирования ионизирующих излучений; прохождение ионизирующих излучений через вещество; основы радиобиологического действия ионизирующих излучений на организм человека; дозиметрия внутреннего облучения пациентов при инкорпорировании им РФЛП/брахитерапевтических источников; средства и методы дозиметрии и радиометрии источников ионизирующих излучений.

3) в Компетенции «Обеспечение радиационной безопасности в ядерной медицине» слушатели должны подтвердить умение: а) выбирать оптимальный вариант физико-технического оснащения подразделения ядерной медицины радиационно-контрольным оборудованием: дозиметрическим, радиометрическим. Владеть технологиями проведения дозиметрических и ра-

диометрических измерений с помощью аппаратуры радиационного контроля. Правильно интерпретировать результаты радиометрических и дозиметрических измерений. Оценивать параметры надежности радиационной защиты персонала и населения; б) продемонстрировать представительный объем знаний по следующим темам: Средства и методы радиационного контроля в подразделениях ядерной медицины; дозовые пороги возникновения местных радиационных поражений; обоснование уровней профессионального облучения на рабочих местах персонала; дозиметрия внешнего облучения персонала при воздействии излучения РФЛП/брахитерапевтических источников, инкорпорированных пациентам.

4) в Компетенции «Обеспечение радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды» слушатели должны подтвердить умение: а) рассчитывать радиационную защиту рабочих помещений: «горячей» лаборатории (приготовление и фасовка РФЛП); процедурной введения РФЛП пациентам; помещения временного хранения РАО; помещений выдержки пациентов перед сканированием и после сканирования на гамма-камере; помещений с гамма-камерами: ОФЭКТ- и ПЭТ-сканерами, в том числе, и ОФЭКТ/КТ- и ПЭТ/КТ-сканерами; «активных» палат в подразделении РНТ; каньона с циклотроном для ПЭТ-комплекса радионуклидных исследований; помещения подготовки микроисточников для проведения процедуры микроисточниковой брахитерапии; процедурной проведения микроисточниковой брахитерапии под рентгеновским контролем. б) Контролировать правильность расчетного определения эффективных доз медицинского облучения пациентов при проведении РНД исследований и РНТ/микроисточниковой брахитерапии, включая: индивидуальный дозиметрический контроль персонала; контроль уровня мощности эквивалентной дозы внешнего облучения непосредственно на рабочих местах персонала, в том числе и в полях смешанных ионизирующих излучений; контроль адекватности защитных характеристик индивидуальных, коллективных и стационарных средств радиационной защиты персонала; контроль процессов сбора, хранения и удаления твердых, жидких и газо-аэрозольных радиоактивных отходов из подразделений ядерной медицины; контроль уровней загрязнения радиоактив-

ными веществами рабочих поверхностей, оборудования, транспортных средств, средств индивидуальной защиты, кожных покровов и одежды персонала. в) Определять эффективные и органичные дозы внутреннего облучения пациентов, проходящих РНД исследования/РНТ, микроисточниковую брахитерапию.

Слушатели должны продемонстрировать представительный объём знаний по следующим темам: а) Принципы, методы и средства радиационного контроля: адекватности радиационной защиты рабочих помещений радиологического корпуса; индивидуальной дозиметрии персонала; дозиметрии уровней профессионального облучения на рабочих местах персонала; аварийной дозиметрии; радиометрии закрытых и открытых радионуклидных и генерирующих источников излучения; обращения с твердыми, жидкими и газо-аэрозольными радиоактивными отходами, образующимися в подразделениях радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии / микроисточниковой брахитерапии; б) Принципы и технологии обеспечения радиационной безопасности окружающей среды, пациентов, персонала, отдельных лиц из населения, контактирующих с пациентами после выписки из клиники.

5) в Компетенции «Соблюдение требований нормативных документов, регулирующих вопросы радиационной безопасности, радиационного и дозиметрического контроля» слушатели должны подтвердить умение: Устанавливать допустимость выписки пациента из клиник после проведенного курса РНТ/микроисточниковой брахитерапии, основываясь на результатах измерений остаточной активности РФЛП в теле пациента, или/и уровня мощности дозы гамма-излучения, исходящего из тела пациента - с последующим сопоставлением результатов измерений с действующими нормативами. Проводить расчеты допустимых уровней облучения лиц, контактирующих с больным после его выписки из подразделения радионуклидной терапии/микроисточниковой брахитерапии - с целью составления индивидуальной памятки для пациента по запрету и (или) ограничению указанных контактов.

Слушатели должны продемонстрировать представительный объём знаний по следующим темам: Требования нормативных документов, технических регламентов и стандартов по обеспече-

нию радиационной безопасности: а) пациентов, подвергаемых медицинскому облучению; б) персонала, подвергаемого профессиональному облучению; в) отдельных лиц из населения при контакте с пациентами при проведении радиологических процедур; г) окружающей среды на территории медицинской организации; д) профилактики, обнаружения и устранения последствий возможных радиационных аварий в подразделениях ядерной медицины: лучевой (рентгеновской и радионуклидной) диагностики и РНТ/микроисточниковой брахитерапии.

Важной особенностью разработанной Программы и учебных материалов Курса является привлечение дополнительной содержательной информации, аккумулированной по результатам различных профессиональных научных разработок, большей частью - полученных авторами данной Программы. Такой подход позволяет значительно повысить качество учебного процесса и его результативность, поскольку предоставляет слушателям знания, имеющие строгое научное обоснование, которое по многим параметрам компенсирует недостаточность отдельных требований и положений существующей нормативной документации. Помимо этого, при таком подходе, слушатели получают квалифицированный инструктивный материал, направленный на различные аспекты совершенствования и оптимизации РБ и РЗ в подразделениях ядерной медицины. Никаких альтернативных вариантов получения подобной полезной информации на данный момент просто не существует.

Методическую и практическую образовательную базу данной Программы и материалов Курса составляют большой опыт и материалы научно-практических разработок и исследований в области ядерной медицины, которые на протяжении 30 лет проводились группой высококвалифицированных специалистов, с участием разработчиков и организаторов настоящего Курса повышения квалификации, и входящих в Научную школу в области «Радиационной медицинской физики» (далее – научная школа), созданную и функционирующую в г. Обнинске (Калужская область) под рук. профессоров – д.ф.-м.н., Е.С. Матусевича и д.ф.-м.н. Ю.А. Кураченко, и к.ф.-м.н. А. Н. Клёпова. В свою очередь, научная школа является естественным продолжением и опирается на достижения Обнинской научной Ядерно-физической Шко-

лы, позиционирующей в области ядерной энергетики, и имеющей 70-летнюю историю. В развитие этой отрасли проф. Е.С. Матусевич, Ю.А. Кураченко, и их коллеги внесли существенный вклад в следующих направлениях: теоретические, расчётные, экспериментальные исследования и разработки, испытания, в области ядерно-реакторной физики и реакторной технологии; в области создания новых и модернизации имеющихся реакторных ядерных установок; в области моделирования и проектирования испытательных ускорительных и генерирующих систем; в области моделирования и проектирования устройств наработки радионуклидов промышленного и медицинского назначения; в области РЗ и РБ ядерно-энергетических установок и ускорительных систем; в области теоретической, приборной дозиметрии и радиометрии; в области РК в ядерно-энергетической сфере и радиозоологии; в области моделирования, проектирования, испытаний РЗ, дозиметрического обоснования, реакторных и ускорительных систем нейтронной и адронной терапии в целом, и др. Большинство этих разработок было выполнено на базе или в сотрудничестве с рядом организаций: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», ФТЦ ФИАН (г. Протвино), ОИЯИ, рядом ведущих предприятий Госкорпорации «Росатом»: ГНЦ Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского, АО НИФХИ им. Л.Я. Карпова, Институт реакторных материалов, и др. Специалистами научной школы был реализован большой объём разнообразных научных и прикладных разработок в области ядерной медицины, применительно: к проблеме дозиметрического обоснования новых отечественных РФЛП и других ИИИ медицинского назначения; к задачам повышения эффективности РНД (проводимой на базе гамма-камер); к проблеме индивидуального дозиметрического планирования, дозиметрического сопровождения и контроля радионуклидной терапии, брахитерапии с применением низкоэнергетических источников излучения, брахитерапии с применением меченых микросфер, эндоуретральной брахитерапии на основе РФЛП; к вопросам РБ и РЗ отделений ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ; к вопросам РБ персонала и РЗ отделений радионуклидной терапии; РБ и РЗ персонала отделений брахитерапии с применением низкоэнергетических источников излучения, брахитерапии с применением мече-

ных микросфер, эндоуретральной брахитерапии на основе РФЛП. В значительной части эти разработки были посвящены также задачам проектной оптимизации РЗ и оптимизации элементов технологического обеспечения ядерно-медицинских подразделений, исходя из требований РБ персонала. Большинство данных разработок проводились при участии ряда специалистов «ОИАТЭ – филиал НИЯУ МИФИ», в тесном сотрудничестве и на базе таких известных медицинских центров, как МРНЦ им А. Ф. Цыба Минздрава РФ, Онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина Минздрава РФ, а также в сотрудничестве с заводом «Медрадио-препарат» ФМБА РФ. Ряд разработок научной школы были выполнены в рамках нашего сотрудничества с частными компаниями, в том числе, с научно-исследовательской фирмой «ДИОНИС», разрабатывающими или внедряющими в РФ новые ядерно-медицинские технологии и ядерно-медицинские центры. В настоящее время в рамках этой Школы эти работы активно продолжаются. Также, в содержании заявленного Курса будут использованы материалы прикладных разработок и опыт участия указанных специалистов (включая опыт участия разработчика данного Курса) в проектировании и методическом сопровождении при строительстве и введении в эксплуатацию ряда ядерно-медицинских центров и отделений в РФ за последние 11 лет, а также опыт участия в разработке нормативной документации в области ядерной медицины. Часть полученных нами научных результатов в указанных областях ядерной медицины, которые мы используем и планируем использовать в рамках разработанной Программы, вошли: в состав научно-исследовательских и научно-прикладных отчётов НИР сотрудничающих с нами научных организаций, в том числе, завода «Медрадио-препарат» ФМБА РФ, МРНЦ им А. Ф. Цыба Минздрава РФ, научно-исследовательской организации НПП «ДИОНИС» (г. Обнинск), других частных научно-производственных компаний, в изданные монографии и практические Руководства, в ряд диссертационных работ наших сотрудников, в дипломные разработки выпускников ОИАТЭ, а также были изложены в ряде многочисленных публикаций, в том числе, в [1-17].

Организатор заявленной Программы – АНО ДПО «Техническая академия Росатома» – специализируется на дополнитель-

ном профессиональном образовании, профессиональной переподготовке руководителей и специалистов в области использования атомной энергии, аттестации персонала, в том числе, медицинских учреждений, использующих ИИИ. Организация является образовательным, научно-методическим центром Госкорпорации «Росатом», располагает высококвалифицированными преподавателями и экспертами, имеющими, как правило, большой опыт практической деятельности на различных ядерных объектах. Также, Академия располагает необходимой материально-технической базой и всем необходимым методическим и образовательным инструментарием для осуществления эффективного образовательного процесса. По окончании учебного Курса слушателям, успешно освоившим дополнительную профессиональную программу и прошедшим итоговую аттестацию, выдаются удостоверение установленного образца о повышении квалификации (ч. 3 ст. 60, ч. 15 ст. 76 Закона N 273-ФЗ, п. 19 Порядка).

#### Список литературы

1. А.Н. Клепов, Ю.А. Кураченко, Е.С. Матусевич, В.А.Левченко. «Применение методов математического моделирования в ядерной медицине»/ Под ред. докт. физ.-мат. наук Е.С. Матусевича. Монография. – Обнинск: Из-во «СОЦИН». 2006. – 204 стр.
2. Александрова О.П., Клепов А.Н., Кураченко Ю.А., Матусевич Е.С., et al. Дозиметрическое обоснование брахитерапии рака печени и поджелудочной железы с использованием наноструктурированных микросфер с  $^{32}\text{P}$ // Альманах клинической медицины. Т. XVII, Ч. 1, Медицинская физика и инновации в медицине, 2008 г., с. 321-324.
3. А.Ф. Цыб, А.В. Древаль, П.И. Гарбузов, А.Н. Клепов, О.П. Александрова, et al. «Радиотерапия тиреотоксикоза»/ Руководство. – М.: «ГЭОТАР-Медиа». 2009. –160 с.
4. Александрова О.П., Матусевич Е.С., Клёпов А.Н., Снигирев Е.В., Кураченко Ю.А. Обоснование радиационной без-

опасности амбулаторного применения  $^{153}\text{Sm}$ -оксабифора в радионуклидной терапии костных метастазов// Техногенные системы и экологический риск: Материалы докладов VI Региональной научной конференции / Под общ. ред. академика РАЕН Г.В. Козьмина. – Обнинск: ИАТЭ, 2009 г., с. 111-115.

5. Александрова О.П., Клепов А.Н., Кураченко Ю.А., Матусевич Е.С., Кузнецов М.А. Возможность обеспечения радиационной безопасности при брахитерапии рака предстательной железы с применением микроисточников Cs-131// Материалы конференции Российского общества онкоурологов, Российской ассоциации терапевтических радиационных онкологов и Ассоциации лучевых диагностов «Диагностическая и терапевтическая радиология в онкоурологии», Онкоурология, - 2008г. с. 16-17.

6. Кураченко Ю.А., Александрова О.П., Клёпов А.Н., и др. Методика планирования доз облучения контактирующих с пациентом лиц после брахитерапии микроисточниками  $^{125}\text{I}$  рака предстательной железы// Черемшанские чтения: Сборник докладов международной школы-семинара: В трёх частях. – Димитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – часть 2. – с. 67-80.

7. Александрова О.П., Клёпов А.Н., Снигирёв Е.В., Матусевич Е.С. Методы обеспечения радиационной безопасности и дозиметрии радионуклидной терапии костных метастазов// Черемшанские чтения: Сборник докладов международной школы-семинара для студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов: В трёх частях. – Димитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – часть 2. – с. 153-165.

8. Ю.А. Кураченко, А.Н. Клёпов, О.П. Александрова, М. С. Калистая, Д. О. Дубинкин Оптимизация защиты помещений ПЭТ-центра// XIV Международная конференция «Безопасность АЭС и подготовка кадров». Тезисы докладов. (Об-

нинск, 25 - 27 ноября 2015 г.). Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. – 296 с. - с. 188 – 189.

9. Снигирев Е.В., Клёпов А.Н., Александрова О.П., Кураченко Ю.А. Анализ биологической защиты персонала на стадии подготовки процедуры брахитерапии медицинским средством на основе микросфер с  $^{90}\text{Y}$ // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: Сборник тезисов 10-й юбилейной Российской научной конференции. г. Москва – г. Обнинск, 2015 г. - г. Обнинск: НОУ ДПО «ЦИПК Росатома»; 2015 С. 230–231.

10. Кураченко Ю.А., Александрова О.П., Клёпов А.Н. Оптимизация параметров «внешней» радиационной безопасности ПЭТ-центра на базе циклотрона с встроенной биологической защитой// Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: Сборник тезисов докладов 10-й юбилейной Российской научной конференции. г. Москва – г. Обнинск, 22-25 сентября 2015 г. - г. Обнинск: НОУ ДПО «ЦИПК Росатома»; 2015. С. 323–324.

11. Кураченко Ю.А., Александрова О.П., Клёпов А.Н. Численное исследование радионуклидных примесей и дозовой обстановки в бункере ПЭТ-циклотрона, обусловленных активацией// Сборник научных работ лауреатов областных премий и стипендий. Выпуск 11. – Калуга: КГУ им. К.Э. Циолковского, 2015, с. 4-14.

12. Кураченко Ю.А., Александрова О.П. Клёпов А.Н. Методы расчёта полей излучений и биологической защиты циклотронов для протонной лучевой терапии и ПЭТ-диагностики// Будущее атомной энергетики. XIII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов: тезисы докладов (Обнинск: 27-30 ноября 2017) – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2017- с. 207-208

13. Клёпов А.Н., Фадеев М. Н. Александрова О.П Особенности методики расчёта радиационной защиты медицинских линейных ускорителей// Будущее атомной энергетики. XIII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов: тезисы докладов (Обнинск: 27-30 ноября 2017) – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2017- с. 205-207
14. Александрова О.П., Клёпов А.Н. Дозиметрические критерии безопасной радионуклидной терапии метастазов в кости большими активностями радиофармпрепаратов на основе  $^{153}\text{Sm}$ // В книге: Медицинская физика (ТКМФ-7). Сборник тезисов VII Троицкой конференции с международным участием. Москва, 2020. - С. 236-237.
15. Кураченко Ю.А., Матусевич Е.С., Грудзевич О.Т., Клёпов А.Н., Александрова О.П. Научная школа по медицинской физике и ядерной медицине в ИАТЭ НИЯУ МИФИ// В книге: Медицинская физика (ТКМФ-7). Сборник тезисов VII Троицкой конференции с международным участием. Москва, 2020. С. 254-255.
16. Nguyen Q.C., Aleksandrova O.P., Garbuzov P.I., Klyopov A.N., Krylov V.V. Modeling of external radiation doses from patients undergoing radioiodine therapy for hyperthyroidism and thyroid cancer//«Техногенные системы и экологический риск»: Тезисы докладов IV Международной (XVII Региональной) научной конференции / Под общ. ред. А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2021. – 521 с. – С. 395-397.
17. О.П. Александрова. Культура радиационной безопасности в ядерно-медицинской отрасли//«ТехНАДЗОР». № 4 (183), апрель, 2022. - С. 29.

# **ADVANCED TRAINING PROGRAM FOR PERSONNEL OF NUCLEAR MEDICINE DEPARTMENTS IN THE FIELD OF RADIATION SAFETY**

*Aleksandrova O. P., Onishchuk E. A.*

## **Annotation**

On the basis of the «Rosatom Technical Academy», a program, methodological and lecture materials of advanced training courses for specialists in the nuclear medicine have been developed on the topic «Radiation safety, radiation control and regulatory support in technologies of radionuclide diagnostics, radionuclide and micro-source therapy». The program is based on the current regulatory documents of the Russian Federation, using the results of many years of scientific and practical research by the authors in the field of radiation safety of personnel and radiation protection of nuclear medicine units, dosimetric developments in radionuclide therapy and micro-source brachytherapy.

Key words: nuclear medicine, additional professional education, radionuclide diagnostics, educational programs, advanced training, radiation safety.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

*Карпенко А. Я., Правосуд С. С., Нарзыкулов Н. Б., Брежнев А. И.,  
Тимошинов А. В.*

Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Техническая академия Росатома»  
Калужская обл., г. Обнинск

### Аннотация

В статье рассматриваются современные методы и технологии обучения, применяемые для повышения квалификации персонала в атомной отрасли, включая использование системного подхода (СПО) и активных методов (АМО). Анализируются преимущества и перспективы применения новых образовательных технологий.

В современном стремительно развивающемся мире требуются постоянное обновление знаний и навыков, поэтому регулярное повышение квалификации персонала становится необходимостью для успешной деятельности организаций, в том числе и в атомной отрасли. Последние исследования показали, что атомная отрасль стала особенно чувствительной к привлечению талантливого персонала в связи с усложнением технологических цепочек [1]. Эффективное обучение и развитие специалистов играют ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности работы на атомных электрических станциях согласно международным требованиям [2].

Для достижения оптимальных результатов в процессе повышения квалификации персонала в атомной отрасли все чаще применяются системный подход к обучению и активные методы обучения. Системный подход, рекомендованный МАГАТЭ, позволяет рассматривать процесс обучения как целостную систему, учитывая взаимосвязь всех компонентов образовательного процесса [3]. Применение системного подхода к обучению персонала в атомной отрасли является ключевым элементом успешной про-

граммы повышения и поддержания квалификации специалистов. Исследование [4] подчеркивает роль активного обучения в процессе подготовки кадров для ядерной промышленности. Там же отмечено, что использование системного подхода позволяет эффективно структурировать образовательный процесс и учитывать все аспекты профессионального развития сотрудников. Исследования и рекомендации подтверждают, что системный подход к обучению является эффективным инструментом для повышения качества подготовки персонала в атомной отрасли и способствует улучшению безопасности и эффективности работы в данном секторе.

Активные методы обучения, которые применяются в рамках лекционных и практических занятий, в свою очередь, способствуют более глубокому усвоению материала, развитию критического мышления и практическим навыкам [5]. Кроме того, различные работы рекомендуют в качестве активных методов использование деловых игр [6]. Учебное пособие, разработанное в рамках деятельности Технической академии Росатома [7] для персонала систем аварийного реагирования, использует в том числе и деловые игры.

В связи с высокой эффективностью системного подхода к обучению для достижения высокого уровня компетентности персонала, который содержит логическую последовательность действий начиная от определения уровня знаний, умений и навыков (ЗУН), необходимых для выполнения работы, до разработки учебно-методических материалов, проведения обучения с последующей его оценкой, авторами статьи проанализирован системный подход к обучению персонала, использующийся при проведении курсов по направлениям «Метрология», а также «Учет и Контроль Ядерных Материалов, Радиоактивных Веществ и Радиоактивных Отходов».

### Список литературы

1. Leon Cizelj, Ivo Kljenak, Iztok Tiselj. Know-why? and know-how? in the development of nuclear talents: An analysis of recent nuclear engineering Ph. D. research. Nuclear Engineering

and Design, 415, 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112734>

2. IAEA, 2022. Recruitment. Qualification and Training of Personnel for Nuclear Power Plants, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Vienna

3. IAEA Nuclear Energy Series. Systematic Approach to Training for Nuclear Facility Personnel: Processes, Methodology and Practices, 2021, Vienna

4. Jeong Keun Kwak. Systematic Approach to Training for Design of Nuclear Power Plant Decommissioning Training in South Korea. Journal of Physical Science and Application 6 (5) (2016) 14-20 doi: 10.17265/2159-5348/2016.05.003

5. Stephen U. Egarievwe Development of Active-Learning Units in Nuclear Engineering EPJ Web of Conferences 253, 10003 (2021) <https://doi.org/10.1051/epjconf/202125310003>

6. Dicheva, Darina et al. “Gamification in Education: A Systematic Mapping Study.” J. Educ. Technol. Soc. 18 (2015): 75-88.

7. Карпенко А. Я., Агапеев С. А., Брежнев А. И., Полоус М. А. Применение системного подхода для подготовки персонала системы аварийного реагирования. Учебное пособие. Обнинск: АНО ДПО «Техническая академия Росатома», 2022

## **MODERN APPROACHES OF THE NUCLEAR INDUSTRY PERSONNEL ADDITIONAL TRAINING**

*Karpenko A.Ya., Pravosud S. S., Narzykulov N.B., Brezhnev A.I.,  
Timoshinov A.V.*

### **Annotation**

This article explores modern methods and technologies for enhancing the qualification of personnel in the nuclear industry, includ-

ing systematic approach to training (SAT) and active learning methods (ALM). The advantages and prospects of implementing new educational technologies are analyzed.

# СОЦИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА УРОВНЯ ПРАВОВОЙ ИНФОРМИРОВАННОСТИ ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО НАУКОГРАДА РОССИИ

*Пацула А.В., Колесникова Е.Д.*

Частное образовательное учреждение высшего образования  
«Среднерусский гуманитарно-технологический институт»  
Калужская обл., г. Обнинск

**Аннотация:** выявляется и раскрывается уровень правовой информированности школьников и студентов первого наукограда России. Исследование реализовано в рамках социального проекта «Правовое просвещение несовершеннолетних. Ты решаешь», посвященного комплексу образовательных мероприятий, направленных на повышение уровня правовой грамотности учащихся образовательных организаций г. Обнинска, а также на формирование у учащихся навыков адресного проектирования, позволяющего им проявлять активную гражданскую позицию в рамках правового поля.

**Ключевые слова:** социологическая диагностика, правовая информированность, школьники, студенты, первый наукоград России.

С 17 по 19 мая 2022 г. Среднерусским гуманитарно-технологическим институтом был проведен сравнительный социологический опрос учащихся старших классов общеобразовательных школ и студентов колледжа г. Обнинска Калужской области – первого наукограда России.

Объектом исследования выступали представления респондентов о каналах получаемого правового информирования.

Миссия (стратегическая цель) исследования состояла в сопоставлении и обобщении точек зрения опрошенных на правовое просвещение, разработке выводов и практических рекомендаций органам исполнительной, законодательной и судебной власти, общественным организациям Калужской области по обеспечению и совершенствованию системы правового обучения школь-

ников и студентов в регионе на среднесрочную и долгосрочную перспективы.

Объем и структура выборочной совокупности социологического опроса рассчитывались с учетом того, что в 20 школах г. Обнинска по состоянию на 2021 г. обучались более 15000 школьников, причем в это число входили и учащиеся 3 частных общеобразовательных учреждений. Количество школьников первого наукограда России систематически увеличивается – в среднем на 500 человек в год. В 2019 г. прирост школьников оказался особенно высоким – 920 человек. При этом в возрасте от 15 до 18 лет насчитывается более 3000 школьников. В 8 средних профессиональных образовательных учреждениях г. Обнинска в 2021 г. обучались более 7500 студентов, из них 1500 – в возрасте от 15 до 18 лет.

Для участия в социологическом опросе были отобраны 2 средние общеобразовательные школы и 1 колледж, что составляет 10% от общего числа школ наукограда и 12.5% от общего количества профессиональных училищ.

В двух школах были опрошены 54 учащиеся ( $N = 54$ ) 10 – 11-х классов в возрасте 16-18 лет, что равняется 1.7% от общего количества старшеклассников. В одном колледже были опрошены 48 студентов ( $N = 48$ ) в возрасте 16-18 лет, что составляет 3.2% от общего числа студентов профессиональных училищ.

В связи с этим важно подчеркнуть, что по своей структуре и удельному весу сформированная квотным методом выборочная совокупность ( $N = 102$ ) обеспечивает репрезентативность социологического исследования и достоверность полученных результатов.

Запланированные параметры выборочной совокупности были точно выдержаны в процессе проведения социологического опроса.

При расчете выборочной совокупности были использованы официальные документальные и статистические источники: 1.Официальный портал органов власти Калужской области (<https://admoblkaluga.ru>). 2.Официальный информационный портал Администрации МО «Город Обнинск» (<http://www.admobninsk.ru/obninsk/social-sphere/education/>).

**Таблица 1– ВОПРОС: ПО КАКИМ КАНАЛАМ ВЫ ПОЛУЧАЕТЕ ПРАВОВУЮ ИНФОРМАЦИЮ? (в % к числу опрошенных)**

	<b>Все респонденты</b>	<b>Школа № 1 им. С.Т. Шацкого</b>	<b>Школа № 13</b>	<b>Колледж</b>
Радио	2.6	4.8	0.0	1.6
Газеты	0.0	0.0	0.0	0.0
Телевидение	31.6	25.8	42.3	32.8
Интернет (правовые сайты)	53.3	50.0	42.3	60.9
Специальные уроки, занятия, семинары	7.9	11.3	7.6	4.7
Юридические клиники, бюро	2.0	3.2	3.9	0.0
Библиотечные и справочные информационно-правовые системы	2.6	4.9	3.9	0.0

**Таблица 2 – ВОПРОС: ПО КАКИМ КАНАЛАМ ВЫ БЫ ХОТЕЛИ ПОЛУЧАТЬ БОЛЬШЕ ПРАВОВОЙ ИНФОРМАЦИИ? (в % к числу опрошенных)**

	<b>Все респонденты</b>	<b>Школа № 1 им. С.Т. Шацкого</b>	<b>Школа № 13</b>	<b>Колледж</b>
Радио	2.7	4.8	0.0	1.5
Газеты	2.0	1.6	0.0	3.0
Телевидение	22.6	22.2	13.6	26.2
Интернет (правовые сайты)	48.0	47.6	54.6	46.2
Специальные уроки, занятия, семинары	16.0	9.5	27.3	18.5
Юридические клиники, бюро	4.7	7.9	4.5	1.5

Библиотечные и справочные информационно-правовые системы	4.0	6.4	0.0	3.1
--	-----	-----	-----	-----

Результаты социологического опроса школьников 10–11-х классов и студентов старших курсов колледжа позволили выявить и диагностировать спектр приоритетных каналов получения правовой информации. Ее можно определить в качестве массивов правовых актов и тесно связанных с ними справочных, нормативно-технических, научных, учебных и просветительских материалов, охватывающих разные сферы правовой деятельности в РФ и за рубежом.

Среди правовых информационных источников у опрошенных школьников и студентов доминируют:

- правовые сайты интернета (53.3%),
- телевидение (31.6%),
- специальные уроки, занятия, семинары (7.9%).

В связи с этим обращает на себя внимание тот факт, что, несмотря на погруженность современного поколения школьников и студентов в виртуальный мир интернета, они сравнительно высоко оценивают очное получение правовой информации на аудиторных занятиях, семинарах и специальных уроках.

По оценкам опрошенных, это обусловлено тем, что в интернете отсутствуют твердые гарантии достоверности и актуальности получаемой правовой информации, неудобен поиск по разрозненным сайтам, существуют ограничения в работе с текстовыми, цифровыми и графическими материалами.

Очевидными аутсайдерами среди источников получения правовой информации у респондентов выступают газеты (0.0%), юридические клиники, бюро (2.5%), библиотечные и справочные информационно-правовые системы (2.6%), а также радио (2.6%).

Наиболее диверсифицированные каналы получения правовой информации, включая радио, выбирают участвовавшие в исследовании старшеклассники Школы № 1 им. С.Т. Шацкого.

Как следует из эмпирических данных, представленных в таблице 2, опрошенные учащиеся и студенты хотели бы получать больше правовой информации в наиболее высокотехнологичных

и мобильных источниках, а также по такому каналу, как очное аудиторное общение с экспертами – носителями правовых знаний (16.0%).

Таким образом, результаты проведенного социологического исследования позволяют прийти к актуальному и важному выводу, заключающемуся в том, что условиях сложившегося в России информационного общества принципиально важно учитывать откуда черпают правовые данные представители поколения Z (поколения обозримого будущего), появившиеся на свет после 2003 г. Их ценности будут формироваться до 2033 г. События, формирующие ценности 15-18-летних: новая телекоммуникационная революция, интеграция телекоммуникаций, рост доступности и дифференциация гаджетов, смешение жизненных стилей, новые коды взаимодействия через телекоммуникационные устройства (мобильное видео, телеканалы и анимация в интернете, 3D-кино), цифровизация экономики, распространение и усиление военно-политических конфликтов между странами и союзами государств.

## **SOCIOLOGICAL DIAGNOSTICS OF THE LEVEL OF LEGAL AWARENESS OF SCHOOLCHILDREN AND STUDENTS OF THE FIRST SCIENCE CITY OF RUSSIA**

*Patsula A.V., Kolesnikova E.D.*

**Abstract:** The level of legal awareness of schoolchildren and students of the first science city in Russia identified and revealed. The research carried out within the framework of the social project “Legal enlightenment of minors. You decide,” dedicated to a set of educational activities aimed at increasing the level of legal literacy of students in educational organizations in Obninsk, as well as developing students’ targeted design skills, allowing them to demonstrate an active citizenship within the legal field.

**Keywords:** sociological diagnostics, legal awareness, schoolchildren, students, first science city of Russia.

## КРИТЕРИИ УСПЕШНОСТИ РАБОТЫ КАФЕДРЫ

*Карпенко А.Я., Волос М.М.*

Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования  
«Техническая академия Росатома»  
249031, Калужская обл., г. Обнинск

Предложен подход к разработке ключевых показателей успешности кафедры организации дополнительного профессионального образования. Приведены результаты апробации применения показателей, сформулированы выводы.

**Ключевые слова:** ключевые показатели успешности, вес показателя, апробация, мониторинг, развитие.

В системе дополнительного профессионального образования (ДПО) подразделения, осуществляющие обучение слушателей по дополнительным профессиональным программам повышения или поддержания квалификации, профессиональной переподготовки, – кафедры, учебно-методические центры, или ресурсно-кадровые центры (далее – кафедра), – являются основными.

Анализ работы кафедры, ее эффективности являются актуальной задачей в системе ДПО. Оценка эффективности образовательных организаций рассмотрена в ряде публикаций, например, [1]. Однако эффективность кафедры отраслевой организации ДПО исследована недостаточно. В статье представлены результаты количественной оценки эффективности кафедры организации ДПО на примере АНО ДПО «Технической академии Росатома» (Академии), полученные путем применения разработанных показателей успешности.

Цель разработки ключевых показателей успешности (КПУ) – обеспечение развития кафедры путем мониторинга показателей, сравнительного анализа, выявления слабых и сильных сторон кафедры, формирования новых целей, разработки плана развития кафедры. При разработке показателей, как правило, на них

накладывают ограничения. В данной работе на показатели и их расчет наложены следующие ограничения:

показатели должны быть численными, иметь вес для ранжирования по значимости и учитывать характерные для определенной кафедры факторы, такие как численность персонала, направления деятельности, обязательность программы,

расчет показателей должен быть основан на исходных статистических данных организации, должен базироваться на принципе независимости экспертных оценок, должен быть непрерывным в целях онлайн мониторинга и контроля значений КПУ.

Авторами предложен перечень КПУ кафедры отраслевой организации ДПО, приведенный в таблице 1. Перечень может быть изменен для другой образовательной организации ДПО.

Предложенные КПУ были ранжированы по значимости методом экспертных оценок. Руководители семи кафедр Академии, отличающихся спецификой деятельности, независимо оценили вес показателей по десятибалльной шкале, где 1 – наименьшая значимость, 10 – наибольшая значимость. Далее, оценки всех экспертов были просуммированы, представляя собой 100%. Сумма баллов экспертов по каждому показателю в дальнейшем делилась на итоговую сумму, являя собой вес показателя. Показателю с наибольшим весом присваивалась наибольшая значимость (табл.1).

**Таблица 1– Ключевые показатели успешности кафедры Академии и их вес значимости**

Обозначение	Название ключевого показателя эффективности кафедры	Вес
E <sub>1</sub>	Количество слушателей, обученных на кафедре	6,37
E <sub>2</sub>	Количество слушателей, обученных на кафедре, на одного сотрудника кафедры	6,64
E <sub>3</sub>	Количество публикаций сотрудников кафедры	5,31

Обозначение	Название ключевого показателя эффективности кафедры	Вес
E <sub>4</sub>	Уровень экспертности преподавателей кафедры	5,58
E <sub>5</sub>	Доход от обучения за год	8,10
E <sub>6</sub>	Доход от обучения за год на одного сотрудника кафедры	6,91
E <sub>7</sub>	Финансовый результат кафедры	8,37
E <sub>8</sub>	Финансовый результат на одного сотрудника кафедры	8,10
E <sub>9</sub>	Средняя оценка качества обучения от слушателей	6,11
E <sub>10</sub>	Количество аудиторных часов на одного преподавателя кафедры	7,04
E <sub>11</sub>	Количество программ ДПО	5,58
E <sub>12</sub>	Количество программ ДПО на одного сотрудника кафедры	5,18
E <sub>13</sub>	Средний возраст преподавателей кафедры	4,25
E <sub>14</sub>	Количество новых и востребованных программ ДПО	5,31
E <sub>15</sub>	Самая массовая программа ДПО	5,31
E <sub>16</sub>	Самая доходная программа ДПО	5,84

Некоторые показатели, являясь очевидными, отражают основные показатели успешности кафедры ДПО. Например, количество обученных слушателей, количество публикаций, доход от

обучения за год, количество программ ДПО. Однако значимость показателей различна.

Тремя наиболее значимыми показателями с точки зрения экспертов, имеющими наибольший вес значимости, оказались экономические показатели: «Финансовый результат кафедры» ( $E_7$ ), «Финансовый результат на одного сотрудника кафедры» ( $E_8$ ) и «Доход от обучения за год» ( $E_5$ ).

Три наименее значимых показателя – «Самая массовая программа ДПО» ( $E_{15}$ ), «Количество учебных программ на одного преподавателя кафедры» ( $E_{12}$ ), «Средний возраст преподавателей кафедры» ( $E_{13}$ ).

Финансовый результат кафедры рассчитывается как разница суммы все доходов кафедры, а именно от образовательной и научно-исследовательской деятельности, за вычетом всех расходов кафедры, а именно расходов на оплату труда и начислений, на издание учебно-методических материалов, командировочных расходов и других. Финансовый результат на одного сотрудника является удельным показателем, где в числителе стоит финансовый результат кафедры, а в знаменателе количество сотрудников кафедры.

Безусловно, следует оценивать и качество обучения как фактор, позволяющий в дальнейшем спрогнозировать количество слушателей, определить экономическую эффективность программ и загрузку преподавателей. В Академии реализовано автоматизированное анкетирование слушателей, числовые результаты и отзывы которого фиксируются в базе данных обучения. База данных является источником исходных данных для расчета средней оценки обучения и дальнейшего анализа обратной связи в целях совершенствования текущего обучения и разработки новых программ ДПО [2]. При анализе, на наш взгляд, целесообразно учитывать фактор обязательности проводимого обучения. Выявлено, что средние оценки обязательного обучения ниже, чем необязательного, несмотря на одинаковый учебно-методический материалы, одного и того же преподавателя и одного и того же формата обучения.

Отметим, что экспертность преподавателя влияет на образовательную и научно-исследовательскую деятельность. Предложено оценку экспертности определять с учетом отраслевых

особенностей по двум направлениям: участие в отраслевых советах и рабочих группах, и публикация результатов научно-исследовательской деятельности. Первое направление оценивается следующим образом: официальное удостоверение эксперта Госкорпорации «Росатом» – 100 баллов, член Совета Госкорпорации «Росатом» – 90 баллов, член рабочей группы Госкорпорации «Росатом» – 80 баллов, член рабочей группы АО «Концерн Росэнергоатом» – 70 баллов. Второе направление оценивается: монография, учебник, учебное пособие – 100 баллов, патент на изобретение – 70 баллов, статья в журнале, индексируемом в базах данных WoS, Scopus, – 50 баллов, статья в журнале – 30 баллов, свидетельство на базу данных, алгоритм программы, депонированная рукопись – 20 баллов, тезисы докладов – 10 баллов.

Очевидным является факт необходимости управления знаниями. Предложено оценивать средний возраст преподавателей как фактор, свидетельствующий о преемственности и сохранении знаний. При этом средний возраст отражает и экономическую эффективность кафедры, так как подтверждает факт высокого уровня оплаты труда, позволяющей привлечь и удержать молодежь.

Следующим показателем, который, по нашему мнению, показывает развитие и образовательной и научной деятельности, является количество новых разработанных и востребованных программ ДПО. Востребованной считаем программу ДПО, по которой наблюдается стабильное или возрастающее число слушателей и окупаемость которой обеспечена первой группой слушателей. Под окупаемостью понимаем разницу между расходами на разработку и полученным доходом от первой группы слушателей за вычетом накладных расходов Академии. Показатель «Самая массовая программа ДПО» отражает наибольшее количество обученных слушателей. Показатель «Самая доходная программа ДПО» – наибольший полученный доход по программе за год. Несмотря на очевидную корреляцию между количеством слушателей и полученным доходом, на кафедрах отраслевых организаций ДПО реализуются программы в корпоративном формате, ценообразование которых различно.

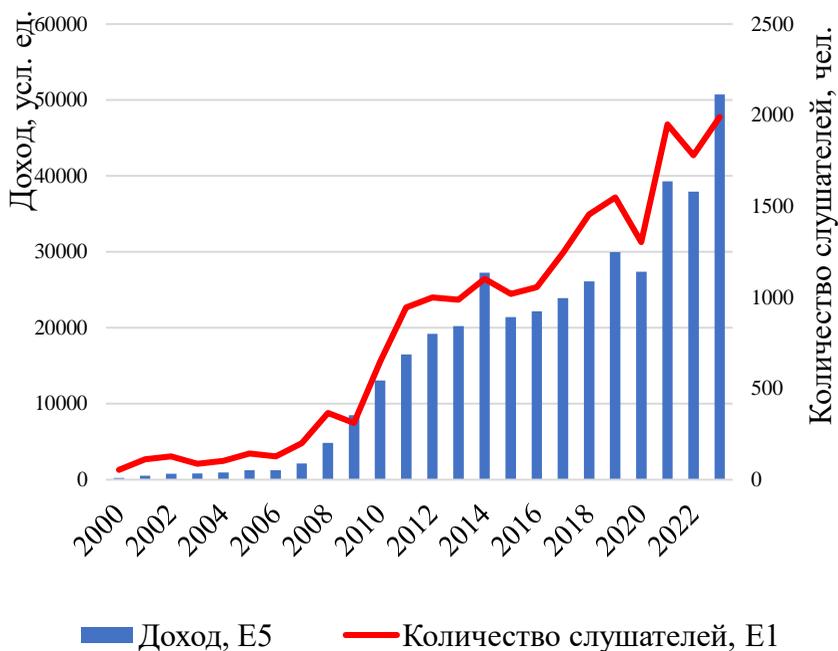
Апробация разработанных КПУ осуществлена на пяти кафедрах Академии с условными названиями К1, К2, К3, К4, К5. Результаты КПУ этих кафедр представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты апробации КПУ на пяти кафедрах Академии**

Кафедры	Показатели							
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>	E <sub>7</sub>	E <sub>8</sub>
К1	1 219	135	0	0	27 059	3 006	22930	2 547
К2	2 273	120	60	0	29 867	1 571	45035	2 370
К3	1 949	390	10 0	390	37 842	7 568	28150	5 629
К4	1 188	169,8 0	0	0	13 434	1 918	14 531	2 075
К5	1 900	181	50 0	140	22 961	2 186	31243	2 975
	E <sub>9</sub>	E <sub>10</sub>	E <sub>11</sub>	E <sub>12</sub>	E <sub>13</sub>	E <sub>14</sub>	E <sub>15</sub>	E <sub>16</sub>
К1	5	296	21	2,3 0	53	5	182	6 097
К2	4,82	234	46	2,4 2	43	10	353	4 609
К3	4,94	396	45	9,0 0	40,80	1	311	6 637
К4	4,87	215	23	3,2 8	42,85	2	232	1 053
К5	4,94	394,1 0	32	3,0 0	44,25	3	264	3 55 7

Очевидным преимуществом обладает кафедра К3, лидирующая по показателям E<sub>2</sub>, E<sub>4</sub>–E<sub>6</sub>, E<sub>8</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>12</sub>, E<sub>13</sub>, E<sub>16</sub>.

Пример мониторинга КПУ по показателям E<sub>1</sub> и E<sub>5</sub> кафедры К3 приведен на рисунке 1.



**Рис. 1 – Динамика изменения числа слушателей и дохода на кафедре КЗ с 2000 по 2023 год**

Полученные результаты могут быть использованы следующим образом. Во-первых, для сравнения кафедр между собой. Определение наиболее эффективной кафедры осуществляется путем присвоения 5 баллов наилучшему значению показателя, и, соответственно, 1 балл наихудшему, с шагом в 1 балл, так как количество кафедр – пять. Полученные значения КПУ каждой кафедры умножаются на вес показателя, результаты суммируются. Максимальное значение имеет наиболее успешная кафедра. Во-вторых, предложенные КПУ целесообразно использовать при мониторинге для отслеживания динамики развития кафедры. В-третьих, полученные лучшие абсолютные значения КПУ могут быть использованы как целевые показатели с установлением границ зон контролируемых показателей. Общемировая практика применения системы «Светофор» позволяет оперативно отслежи-

вать изменение показателей, и, при необходимости, разрабатывать корректирующие мероприятия, реализация которых должна обеспечить их целевые значения или улучшить. Полученные результаты КПУ могут быть использованы для разработки проекта развития кафедры на заданный интервал времени.

### Список литературы

1. Ефтодий Е.Б. Показатели эффективности деятельности образовательной организации: отечественный и зарубежный опыт // Актуальные вопросы современной экономики. – 2021. – № 5. – С. 334-341.
2. Карпенко А.Я., Брежнев А.И., Полоус М.А. Применение цифровых технологий в дополнительном профессиональном образовании // Сборник трудов по проблемам дополнительного профессионального образования. Вып. 41 – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021– С. 14 – 20.

### KEY SUCCESS INDICATORS OF THE DEPARTMENT

*Karpenko A.Ya. , Volos M.M.*

An approach to the development of key success indicators of the department of organization of additional professional education is proposed. The results of testing the use of indicators are presented and conclusions are formulated.

**Keywords:** key success indicators, indicator weight, approbation, monitoring, development.

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

# МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЕСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Жуков В.А., Магрицкий А.С., Жукова Е.С.*  
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»,  
Калужская обл, г. Обнинск

## Аннотация

В работе приведены исследования влияния модификации полимерного заполнителя, предназначенного для локальных усилений трехслойных сотовых конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на массовую эффективность изделий авиационного и космического назначения. Представлен анализ использования ряда мелкодисперсных добавок и их оптимальные соотношения, позволяющие снизить плотность полимерного заполнителя при сохранении прочностных показателей.

**Ключевые слова:** полимерные композитные материалы, трехслойные конструкции, полимерный заполнитель, сферопластик, фуллерен, оксид титана.

## Введение

В последнее время массовой эффективности агрегатов авиационной и космической технике уделяется все большее внимание. К материалам и конструктивно-технологическим решениям предъявляются жесткие требования с целью создания легких и прочных конструкций летательных аппаратов. Одним из ключевых направлений в этой области является применение трехслойных конструкций из ПКМ, отличающихся повышенными удельными характеристиками по жесткости и прочности [1]. Помимо преимущественно углепластиковых обшивок и сотового заполнителя из алюминиевой фольги в трехслойных конструкциях используется полимерный заполнитель, заполняющий сотовую структуру в локальных зонах для передачи сосредоточенных нагрузок на изделия. В зависимости от конструктивных особенностей трехслойных изделий массовая доля полимерного запол-

нителя может составлять до 30% общей массы трехслойной конструкции. Применение полимерных заполнителей обусловлено их низкой плотностью, сохранением высоких механических и специальных характеристик в различных условиях эксплуатации, вариабельностью состава и строения, что позволило расширить диапазон технических свойств [2].

Полимерный наполнитель представляет собой композитный материал, состоящий из полимерной матрицы и различных добавок, таких как стеклянные микросферы, графен, фуллерен, металлические частицы и т.д. Эти добавки позволяют достичь необходимого уровня технологических, физико-механических и специальных свойств [3]. Поскольку наполнитель имеет форму сферы или приближенную к ней, то такие композиты также называют сферопластиками. Полимерные наполнители активно применяют в авиационной и космической технике, так как позволяют в сочетании с сотовыми конструкциями значительно повысить прочность и жесткость конструкций.

### Основная часть

Отечественные полимерные наполнители широко представлены маркой ВПЗ. Сравнительная характеристика некоторых из них приведена в таблице 1.

**Таблица 1 –Характеристики отечественных сферопластиков**

Свойства	ВПЗ-7М	ВПЗ-14	ВПЗ-16М	ВПЗ-18	ПЗ-1	ПЗ-2
Время отверждения, ч	24-36	24-36	2-4	8-12	1,5-2	1,5-2
Температура отверждения, °С	25	25	90-150	25	175	175
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	550-650	650-750	650-700	600-650	560	450
Сжатие, МПа	25-40	45-50	30-35	35-45	30	15

Исходя из вышеизложенного наиболее эффективным для трехслойных конструкций выглядит полимерный наполнитель ПЗ-2, поскольку обладает наименьшей плотностью и обеспечива-

ет при этом необходимый уровень физико-механических и технологических характеристик. В настоящее время он широко используется для изготовления обечаек головного обтекателя ракеты-носителя тяжелого класса семейства «Ангара».

Изменение плотности полимерного заполнителя можно добиться варьированием доли микросфер в стандартном составе. Увеличение содержания микросфер привело к уменьшению смолы в составе сферопластика, как следствие снизилась прочность полимерного заполнителя на сжатие. Для сохранения этого показателя на требуемом уровне (согласно техническим условиям (ТУ)) было предложено использование мелкодисперсных добавок. В качестве модифицирующих добавок применялись фуллерен ( $C_{60}$ ) и оксид титана ( $TiO_2$ ).

В ходе исследований изучены зависимости предела прочности при сжатии, calorиметрических характеристик, а также плотности в зависимости от содержания добавок.

Определение calorиметрических характеристик проводилось методом дифференциально-сканирующей calorиметрии (ДСК). Согласно результатам испытаний, представленных в таблице 2, при добавлении модифицирующей добавки температура начала отверждения сдвигается в область более низких температур. Такое значение позволит сохранить уже имеющийся режим склейки трехслойных конструкций. Можно отметить, что с повышением содержания фуллерена наблюдается снижение температуры, в то время, как для оксида титана такой зависимости нет.

**Таблица 2–Зависимость температуры начала отверждения от содержания модифицирующей добавки**

Масс. доля добавки, %	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
T( $C_{60}$ ), °C	96,5	95,3	94,1	84,7	83
T( $TiO_2$ ), °C	92,6	92	75,3	91,6	88

Плотность сферопластика, содержащего модифицирующие добавки, определялась на отвержденных образцах размером 10x10x15 мм методом обмера и взвешивания. По результатам анализа плотность образца увеличивается с повышением содержания добавки, но с учетом повышенного содержания микросфер остается ниже, чем при использовании стандартного состава.

Испытанию на сжатие подвергались образцы 10x10x15 мм при скорости нагружения 1 мм/мин. Результаты испытаний на сжатие показывают, что увеличение содержания модифицирующей добавки не оказывает влияния на прочность.

Сводные данные по модифицированию ПЗ-2 и результаты испытаний на определение предела прочности при сжатии и плотности представлены в таблицах 3, 4.

**Таблица 3 – Результаты испытаний ПЗ-2 с различными концентрациями  $C_{60}$**

Масс. доля $C_{60}$ , %	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Сжатие, МПа	22,5	23,6	20,2	19,8	20,0
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	426,3	429,2	430,8	426,8	432,9

**Таблица 4 – Результаты испытаний пасты ПЗ-2 с различными концентрациями  $TiO_2$**

Масс. доля $TiO_2$ , %	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Сжатие, МПа	22,61	19,53	21,58	20,71	22,56
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	409,8	423,3	432,1	437,0	445,9

При проведении испытаний с полимерным наполнителем ПЗ-2, соответствующим техническим условиям, а также составом, содержащим 35% микросфер без введения модифицирующей добавки, были получены результаты, представленные в таблице 5.

**Таблица 5 – Результаты испытаний пасты ПЗ-2 без добавок**

Сфероластик	ПЗ-2 (по ТУ)	ПЗ-2 (35% микросфер)
Сжатие, Мпа	15,0	11,0
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	450	390

## Выводы

1) Наименьшая плотность полимерного заполнителя с добавкой фуллерена и диоксида титана составила 426,3 кг/м<sup>3</sup> и 409,8 кг/м<sup>3</sup> соответственно. Такое значение плотности было получено на образцах, содержащих 0,5% модифицирующей добавки;

2) В результате исследования было определено, что в качестве модифицирующей добавки предпочтительнее использовать TiO<sub>2</sub>. Снижение плотности сферопластика составило 8,9% при сохранении требуемого уровня прочностных свойств;

3) Использование полимерного заполнителя, модифицированного 0,5% диоксида титана, в интегральных конструкциях авиакосмического назначения позволит снизить массу комплекта обечаек головного обтекателя на 3,2%.

### Список литературы

1. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с наполнителем: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 272с.
2. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С. 36-39.
3. Соколов И.И., Минаков В.Т. Сферопластики авиационного назначения на основе эпоксидных клеев и дисперсных наполнителей // Клеи. Герметики. Технологии. – 2012. - №5.

### MODIFICATION OF POLYMERIC FILLER FOR THE PURPOSE OF INCREASE IN WEIGHT EFFICIENCY OF THREE-LAYERED DESIGNS FROM POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

*Zhukov V.A., Magritsky A.S., Zhukova E.S.*

#### Abstract

In this article, influence of modification of polymeric filler on weight efficiency of flight vehicles is investigated. The modification purpose – to increase durability, rigidity, heat resistance and resistance to shock loadings of polymeric filler at decrease in its specific weight.

**Keywords:** polymeric composite materials, three-layered designs, polymeric filler, spheroplastic, fullerene, titanium oxide.

# КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОГО БЕЗ ДАВЛЕНИЯ, В ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

*Куприкова Е.Ю., Магрицкий А.С., Жуков В.А.*  
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»  
Калужская обл., г. Обнинск

## Аннотация

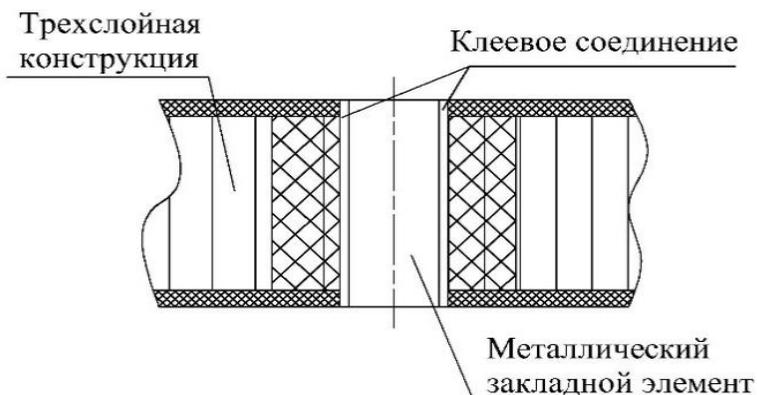
В данной работе отражены результаты исследований некоторых конструктивно-технологических параметров, влияющих на прочность клеевого соединения, осуществляемого без прикладывания давления. Представлены рекомендации для повышения технологичности изготовления опорного узла и повышению прочности клеевого соединения.

**Ключевые слова:** опорный узел, прочность клеевого соединения, трехслойная конструкция

На протяжении многих лет трехслойные конструкции широко используются в агрегатах авиационной и космической техники. За счет применения полимерных композиционных материалов в качестве несущих слоев (обшивок) и сверхлегких сотовых заполнителей в трехслойных панелях можно значительно повысить массовую эффективность летательных аппаратов [1, 2, 3]. Современные исследования показывают, что требуется не только оптимизация основных элементов трёхслойной конструкции, но и элементов усиления, формирующих узлы соединения для передачи нагрузки (опорные узлы). Как правило, такие узлы необходимы при фиксации панелей между собой, для крепления трехслойной панели к элементам каркаса или для установки приборов и агрегатов. Прочность и надежность клеевого соединения в таких узлах играет важную роль, а методы, позволяющие обеспечить эти показатели чрезвычайно актуальны.

Один из распространенных видов опорных узлов, отличающийся высокими показателями технологичности, представляет

собой трехслойную конструкцию со сквозным отверстием для вклеивания закладного элемента из металла (рисунок 1).



*Рис. 1— Схема опорного узла*

Прочность клеевого соединения металлического элемента с трехслойной панелью является немаловажным фактором для несущей способности узла [4]. В представленном решении из-за конструктивных особенностей узла один из параметров, отвечающих за прочность клеевого соединения, а именно – давление склейки отсутствует. В связи с чем возникает необходимость определения конструктивно-технологических особенностей и их влияния на прочность соединения.

Условно можно выделить два вида параметров, влияющих на прочность клеевого соединения: конструктивные и технологические.

В качестве конструктивных параметров можно отметить: величину зазора между закладным элементом и отверстием; шероховатость склеиваемых поверхностей; наличие армирующих элементов в клеевом слое; соосность закладного элемента и отверстия.

Среди технологических параметров можно выделить: увеличение вязкости клея за счет применения наполнителей в клеевой композиции; увеличение вязкости клея за счет особенности нанесения клеевой композиции; способы подготовки поверхностей под склейку; обеспечение равномерного нанесения клея.

Стоит отметить, что параметры, которые могут оказывать влияние на качество склейки очень часто взаимосвязаны между собой и друг с другом. При изучении каждого параметра в отдельности необходимо исключить или минимизировать влияние других параметров.

Для проведения исследований были сформированы образцы, представляющие собой трехслойную панель с обшивками из углепластика и сотовым наполнителем из алюминиевой фольги, упрочненным полимерным наполнителем со стеклянными микросферами, в зоне установки закладного элемента из металла. Соединение обшивок с сотовым наполнителем выполнено с использованием клея горячего отверждения. В сквозное отверстие трехслойной панели устанавливался закладной элемент, выполненный из алюминиевого сплава. Для клейки закладного элемента применялся многокомпонентный клей холодного отверждения ВК-9.

На первом этапе данной работы изучался один из конструктивных параметров - величина зазора между склеиваемыми поверхностями. В таблице 1 представлены параметры объекта исследования. Величину зазора изменяли за счет увеличения диаметра отверстия.

**Таблица 1 – Параметры объекта исследования**

Высота трехслойной панели, мм	Диаметр закладного элемента, мм	Значение зазора, мм
24	28	0,1
24	28	0,3
24	28	0,6
24	28	0,9
24	28	1,2

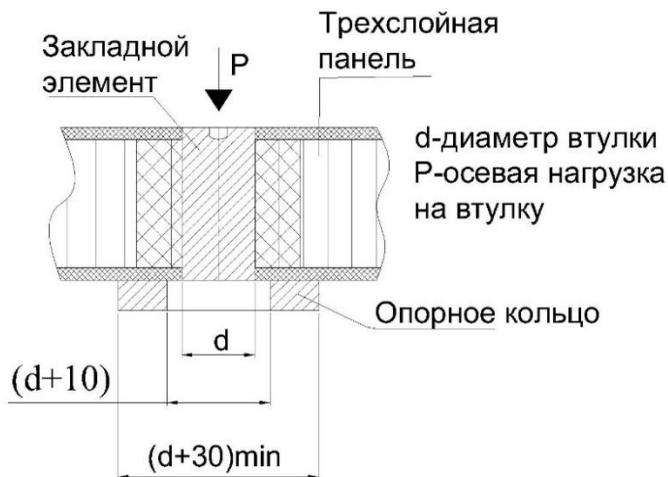
На втором этапе исследований оценивались технологические параметры-применение наполнителя в клеевой композиции и введение нескольких стадий при нанесении клея. По технологическим соображениям и для дополнительного контроля каче-

ства, нанесенного клея на поверхности закладного элемента, выполнялась предварительная выдержка клеевого слоя в течении  $(1,5 \pm 0,2)$ ч.

Следует отметить, что при малых зазорах (до 0,3 мм) не требуются дополнительные приспособления для обеспечения соосности закладного элемента и отверстия, проще обеспечивается равномерность заполнения зазора клеевой композицией, а также практически исключается перекос при установке закладного элемента в отверстие. При зазорах 0,3 мм и 0,6 мм облегчается трудоемкость вклеивания, поскольку не наблюдается заедание закладного элемента, также несложно обеспечить равномерность заполнения зазора клеевой композицией. При зазорах более 0,6 мм помимо использования специальных приспособлений потребовалось дозаполнение зазоров клеевой композицией после установки закладного элемента.

При выполнении второго этапа – исследование влияния технологических особенностей выявлено, что предварительная выдержка клея, нанесенного на закладной элемент, увеличивая вязкость, исключает его стекание после установки в трехслойную конструкцию, когда провести контроль сплошности клеевого слоя невозможен. Этот прием (двухстадийного нанесения клеевого слоя) по прогнозам должен увеличить технологичность установки и положительно сказаться на прочностных свойствах клеевого соединения.

Оценку параметров проводили экспериментальным путем, расчетными способами подобную оценку выполнить невозможно [5]. На рисунке 2 показана схема нагружения, которая использовалась для определения прочности клеевого соединения закладного элемента с панелью.



**Рис. 2 – Схема нагружения опорного узла**

Небольшая разница (5 мм) между внутренним диаметром опорного кольца и диаметром закладного элемента обеспечивала разрушение по клеевому слою. В ходе испытаний определялась разрушающая нагрузка, на основании которой производился расчет прочности клеевого соединения на сдвиг.

На рисунке 3 представлены результаты исследования прочности клеевого соединения в зависимости от величины зазора между склеиваемыми поверхностями.



**Рис. 3 – Зависимость предела прочности клеевого соединения от величины зазора**

Значение предела прочности клеевого соединения имеет линейную зависимость от величины зазора. При увеличении зазора до 0,6 мм наблюдается падение прочности не более 17 %. Управляя этим параметром при проектировании с учетом допускаемых значений по пределу прочности клеевого соединения (определяется несущей способностью опорного узла) можно повысить технологичность изготовления опорного узла. Как правило, при малых зазорах (до 0,6 мм) несущая способность опорного узла исчерпывается раньше разрушения клеевого соединения [1, б].

По результатам исследований второго этапа наблюдается незначительное снижение не более 12 % прочности клеевого соединения с применением наполнителя. При этом следует отметить, что нанесение предварительной клеевой прослойки увеличивает прочность клеевого соединения на 3-13%. Также помимо увеличения прочности клеевого соединения при использовании предварительной выдержки, можно отметить повышение стабильности показателей предела прочности. В таблице 2 представлены результаты испытаний клеевого соединения без наполнителя по двум технологическим вариантам.

**Таблица 2 – Результаты испытаний**

Порядковый номер образца	Предел прочности клеевого соединения при сдвиге, МПа	
	без выдержки	с выдержкой (1,5±0,2) ч
1	6,46	7,03
2	7,05	8,69
3	7,20	6,93
4	5,86	6,36
5	8,76	7,37
<b>Коэффициент вариации</b>	<b>12%</b>	<b>2%</b>

## Вывод

В работе получены следующие результаты:

- построена экспериментальная зависимость прочности клеевого соединения от величины зазора между склеиваемыми поверхностями;

- определены величины зазоров между соединяемыми поверхностями, позволяющие повысить технологичность вклейки закладных элементов без существенного снижения прочности клеевого соединения;

- выявлены технологические параметры, повышающие технологичность вклейки и стабильность прочностных характеристик клеевого соединения.

## Список литературы

1. Применение трехслойных сотовых конструкций в космических аппаратах/ Н.А. Тестоедов, В.Н. Наговицин, М.Ю. Прмяков /Вестник СибГАУ. 2016. Том 17 №1.С. 200-211
2. Исследование свойств углепластиковых сотовых структур для легковесных конструкций ракетно-космического назначения/ А.В. Дегтярев, А.М. Потапов /Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2012. №3. С. 20-26/ [Электронный ресурс]. -Режим доступа:URL: <https://www.patonpublishinghouse.com/tdnk/pdf/2012/pafarticles/03/5/pdf> (дата обращения: 09.03.2022)
3. Применение в конструкции сотовых панелей космических аппаратов опорных узлов/ Е.А. Иванов, В.Н. Наговицин / Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. 2021. №20. С. 332-334/ [Электронный ресурс]. - Режим доступа:URL: <https://www.elibrary.ru/item/asp?id=47243034> (дата обращения: 28.02.2022)
4. Проектирование узлов авиационных конструкций: учебное пособие/ Д.М. Козлов; под. Ред. д-ра техн. наук, проф.

В.А.Комарова. - Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. - 25 с.

5. Конструирование соединений элементов ЛА из композиционных материалов: учебное пособие/ Ю.С.Царахов. - Москва: Московский физико-технический институт, 1980. - 79 с.

6. Степанов Н.В. Разработка методики проектирования опорных узлов для трехслойных сотовых платформ космических аппаратов: дис. ...канд.тех.наук.-Москва, 2007/ [Электронный ресурс]. - Режим доступа:URL: <https://www.dissercat.com> (дата обращения: 11.02.2022)

## **CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE GLUE CONNECTION, WHICH IS CARRIED OUT WITHOUT PRESSURE IN THREE-LAYER-DESIGNS**

*Kuprikova E.Y., Magritsky A.S., Zhukov V.A.*

### **ABSTRACT**

Results of researches of influencing durability of the glue connection which is carried out without applying of pressure are reflected in this work. Recommendations for increase in technological effectiveness of production of basic knot and to increase in durability of glue connection are submitted.

**Keywords:** support unit, shear strength, three layer honeycomb structure

# МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННО- КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.

*Магрицкий А.С., Богачев А.А., Авцынова И.В., Шогенов В.А.*

АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»

Калужская обл, г. Обнинск

## Аннотация

Объектом исследования являются полимерный наполнитель ПЗ-1 и фенольно-каучуковый клей ВК-25, используемые для изготовления сотовых и интегральных конструкций авиационно-космического назначения. Предметом исследования в данной работе является возможность увеличения их физико-механических и технологических характеристик путем наномодифицирования. В работе применялись методы экспериментального исследования упруго-деформационных и реологических свойств материалов. Показано положительное влияние наномодифицирования на технологические и эксплуатационные характеристики полимерных композиций.

Применение трехслойных конструкций, элементы которых состоят из двух несущих композитных обшивок и сотового наполнителя между ними, во многом определило успешное развитие авиационной и ракетно-космической техники, а вместе с тем дало толчок развитию технологии клееных тонкостенных конструкций с использованием в качестве материала сотовых наполнителей алюминиевой фольги и полимерной бумаги. Сотовый наполнитель, связывающий оболочки, работает на сдвиг и повышает изгибную жёсткость интегральной конструкции, её эффективность по массе и несущую способность. [1]. Для местного упрочнения панелей сотовых конструкций с целью повышения их прочности и жесткости в зонах установки крепежа, для заделки торцевых участков, заполнения различных полостей применяют сферопластики, представляющие собой композиционную матрицу наполненную стеклянными полами микросферами. [2].

В качестве наномодификатора были использованы нанотрубки, полученные высокотемпературным каталитическим разложением из углеводородных газов в присутствии катализатора – переходных металлов (Ni-Fe).

Такие нанотрубки обладают целым рядом преимуществ [3, 4]:

- они достаточно легко диспергируют в модифицированной эпоксидной смоле (около 1 часа);
- отличаются повышенной жесткостью.

В качестве наномодификатора был использован фуллерен  $C_{60}$ . Фуллерен получают термическим разложением графита, он отличается повышенной жесткостью и плотностью, а также высоким объёмным модулем сжатия. [5]

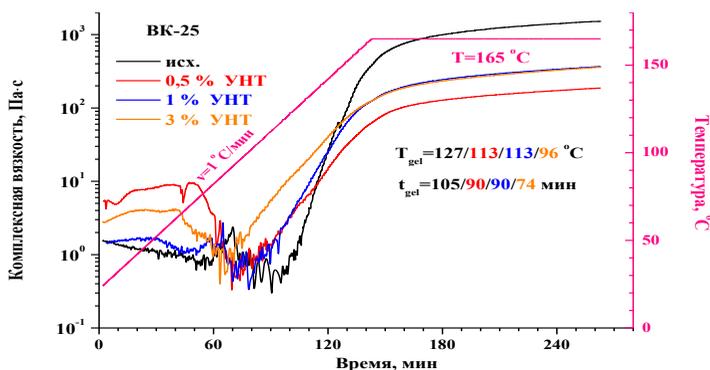
В многочисленных опубликованных работах по наномодификации угле- и стеклопластиков, и клеевых композиций [6-9] показано увеличение упруго-прочностных показателей композиционных материалов. По данным литературных источников, оптимальная концентрации углеродных наномодификаторов связующих и клеев для изготовления полимерных композиционных материалов должна быть в диапазоне от 0,5% до 6%. В нашей работе наномодификаторы вводились в клей ВК-25 и сферопластик ПЗ-1 в количестве 1; 3; 5 и 0,5; 1; 3%, соответственно.

Предметом исследования в данной работе была возможность улучшения физико-механических и технологических характеристик полимерного заполнителя ПЗ-1 и фенольно-каучукового клея ВК-25 путем их модифицирования углеродными нанотрубками (УНТ) и фуллереном ( $C_{60}$ ). Для оценки результатов применялись методы экспериментального исследования упруго-деформационных и реологических свойств модифицированных композиций.

На рисунке изображены зависимости комплексной вязкости клея ВК-25 от содержания наномодификатора в нем.

На полученных методом динамического-механического анализа графиках зависимости вязкости от времени абсолютно у всех образцов температура гелеобразования сдвигается в область более низкой температуры, а сами значения вязкости увеличиваются с повышением содержания наномодификатора. При моди-

фикации клея ВК-25 углеродными нанотрубками время наступления точки гелеобразования уменьшается.



**Рис. 1 – Зависимости комплексной вязкости клея ВК-25 от содержания наномодификатора в нем**

Исследование образцов отверждённого фенольно-каучукового клея ВК-25 проводилось методом ТГА. Нагрев образцов проводился со скоростью 10 °С/мин. Результаты исследования методом ТГА представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты исследования клея ВК-25 методом ТГА**

Клей ВК-25	Термостойкость, °С	
	Потеря массы 5%	Потеря массы 10%
Исходный	331	385
Модифицированный 3% УНТ	385	400

Данные термогравиметрического анализа свидетельствуют о незначительном увеличении термостойкости наномодифицированного клея ВК-25 по сравнению с исходным клеем.

Сводные данные по модифицированию клея ВК-25 представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты испытаний клея ВК-25 с различными концентрациями УНТ**

Масс.доля УНТ, %	0	1	3	5
Жизнеспособность, ч	24	36	48	48
Сдвиг при 20°С, МПа	26,9*/	31,8*/	36,6*/	31,3*/
	25,4**	31,3**	35,9**	27,9**
Сдвиг при 80°С, МПа	17,4*/	21,9*/	22,1*/	17,9*/
	14,3**	17,9**	21,7**	16,1**
*- свежий клей; ** - клей после выдержки 24 часа				

Установлено, что введение углеродных нанотрубок в полимерный наполнитель ПЗ-1 не оказывает существенного влияния на параметры отверждения, тогда как модифицирование фуллеренами С<sub>60</sub> приводит к снижению температур начала и максимума пика отверждения на 30-40 °С. Сводные данные по модифицированию пасты ПЗ-1 представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Результаты испытаний пасты ПЗ-1 с различными концентрациями УНТ и С<sub>60</sub>**

Модификатор	УНТ			
	0	0,5	1	3
Масс.доля УНТ, %				
Сжатие, МПа	35	30,7	33,33	34,8
Сжатие Т=80°С, МПа	13	20,7	18,1	14,7
Отрыв, МПа	17,24	16,1	19,7	21,1
Отрыв Т=80°С, МПа	9,06	9,33	16,15	9,9
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	510	519	526,3	549,7
Модификатор	С <sub>60</sub>			
	0	0,5	1	3
Масс.доля С <sub>60</sub> , %				
Сжатие, МПа	35	42,4	43,5	39,5
Сжатие Т=80°С, МПа	13	27	28,4	26,6
Отрыв, МПа	17,24	21,8	19,3	24,8
Отрыв Т=80°С, МПа	9,06	14,4	12,32	20,4
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	510	530	554	548

### Выводы

1) Установлен положительный эффект наномодифицирования на технологические и эксплуатационные характеристики материалов, используемых в АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина» при производстве сотовых наполнителей, а также местного упрочнения сотовых наполнителей в интегральных конструкциях авиакосмического назначения.

2) Предел прочности при сдвиге клеевого соединения при 20 °С, повышается с 25,4 МПа для исходного клея ВК-25 до 35,9 МПа для клея, модифицированного 3% УНТ.

3) Установлено, что наиболее эффективной концентрацией УНТ для модифицирования пасты ПЗ-1 является 0,5%, а оптимальная концентрация  $C_{60}$  — 3%. Введение 3% фуллерена в состав пасты позволяет увеличить предел прочности при сжатии при комнатной температуре на 12,9%, а предел прочности при отрыве на 43,9%. При проведении прочностных испытаний при 80 °С определяемые пределы прочности возросли более чем в 2 раза по сравнению со значениями для исходной пасты ПЗ-1.

### Список литературы

1. Ю.А. Михайлин. Конструкционные полимерные композиционные материалы.-СПб.:НОТ, 2008.-822 с.;
2. F.C. Campbell. Manufacturing Processes For Advanced Composites, Elsevier Inc. - New York, USA, 2004. - 517 p.
3. И.И, Соколов, В.Т. Минаков Сфероластики авиационного назначения на основе эпоксидных клеев и дисперсных наполнителей ([www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public))
4. Соколов И.И., Минаков В.Т. Сфероластики авиационного назначения на основе эпоксидных клеев и дисперсных наполнителей // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 22–26.
5. Соколов И.И. Сфероластики холодного отверждения на основе клеевых связующих для изделий авиационной техники// «Клеи. Герметики. Технологии», 2013г., №3.
6. Fan-Long J., Soo-Jin P. A review of the preparation and properties of carbon nanotubes-reinforced polymer composites // Carbon Letters. 2011. V. 12. №2. P. 57–69.
7. Э.М. Шпилевский. Фуллерены – новые молекулы для новых материалов. -Наука и инновации № 5 (39)\_2006.

8. Гуняев Г. М., Каблов Е. Н., Ильченко С. И. и др. Структурная модификация полимерных и композиционных материалов углеродных наночастицами. Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов (ТМ1ММ): Труды Международной конференции, Москва, 27-30 авг., 2003. М.: Знание. 2004. С. 82-89.

9. Хвостов С.А. Принципы модификации углеродными наночастицами эпоксидных связующих и технология получения композитов на их основе: дисс. канд. техн. наук : 05.17.06 / Хвостов Станислав Александрович – Барнаул, 2007. – 119 с.

## **MODIFICATION OF POLYMER COMPOSITIONS USED IN THE MANUFACTURE OF INTEGRATED STRUCTURES FOR AEROSPACE PURPOSES**

*Magritsky A.S., Bogachev A.A., Avtsynova I.V., Shogenov V.A.*

### **Abstract**

The object of the study is polymer compositions used for manufacture of cellular and integrated structures for aerospace purposes. The subject of research in this work is possibility of increasing the physical, mechanical and technological characteristics of compositions by nanomodification. The methods of experimental investigation of elastic-deformation and rheological properties of modified adhesive compositions were used in the work. The positive effect of nanomodification on technological and operational characteristics of polymer compositions is shown.

**Keywords:** honeycomb fillers, adhesive compositions, phenolic-rubber adhesive, spheroplastics, polymer composite materials, carbon nanotubes, fullerene, modification.

## **ОНКОЛОГИЯ**

## КОМБИНАЦИЯ ВНУТРИАРТЕРИАЛЬНОЙ МАСЛЯНОЙ ХИМИОЭМБОЛИЗАЦИИ ПЕЧЕНИ С СИСТЕМНОЙ ТЕРАПИЕЙ СОРАФЕНИБОМ У ПАЦИЕНТОВ С ГЕПАТОЦЕЛЛЮЛЯРНЫМ РАКОМ

*Дикова А.С., Иванов С.А., Кучеров В.В., Фалалеева Н.А.,  
Петросян А.П.*

МРНЦ им.А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии”  
Минздрава России,  
Калужская обл., Обнинск

**Аннотация:** Гепатоцеллюлярный рак является одним из наиболее встречающихся злокачественных новообразований во всем мире. Одним из основных факторов риска развития гепатоцеллюлярного рака является цирроз печени. Несмотря на достижения в области медицины, гепатоцеллюлярный рак остается одним из наиболее распространенных причин смерти от рака во всем мире [1].

Hepatocellular carcinoma (HCC) is one of the most common malignant neoplasms worldwide. Cirrhosis is one of the major risk factors for HCC. Despite advances in medicine, HCC remains one of the most common causes of death from cancer worldwide.

**Актуальность:**

Гепатоцеллюлярный рак (ГЦР) занимает 6-е место в структуре онкологической заболеваемости среди всех регистрируемых случаев рака и составляет 95% из общего числа гепатоцеллюлярных, билиарных и мезодермальных новообразований человека. ГЦР занимает третье место в структуре смертности от злокачественных новообразований (ЗНО) в мире [2]. ГЦР более чем в 80% случаев возникает на фоне цирроза печени. Основным предиктором развития ГЦР является наличие хронического вирусного гепатита В или С, цирроза печени.

## **Цель работы**

Улучшить результаты лечения больных с гепатоцеллюлярным раком, используя комбинацию внутриартериальной масляной химиоэмболизации печени (ХЭПА) доксорубицином с системной терапией сорафенибом.

## **Материалы и методы**

В нашем исследовании было выделено 2 группы пациентов в каждой из которых по 5 человек. Первой группе пациентов проводилась комбинация внутриартериальной масляной химиоэмболизации печени доксорубицином с системной терапией сорафенибом. Сорафениб пациенты принимали по 400 мг 1 раз в сутки в течение 2-3 недель до ХЭПА, затем 800 мг 1 раз в сутки до прогрессирования или неприемлемой токсичности. В данную группу были включены 3 мужчин, возрастом от 65 до 84 лет и 2 женщины 65 и 78 лет. По Барселонской системе стадирования (BCLC) у 3 пациентов была стадия С, и 2 пациентов со стадией В. У 4 пациентов анамнез отягощен наличием вирусного гепатита В или С.

Второй группе пациентов проводилась только ХЭПА. В данную группу были включены 3 мужчин, возрастом от 39 до 79 лет и 2 женщины возрастом 72 и 79 лет. По BCLC у 1 пациента была стадия С, и 4 пациента со стадией В. У 2 пациентов анамнез отягощен наличием вирусного гепатита В или С.

## **Результаты**

В первой группе пациентов, которым проводился комбинированный метод лечения, у 3 пациентов АФП достиг нормальных значений. Максимальное количество курсов ХЭПА в данной группе было 10 на фоне постоянного приема Сорафениба. У всех пациентов зафиксирована стабилизация процесса. У 2 из 5 пациентов лечение было осложнено развитием гепатотоксичности, которая потребовала гепатотропной терапии, после которой лечение было продолжено. Срок наблюдения составил от 1 года до 4 лет.

Во второй группе пациентов, которым проводилась только ХЭПА, у всех пациентов лечение никак не повлияло на уровень АФП. Максимальное количество курсов ХЭПА в данной группе

было 12. У 3 пациентов зафиксирована стабилизация процесса, лечение продолжается. 1 пациент находится под динамическим наблюдением. 1 пациент умер. У 3 пациентов лечение было осложнено развитием гепатотоксичности, которая потребовала гепатотропной терапии, после которой лечение было продолжено. Срок наблюдения составил 1 год.

### **Заключение**

Таким образом, более 60% пациентов с ГЦР диагностируют на поздних стадиях из-за отсутствия специфической клинической картины заболевания на ранних стадиях, что приводит к крайне низкой 5-летней выживаемости (менее 16%). Появление некоторых низкомолекулярных препаратов, таких как сорафениб, ленватиниб способствует увеличению общей выживаемости до 3 месяцев с дальнейшим развитием лекарственной устойчивости. Сочетание противоопухолевой лекарственной терапии и локорегионарных методов лечения (РЧА, ТАХЭ и др.) является перспективным направлением в терапии ГЦР, поскольку подобная комбинированная терапия увеличивает время до прогрессирования заболевания и медиану продолжительности жизни. Однако, несмотря на значительный прогресс в лечении злокачественных новообразований гепатобиларной зоны, данная проблема требует дальнейшего изучения, как с фундаментальных, так и с клинических позиций.

### **Список литературы**

1. Petrick J.L., Mc Glynn K.A. The changing epidemiology of primary liver cancer. *Curr. Epidemiol. Rep.* 2019, 6 (2), 104–111. <https://doi.org/10.1007/s40471-019-00188-3>.
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году/ Под ред. А Д Каприна, 2022.

## **ЭКОНОМИКА**

## ВЛИЯНИЕ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАЗВИТИЕ СТРАН

*Бурцева<sup>1</sup> Т.А., В.А. Бурцев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Частное образовательное учреждение высшего образования  
«Среднерусский гуманитарно-технологический институт»  
Калужская обл., г. Обнинск

<sup>2</sup>Частное профессиональное образовательное учреждение «Об-  
нинский колледж информации и права»  
Калужская обл., г. Обнинск

**Аннотация:** Отражены особенности стран по показателям развития. Рассмотрено распределение стран по ценам на электроэнергию. Доказана зависимость между ценой на электроэнергию и среднемесячной заработной платой.

**Ключевые слова:** ценообразование, развитие, кластер, электроэнергия.

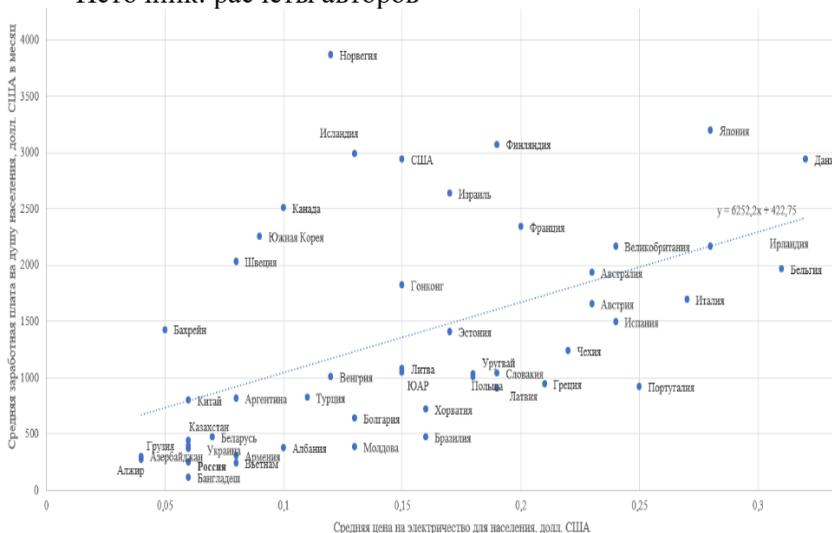
Электричество - один из важнейших ресурсов, необходимый для качественной жизни любого человека, организации экономически целесообразного производства. На рис. 1 представлено распределение стран по средней стоимости электроэнергии для населения и средней заработной плате за месяц. На основе представленных результатов ясно видно, что страны сегментированы на два кластера. Выше прямой предполагаемой зависимости средней заработной платы в месяц и стоимости электроэнергии для населения развитые страны. Поэтому проведен кластерный анализ, результаты которого отражены на рис. 2 и в табл. 1.

На основе результатов, представленных в табл. 1 можно сделать вывод, что в странах, попавших в первый кластер по показателям «средняя цена на электричество для населения», «средняя заработная плата на душу населения», «ВВП (ППС) согласно подсчётам Всемирного банка», средняя заработная плата выше 3,38 раза, а цена электроэнергии только в 2,37 раза. Следует отметить, что в кластерах доля стран в мировом ВВП практически сопоставима по величине, как и средний ВВП на страну.

**Таблица 1 – Средние показатели по кластерам стран**

Кластер	Средняя цена на электричество для населения, долл., США	Средняя заработная плата на душу населения (нетто), долл., США в месяц	ВВП (ППС) согласно подсчётам Всемирного банка	Доля в мировом ВВП, %
1 кластер	0,21	1976,39	2411,52	33,87
2 кластер	0,09	584,71	2396,73	30,65

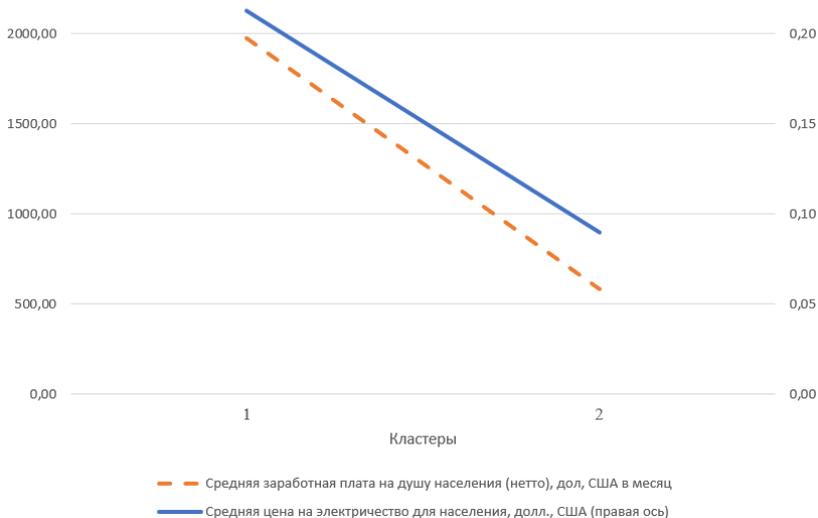
Источник: расчеты авторов



**Рис. 1– Распределение стран по средней стоимости электроэнергии и среднемесячной заработной плате по основному массиву стран [1]**

В первый кластер попали развитые страны: Австралия, Австрия, Бельгия, Великобритания, Гонконг, Греция, Дания, Израиль, Ирландия, Испания, Италия, Канада, Латвия, Норвегия, Польша, Португалия, Словакия, США, Финляндия, Франция, Чехия, Япония.

На рис. 2 показана зависимость между ценой на электроэнергию и среднемесячной заработной платой по кластерам.



**Рис. 2 – Зависимость между ценой на электроэнергию и среднемесячной заработной платой по кластерам**

Источник: разработка авторов

Таким образом, стоимость электроэнергии является важным фактором развития стран в современной экономике. Повышение цен на электроэнергию приводит к снижению общего объема производства, валового внутреннего продукта (ВВП) [2]. Эмпирический анализ ученых показывает, что цена на электроэнергию имеет неблагоприятную взаимосвязь со спросом на электроэнергию и показателями роста секторов экономики [3]. В связи с чем, крайне важно регулировать ценообразование в данной сфере. Ежегодно федеральная антимонопольная служба России устанавливает предельные минимальные и максимальные уровни регулируемых тарифов на электрическую энергию для населения по каждому региону. Имеет смысл распространить данный опыт и на реальный сектор экономики с целью оказания государственной поддержки отечественному производителю.

### Список литературы

1. Блог о криптовалютах, майнинге, программах и ремонте аппаратуры [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cryptoprofi.info/?p=6598> (дата обращения 08.12.23).
2. Хэ, Ю. Х., Чжан, С. Л., Янг, Л. Ю., Ван, Ю. Дж. и Ванг, Дж. (2010). Экономический анализ цен на уголь-корректировка цен на электроэнергию в Китае на основе модели CGE. *Энергетическая политика* 38, 6629-6637. doi: 10.1016/j.enpol.2010.06.033
3. Мехмуд Мирза Ф., Бергланд О. и Афзал Н. (2014). Политика энергосбережения и отраслевой объем производства в Пакистане: эмпирический анализ. *Энергетическая политика* 73, 757-766. doi: 10.1016/j.enpol.2014.06.016

### IMPACT OF ELECTRICITY COSTS ON THE DEVELOPMENT OF COUNTRIES

Burtseva T.A., Burtsev V.A.

#### Abstract

The features of countries by development indicators are reflected. The distribution of countries by electricity prices was considered. The relationship between the price of electricity and the average monthly wage has been proved.

**Keywords:** pricing, development, cluster, electricity.

**Научно-популярное электронное издание**

**Молодежная научно-техническая конференция  
«Научный потенциал города Обнинска»  
сборник лучших трудов**

<b>Ответственный редактор:</b>	Е.А.Онищук
<b>Компьютерная верстка:</b>	О.С. Чигирева
<b>Формат:</b>	60x84/16
<b>Усл. печ. листов:</b>	6,3
<b>Уч.-изд. листов:</b>	7,8
<b>Объем:</b>	2,85 МБ
<b>Изд. №</b>	012-2

© АНО ДПО Техническая академия Росатома, 2024 г.

© ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2024 г.

© Авторы, 2024 г.

ISBN 978-5-7262-3062-7



**Систем требования:** PC не ниже класса Pentium I; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 95/98; Adobe Acrobat Reader; дисковод CD-ROM 2-х и выше мышь.