

В РАМКАХ НАУЧНОЙ СЕССИИ НИЯУ МИФИ - 2018

## XVIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

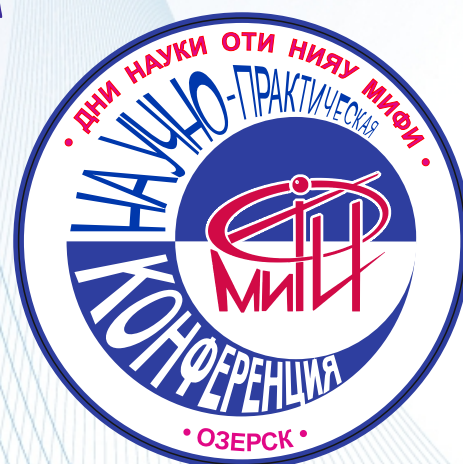
*Посвящается*  
**70-летию ФГУП «ПО «Маяк»**



# ДНИ НАУКИ - 2018

ОТИ НИЯУ МИФИ

**Сборник статей**  
**Том 1**



Министерство образования и науки РФ  
Государственная корпорация «Росатом»  
Озерский технологический институт НИЯУ МИФИ  
ФГУП «Производственное объединение «Маяк»

---

В РАМКАХ НАУЧНОЙ СЕССИИ НИЯУ МИФИ – 2018

## **XVIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

# **ДНИ НАУКИ ОТИ НИЯУ МИФИ — 2018**



**70 лет ФГУП «ПО «МАЯК»**

***Материалы конференции***

**Том 1**

***18 – 22 апреля 2018 г.***

ОЗЁРСК 2018

**УДК 001**  
**Д 54**

XVIII всероссийская научно-практическая конференция «Дни науки - 2018». 70 лет ФГУП «ПО «МАЯК»: Том 1. Материалы конференции. Озёрск, 18 - 22 апреля 2018 г. - Озёрск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2018 – 174 с.

ISBN 978-5-905620-26-3

Т. 1 – 2018. – 174 с.

ISBN 978-5-905620-27-0

Том 1 содержит материалы тематических секций конференции:

- Химия и радиохимическая технология
- Химия и экология
- Механика, машиностроение и технология обработки материалов
- Математика. Информатика и вычислительная техника

Организационный комитет:

Сопредседатели: Мясоедов Б.Ф., академик РАН (г. Москва)  
Похлебаев М.И., генеральный директор ФГУП «ПО «Маяк»  
Иванов И.А., директор ОТИ НИЯУ МИФИ

Члены оргкомитета:

Авраменко В.А. (член-корр. РАН, г. Владивосток); Водолага Б.К. (РФЯЦ ВНИИТФ, г. Снежинск), Воронина А.В. (УрФУ, г. Екатеринбург), Дмитриев Н.М. (НИЯУ МИФИ, г. Москва), Калмыков С.Н. (член-корр. РАН, г. Москва); Смирнов И.В. (РИ им. В.Г. Хлопина, г. С.-Петербург); Тананаев И.Г. (член-корр. РАН); Азиева Н.Э.; Акопян Р.Р.; Ананьина Е.В.; Безногова Т.Г.; Бондарь Т.М.; Изарова Е.Г.; Карпеев Д.Л.; Комаров А.А.; Кононов А.Н.; Малышев А.И.; Нуржанова И.А.; Подзолкова Н.А.; Ползунова М.В.; Посохина С.А.; Спирина С.С.; Стрижова И.А.; Сулейманова И.В.; Фёдорова О.В.

ISBN 978-5-905620-27-0 (Т. 1)  
ISBN 978-5-905620-26-3

© ОТИ НИЯУ МИФИ, 2018  
© Авторы публикаций, 2018



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРИВЕТСТВИЕ М. Н. СТРИХАНОВА .....</b>	<b>7</b>
<b>ПРИВЕТСТВИЕ Б. Ф. МЯСОЕДОВА .....</b>	<b>8</b>
<b>ПРИВЕТСТВИЕ М. И. ПОХЛЕБАЕВА.....</b>	<b>9</b>
<b>ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ.....</b>	<b>10</b>
<b>Определение тория спектрофотометрическим методом .....</b>	<b>10</b>
<i>Андреева Н. И., Измоденова А. А., Федорова О. В. ....</i>	<i>10</i>
<b>Синтез высокогидрофобных нефтесорбентов с магнитными свойствами.....</b>	<b>13</b>
<i>Драньков А. Н., Тананаев И. Г., Мясоедов Б. Ф. ....</i>	<i>13</i>
<b>Наноструктурированные сорбционные материалы для концентрирования и выделения радионуклидов из природных и техногенных вод .....</b>	<b>17</b>
<i>Дергунова Д. П., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>17</i>
<b>Извлечение Sr из морской воды сорбентами на основе оксида марганца.....</b>	<b>21</b>
<i>Калашикова А. М., Мисько Д. С., Егорин А. М., Сокольницкая Т. А., Токарь Э. А., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>21</i>
<b>Синтез пористых резорцинформальдегидных смол и исследование их сорбционных характеристик .....</b>	<b>25</b>
<i>Мисько Д.С., Калашикова А.М., Токарь Э.А., Тутов М.В., Егорин А.М., Тананаев И.Г., Авраменко А.В. ....</i>	<i>25</i>
<b>Магнитные сорбенты наноструктурированного типа для извлечения урана(VI) из водных сред .....</b>	<b>29</b>
<i>Папынов Е. К., Драньков А. Н., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>29</i>
<b>Оценка возможности применения качественного анализа для определения редких и рассеянных элементов.....</b>	<b>34</b>
<i>Радченко В. В., Феоктистов К. А., Федорова О. В. ....</i>	<i>34</i>
<b>Воссоздание сырьевой базы литиевой промышленности в Российской Федерации .....</b>	<b>36</b>
<i>Сарычев Г. А., Кольцов В. Ю., Трубаков Ю. М., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>36</i>
<b>Фракционирование ВАО: основные подходы и современное состояние.....</b>	<b>40</b>
<i>Смирнов И. В., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>40</i>
<b>Определение тория весовым методом .....</b>	<b>44</b>
<i>Сылько М. А., Посохова П. А., Федорова О. В. ....</i>	<i>44</i>
<b>Анализ генерации радиоактивных газов в экспериментальных устройствах исследовательского реактора ИР-100 .....</b>	<b>46</b>
<i>Фролова М. А., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>46</i>
<b>Уточнение структуры NaCOOH методом полнопрофильного анализа.....</b>	<b>50</b>
<i>Шабурова Е. С., Орлова В. А., Волкова Т. С., Рудских В. В. ....</i>	<i>50</i>



<b>Керамические матрицы для источников ионизирующих излучений на основе цезия-137.....</b>	<b>55</b>
<i>Шичалин О. О., Папынов Е. К., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>55</i>
<b>Синтез и сорбционные свойства тонкослойного ферроцианида марганца.....</b>	<b>59</b>
<i>Юрцун А. Ю., Иванцова Е. Ю., Медведев В. П. ....</i>	<i>59</i>
<b>ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ .....</b>	<b>62</b>
<b>Риск заболеваемости различными типами катаракт в когорте работников ПО «Маяк», подвергшихся хроническому профессиональному облучению.....</b>	<b>62</b>
<i>Азизова Т. В., Брагин Е. В., Григорьева Е. С., Хамада Н. ....</i>	<i>62</i>
<b>Мониторинг радиозоологической обстановки в районе расположения законсервированного могильника твердых радиоактивных отходов на территории Опытной научно-исследовательской станции.....</b>	<b>64</b>
<i>Булаев Н. А., Булаева Е. О. ....</i>	<i>64</i>
<b>Спектр вредных химических соединений, воздействующих на работников химико-металлургического производства ПО «Маяк» .....</b>	<b>68</b>
<i>Васина М. А., Рабинович Е. И. ....</i>	<i>68</i>
<b>Денуклеаризация Корейского полуострова – основа радиационной безопасности Дальнего Востока Российской Федерации.....</b>	<b>72</b>
<i>Другова К. В., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>72</i>
<b>Сравнительный анализ смертности и продолжительности жизни у работников плутониевого и других производств ПО «Маяк» .....</b>	<b>77</b>
<i>Лёгких И. В. ....</i>	<i>77</i>
<b>Метод безразмерных координат в задачах межвидовой экстраполяции.....</b>	<b>81</b>
<i>Осовец С. В., Тихонова М. А. ....</i>	<i>81</i>
<b>Биологическая дозиметрия внешнего гамма-облучения у работников ПО «Маяк». ....</b>	<b>84</b>
<i>Синельщикова О. А., Сотник Н. В. ....</i>	<i>84</i>
<b>Оценка функционального состояния печени у работников атомного предприятия при раневом поступлении радионуклидов. ....</b>	<b>89</b>
<i>Сокольникова С. С., Поволоцкая С. В. ....</i>	<i>89</i>
<b>Обеспечение радиационной безопасности территории Приморья .....</b>	<b>92</b>
<i>Фазиева В. В., Тананаев И. Г. ....</i>	<i>92</i>
<b>МЕХАНИКА, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>97</b>
<b>Применение метода динамического программирования для проектирования оптимальных циклов механической обработки в условиях современного автоматизированного производства .....</b>	<b>97</b>
<i>Акинцева А. В. ....</i>	<i>97</i>
<b>Обработка заготовок из титановых сплавов.....</b>	<b>101</b>
<i>Ахлюстина В. В., Логунова Э. Р. ....</i>	<i>101</i>

<b>Возможности замены металлических деталей на полиуретановые.....</b>	<b>104</b>
<i>Бельшева К. С.....</i>	<i>104</i>
<b>Способы упрочнения поверхностей деталей машин при изготовлении и сборке .....</b>	<b>106</b>
<i>Глазунов А. С.....</i>	<i>106</i>
<b>Разработка способа неразрушающего контроля детонационных свойств ВВ-ТТ.....</b>	<b>108</b>
<i>Батьков М. Ю., Липенкова Л. И. ....</i>	<i>108</i>
<b>Исследование процессов срезания припусков зенкером с МНП .....</b>	<b>112</b>
<i>Донцова Ю. Д., Токарева О. А. ....</i>	<i>112</i>
<b>Расчет силы сдвига тонких высококоэрцитивных постоянных магнитов из сплавов КС-25ДЦ и ЧЗ6Р в магнитных системах и магнитных муфтах.....</b>	<b>115</b>
<i>Красильников А. Я., Красильников А. А., Таранов Д. В. ....</i>	<i>115</i>
<b>Разработка легкоразъемной упругой муфты с саморазрушающимся вкладышем.....</b>	<b>119</b>
<i>Паришкова Н. Ю., Лушина Ю. Ю., Жарков В. В. ....</i>	<i>119</i>
<b>Электропривод для малых угловых скоростей .....</b>	<b>123</b>
<i>Сосюрко В. Г. ....</i>	<i>123</i>
<b>МАТЕМАТИКА. ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА .....</b>	<b>125</b>
<b>Наилучшее приближение производных класса Харди другим классом Харди .....</b>	<b>125</b>
<i>Акопян Р. Р. ....</i>	<i>125</i>
<b>Неравенство Планшереля – Поля для целых функций экспоненциального типа .....</b>	<b>127</b>
<i>Берестова Е. В.....</i>	<i>127</i>
<b>Оценка сверху точной константы в неравенстве Турана для односвязной компактной области .....</b>	<b>130</b>
<i>Горячева Ю. С.....</i>	<i>130</i>
<b>Управление робототехнической системой на нечеткой логике.....</b>	<b>132</b>
<i>Еремин В. Е., Мякушко Э. В.....</i>	<i>132</i>
<b>Оптимизация комплекса средств измерения .....</b>	<b>134</b>
<i>Тараканов А. А., Мякушко В. В.....</i>	<i>134</i>
<b>Минимизация конечных автоматов по методу Бржозовского .....</b>	<b>139</b>
<i>Пономарев В. В. ....</i>	<i>139</i>
<b>Программа для анализа цепочек произвольного КС-языка алгоритмом нисходящего разбора с возвратами.....</b>	<b>142</b>
<i>Баинбетова В. В., Пономарев В. В.....</i>	<i>142</i>
<b>Язык и программа разметки HTML-страниц тегами &lt;Table&gt; .....</b>	<b>144</b>
<i>Тухватуллина А. Р., Пономарев В. В.....</i>	<i>144</i>
<b>Язык и интерпретатор описания визитных карточек.....</b>	<b>146</b>
<i>Горночакова И. С.....</i>	<i>146</i>

<b>Отражение экологической составляющей профессионализма в педагогической литературе .....</b>	<b>148</b>
<i>Акопян О. В., Ананьина Е. В.....</i>	<i>148</i>
<b>Эксплуатационный контроль и защита электродвигателей на технологическом оборудовании .....</b>	<b>151</b>
<i>Закирова Н. В. ....</i>	<i>151</i>
<b>Преподавание дисциплин в сфере информационной безопасности в части изучения нормативно-правовых актов.....</b>	<b>155</b>
<i>Зубаиров А. Ф.....</i>	<i>155</i>
<b>Формирование портфолио курсовых работ студентов.....</b>	<b>160</b>
<i>Оникова М. С.....</i>	<i>160</i>
<b>Дифференциальные уравнения как математические модели реальных процессов .....</b>	<b>162</b>
<i>Комлева И. А., Полковникова О. О.....</i>	<i>162</i>
<b>Разработка визуальной модели эффекта Комптона .....</b>	<b>166</b>
<i>Лаптев А. П.....</i>	<i>166</i>
<b>Регистрация биомедицинских сигналов с использованием среды визульно-графического программирования LabView.....</b>	<b>169</b>
<i>Секач М. С.....</i>	<i>169</i>
<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ.....</b>	<b>173</b>



## ПРИВЕТСТВИЕ М. Н. СТРИХАНОВА



Приветствую участников XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Дни науки ОТИ НИЯУ МИФИ - 2018», проводимой в рамках Научной сессии Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и посвященной 70-летию создания ФГУП «ПО «Маяк»!

НИЯУ МИФИ прочно занимает самые высокие позиции в российских и международных рейтингах мировых ВУЗов, что связано с нашей активной научной позицией фактического лидера на рынке труда атомной отрасли. Сегодня мы не только готовим специалистов, способных к восприятию нового научного подхода и новых знаний, но и молодых ученых – практиков и теоретиков.

В развитии атомной отрасли создаются новые научные и прикладные направления, технологии и производства. Предприятия ГК «Росатом», ставя перед собой задачу безусловной безопасности действующих технологий, превращаются в крупные ядерные центры компетенций, ведущих к новым прорывным направлениям деятельности.

Одним из лидеров таковых традиционно выступает Производственное объединение «Маяк» - перспективный работодатель, неуклонно повышающий требования к будущим кандидатам на рабочие места. В этой связи участие в столь масштабной Всероссийской конференции, каковой являются «Дни науки ОТИ НИЯУ МИФИ - 2018», представляется важным и полезным для Вас и предприятия мероприятием.

Уверен, что Конференция откроет новые молодые дарования, позволит обеспечить творческое взаимодействие молодых ученых академической, вузовской и производственной науки.

Желаю всем участникам конференции творческих побед, плодотворного общения, неиссякаемого энтузиазма и благополучия!

Ректор Национального исследовательского  
ядерного университета

М.Н. Стриханов

## ПРИВЕТСТВИЕ Б. Ф. МЯСОЕДОВА

Дорогие участники конференции, коллеги, друзья!

Позвольте мне от имени Российской Академии наук сердечно поздравить Вас с открытием XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Дни науки ОТИ НИЯУ МИФИ - 2018», проходящей в знаменательный год - Год науки Госкорпорации «Росатом».

Проводимая ежегодно на Уральской земле Конференция «Дни науки» не только востребована, но и получила всероссийское признание. В этом нет ничего удивительного – проблемы ядерной науки и техники, создания приборов и аппаратов, обсуждения основ гуманитарных начал научного познания объединяются для решения важнейших задач безопасности Государства, развития гармонической личности, обращения к истории нашей Родины.

В этом году Конференция «Дни науки ОТИ НИЯУ МИФИ - 2018» посвящена 70-летию Юбилею Производственного объединения «Маяк» - уникального предприятия, на котором появлялись и реализовывались передовые научные идеи, успешно внедрялись прорывные технологии. Научный потенциал всегда был визитной карточкой «Маяка».

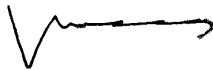
Необходимо отметить, что именно молодежь, закончившая Филиал № 1 Московского инженерно-физического института – МИФИ (ныне – Озерский технологический институт НИЯУ МИФИ), десятилетиями пополняла творческий коллектив предприятия, становилась его научно-производственной элитой.

Научные конференции всегда дают новые знания, ставят новые цели, объединяют единомышленников, друзей и соратников, работающих в близких областях науки. Я уверен, что Ваше участие в Конференции станет залогом Ваших новых научных достижений и оригинальных технических решений.

Желаю Вам успешной работы на Конференции, новых научных идей, обретения нового научного партнерства!

Удачи, мои уважаемые Коллеги!

Академик  
Российской Академии наук



Б.Ф. Мясоедов



## ПРИВЕТСТВИЕ М. И. ПОХЛЕБАЕВА



Уважаемые участники XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Дни науки ОТИ НИЯУ МИФИ - 2018»! От души поздравляю Вас с этим замечательным событием!

В этом году, проходящем под знаком Года науки Госкорпорации «Росатом», Конференция посвящена 70-летию юбилею нашего предприятия – Производственного объединения «Маяк».

Сегодня ФГУП «ПО «Маяк» - первенец и ведущее предприятие отечественной атомной промышленности – решает важнейшие задачи инновационной диверсификации действующих технологий в сфере оборонного производства, переработки отработавшего ядерного топлива, выпуска изотопной продукции, обращения с радиоактивными отходами.

Процесс создания новых методов и подходов к оптимизации действующих радиохимических производств требует участия высококвалифицированных специалистов, получивших комплексное ядерное образование.

ОТИ НИЯУ МИФИ – обновленный за прошедшее десятилетие ВУЗ, ориентирован на выпуск молодых специалистов, обладающих высокой квалификацией, конструктивной инициативой и творческим потенциалом. Научно-практическая конференция – прекрасный повод совместно с молодежью обратиться к новым знаниям, оценить собственные успехи и свершения коллег.

Желаю Вам в рамках проведения Конференции выявить новых талантливых и перспективных молодых ученых, которые могут стать передовыми работниками нашего предприятия. Мы должны вместе закрепить творческую и инициативную молодежь на ФГУП «ПО «Маяк», создать возможность развивать себя в сфере науки и высоких технологий атомной отрасли.

Желаю всем участникам конференции блестящих выступлений, творческих побед, обретения новых друзей, терпения на нелегком пути научного познания.

Генеральный директор ФГУП «ПО «Маяк»

М.И. Похлебаев



# ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 621.039.7

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРИЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Андреева Н. И., Измоденова А. А., Федорова О. В.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ  
г. Озёрск, Челябинская область*

Nadya-Andreeva22@yandex.ru, Anna-izmodenova@mail.ru, OVfedorova@mephi.ru

Известно, что метод спектрофотометрического определения тория имеет высокую чувствительность, избирательность, низкий предел обнаружения (0,2 мг/л - 2 мг/л). В рамках выполнения данной работы установлен оптимальный диапазон проведения определения тория. Показано, что данный метод может быть рекомендован для включения в лабораторный практикум дисциплины «Технология основных материалов современной энергетики» для студентов специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики».

*Ключевые слова:* торий, спектрофотометрический метод обнаружения, арсеназо III, химическая технология, количественный анализ, предел обнаружения, концентрация

## THORIUM IDENTIFICATION BY A SPECTROPHOTOMETRIC METHOD

Andreeva N. I., Izmodenova A. A., Fedorova O. V.

*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

It is known that the method of spectrophotometric identification of thorium is of high sensitivity, selectivity, a low limit of detection (0,2 mg/l – 2 mg/l). An optimum range of thorium identifying is established. It is shown that this method can be recommended for its inclusion into laboratory practical work on the discipline of "Technology of basic materials of modern power engineering" for students of specialty 18.05.02 "Chemical technology of modern power engineering materials".

*Keywords:* thorium, spectrophotometric method of identification, arsenazo III, chemical technology, quantitative analysis, detection limit, concentration

Торий долгое время не находил серьезного промышленного применения и лишь перспективные потребности ядерной энергетики стимулировали интенсивное исследование свойств этого элемента. Современное практическое применение тория заключается в использовании его для получения делящегося изотопа  $^{233}\text{U}$ .

В рабочем учебном плане специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики» предусмотрена дисциплина «Технология основных материалов современной энергетики», включающая в себя практикум по химии тория. В связи с чем, возникает задача определения тория в лабораторных условиях в широком диапазоне концентраций с помощью доступных реактивов.

Одним из доступных методов определения тория в лабораторных условиях, является метод анализа тория основанный на спектрофотометрии. Данный метод имеет высокую чувствительность, избирательность и низкий предел обнаружения.

Современная спектрофотометрия – это инструментальный метод, основанный на измерении поглощения электромагнитного излучения в ультрафиолетовой (УФ, 200-380 нм),

видимой (380-780 нм) и ближней инфракрасной (ИК) областях спектра. Наряду с выполнением количественных аналитических определений спектрофотометрические методы широко применяются в фундаментальных исследованиях, например, для определения состава соединений, величин констант кислотности, основности и устойчивости комплексов. [1, с. 5]

Признаком применимости спектрофотометрического метода является количественное определение очень малых количеств тория в окрашенных соединениях с арсеназо III. Так как арсеназо III обладает высокой избирательностью вследствие образования устойчивых комплексов, особенно с много зарядными ионами в сильнокислых средах [3, с. 39].

Работа посвящена оценке возможности использования спектрофотометрического метода для определения концентраций тория с арсеназо III и определению границ применимости данного метода.

Для проведения экспериментов были использованы растворы  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$  с концентрацией 5 мг/л и 7,26 г/л. Азотная кислота с концентрацией 12,6 моль/л. Раствор сульфаниловой кислоты с концентрацией 8 г/л. Раствор арсеназо III с концентрацией 0,05%;

В ходе работы был исследован спектр поглощения тория с арсеназо III в диапазоне длин волн от 600 до 710 нм, так как спектр поглощения комплексов арсеназо III с элементами имеет два максимума, фотометрическое определение элемента обычно выполняют при  $\lambda=660-665$  нм, поскольку светопоглощение самого реагента при  $\lambda=660-665$  нм значительно меньше, чем при  $\lambda=610-612$  нм. Полученные данные хорошо согласуются с литературным источником [2, с. 36].

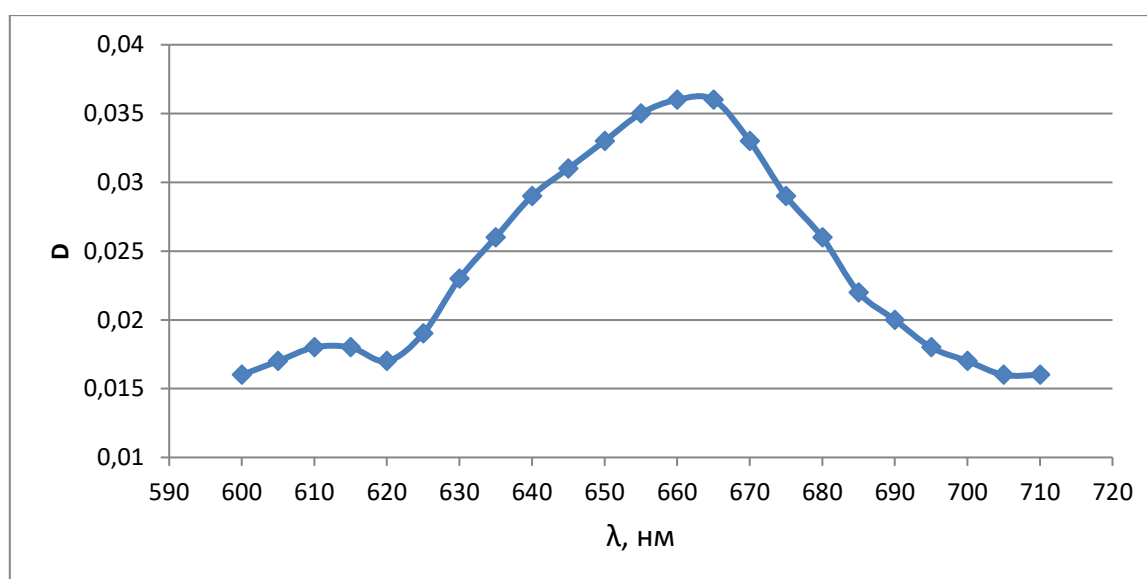


Рисунок 1 – Спектр поглощения комплекса тория с арсеназо III.  
Концентрация тория - 5 мг/л, арсеназо III- 0,05%.

Следующим этапом работы являлось определение диапазона концентраций тория, пригодного для его обнаружения. Для определения тория используются следующие приборы и реактивы: КФК-3; Азотная кислота [12,6 моль/л]; Раствор сульфаниловой кислоты [8 г/л]; Раствор арсеназо III [0,05%]; Раствор  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$  [5 мг/л].

Зависимость оптической плотности от концентрации тория представлена на рис.2.

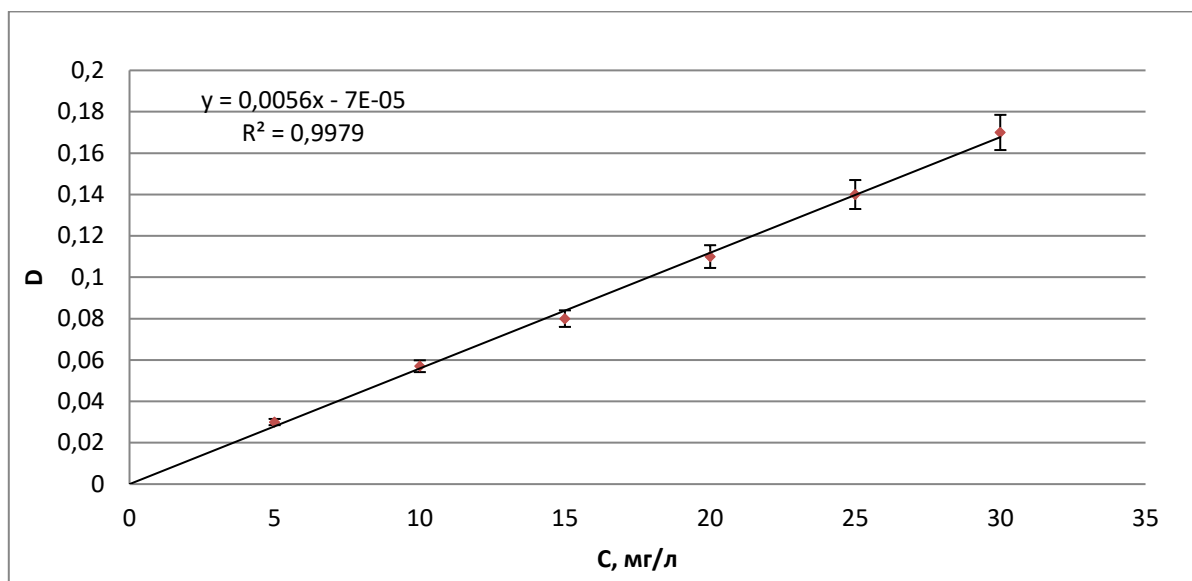


Рисунок 2 – График зависимости оптической плотности от концентрации.  
Концентрация  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 = 5 \text{ мг/л}$ ,  $\lambda = 660\text{-}665\text{нм}$

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что оптимальными условиями для определения тория спектрофотометрическим методом являются следующие:

$\lambda = 660\text{-}665\text{нм}$  (красный светофильтр);

диапазон определяемой концентраций тория 0,2 мг/л - 2мг/л.;

Работа, выполняемая в данных условиях, рекомендуется для включения в лабораторный практикум для студентов специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики». При выполнении данной работы студенты освоят компетенции, направленные на способность профессионально использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, способность к проведению научного исследования и анализу полученных при его проведении результатов, которые, безусловно, помогут им стать конкурентоспособными, на рынке труда.

#### Библиографический список

1. Амелина Г.Н., Егоров Н.Б., Жерин И.И. Фотометрические методы определения урана, тория и плутония: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Химические и физико-химические методы анализа ядерных материалов» для бакалавров направления 14.03.02 «Ядерная физика и технологии» / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 50 с.
2. Каляцкая Г.В., Страшко А.Н. Химия и аналитическая химия урана и тория: Учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2011. - 80 с.
3. Жерин И.И., Амелина Г.Н., Егоров Н.Б. Оптические методы определения урана и тория: Учебное пособие/под ред. И.И. Жерина; Томский политехнический университет. - 2-е изд.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008-134с.



УДК 546.05

## СИНТЕЗ ВЫСОКОГИДРОФОБНЫХ НЕФТЕСОРБЕНТОВ С МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Драньков А. Н., Тананаев И. Г., Мясоедов Б. Ф.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток  
ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва  
geokhi@mail.ru

В настоящей работе представлен оригинальный способ для синтеза гидрофобного нефтесорбента на основе синтетического моносилката кальция со структурой ксонотлита, гидрофобизированный добавкой силан-силоксановой микроэмульсии и включающий наноразмерную магнитную фазу оксидов железа (магнетита).

**Ключевые слова:** нефтесорбенты, гидрофобность, магнитность, темплат, золь-гель синтез.

## SYNTHESIS OF HIGHLY HYDROPHOBIC OIL SORBENT WITH MAGNETIC PROPERTIES

Dran'kov A. N., Tananaev I. G., Myasoedov B. F.

Far Eastern Federal University, Vladivostok  
Frumkin Institute of physical chemistry and electrochemistry RAS, Moscow

This paper presents an original method for the synthesis of hydrophobic oil sorbent based on synthetic monosilicate of calcium with xonotlite structure hydrophobized by the addition of silane-siloxane microemulsion and the nanosized magnetic phase of iron oxides (magnetite).

**Keywords:** oil sorbents, hydrophobicity, magnetism, templates, sol-gel synthesis, sorption of hydrocarbons

Синтез гидрофобного сорбента на основе силиката кальция осуществляли темплатным (матричным) золь-гель методом. В этом случае золь-гель технология обеспечивала формирование неорганической основы материала, каркаса в виде аморфного силиката кальция (ксонотлита), а темплатный синтез позволял ввести в его объем магнитный порошок (магнетит) и гидрофобизирующую добавку в виде микроэмульсии (темплат), представляющую собой коллоидный раствор - дисперсия из мицелл типа «ядро-оболочка» [2], четкого размера и сферической формы (рис. 1).

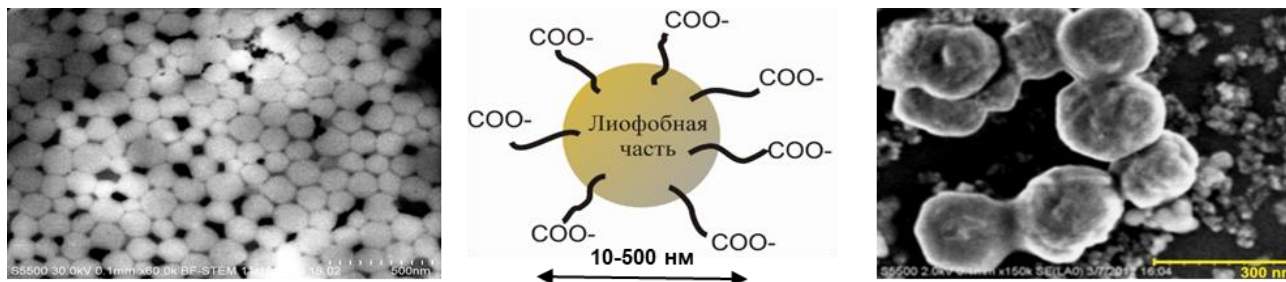


Рисунок 1 – Строение мицеллы, содержащей в своем составе металл-прекурсор, связанный с функциональными группами.

Согласно золь-гель методу на первоначальной стадии осуществляется гидролиз и поликонденсация прекурсоров с образованием золя и далее гидрогеля силиката кальция ( $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) в присутствии темплата (микроэмульсии). Силикатный гель покрывает всю поверхность частиц эмульсии, формируя сплошную силикатную оболочку, как показано на общей схеме синтеза (рис. 2). При определенном количестве введенного силикатного прекурсора данная коллоидная система становится неустойчивой и происходит разделение фаз на твердую (смесь гидрогеля силиката кальция и частиц латекса) и жидкую (неорганические соли). Удаление несвязанной воды из твердой фазы, путем сушки геля при  $100^\circ\text{C}$ , приводит к образованию прочного композитного материала (ксерогеля) на основе ксонотлита ( $\text{Ca}_6[(\text{OH})_2\text{Si}_6\text{O}_{17}]$ ) содержащего частицы микроэмульсии и на поверхности магнитные частицы оксидов железа [3].

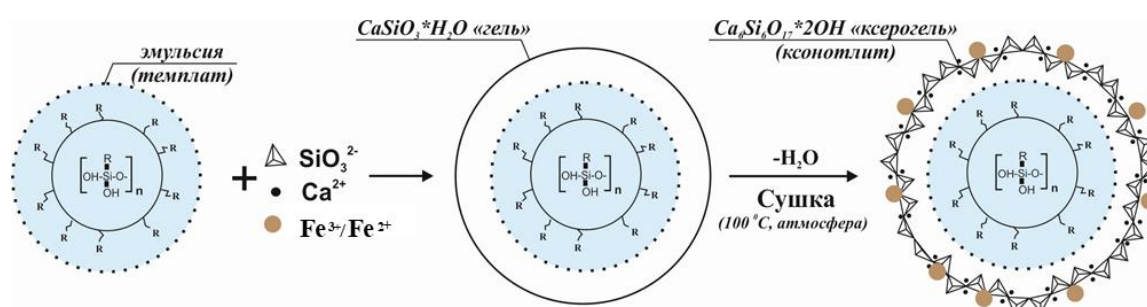


Рисунок 2 – Общая схема синтеза гидрофобного сорбента на основе моносилката кальция содержащий силан-акрилатную микроэмульсию.

С целью формирования магнитных свойств сорбента, проводили синтез наноразмерных частиц оксидов железа (состав 30 %  $\text{FeO}$  – вюстит и 70 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – маггемит) в процессе золь-гель формирования фазы ксонотлита, в присутствии мицелл эмульсии (рис. 2).

Микроскопические исследования полученного сорбента позволили установить, что морфология поверхности материала имеет рыхлую микроструктуру и характеризуется наличием наноразмерных пор (рис. 3).

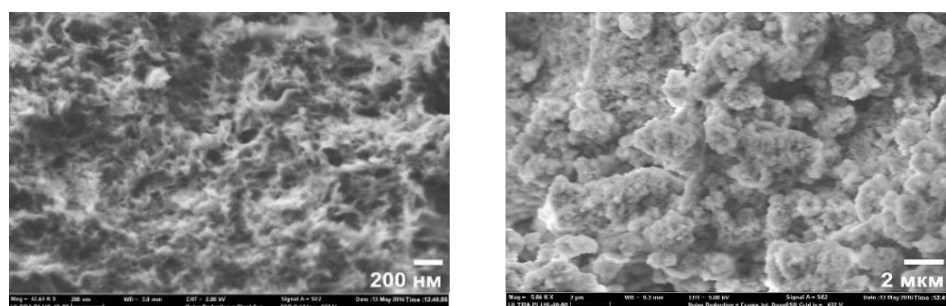


Рисунок 3 – СЭМ - изображения поверхности полученного образца гидрофобного силикатного сорбента

Проведена оценка магнитных свойств полученного композита, а именно определение величины намагниченности в условиях воздействия магнитного поля (рис. 4С). Данная полевая зависимость намагниченности характеризуется малыми значениями коэрцитивной силы ( $\sim 20$  Э) и остаточной намагниченности. Так же следует отметить, что полученный образец относится к магнитомягким материалам с маленькой остаточной намагниченностью и имеет намагниченность насыщения около 4 э.м.е./г.

Степень гидрофобности силикатного сорбента оценивали по измерению краевого угла  $\theta$  (или угол смачивания), который определяли по общеизвестному методу сидящей капли [1]. Каплю воды помещали на горизонтальную поверхность исследуемого материала, фотографировали и по профилю капли рассчитывали краевой угол  $\theta$  (рис. 4В). Таким образом,

было установлено, что краевой угол смачивания исследуемого сорбента водой составил  $132,9^\circ$ , что классифицирует его как гидрофобный.

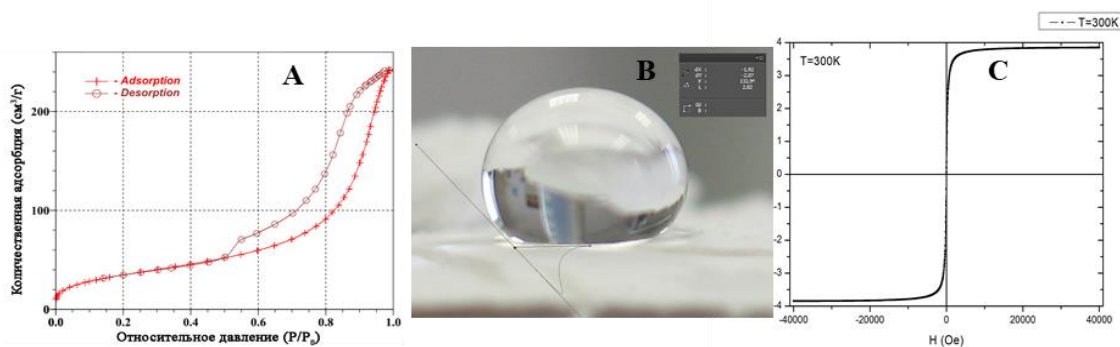


Рисунок 4 – Результаты анализа структурных и магнитных характеристик:

А- низкотемпературная сорбция азота, В- измерение краевого угла  $\theta$  (или угол смачивания),  
С- полевая зависимость намагниченности.

В качестве еще одного показателя степени гидрофобности исследуемого сорбента была определена его плавучесть. В результате эксперимента было установлено, что силикатный сорбент, имея насыпную плотность  $\rho=2,5 \text{ г/см}^3$ , остается на поверхности воды в насыщенном НП состоянии в течение 30 суток, что позволяет отнести его к адсорбентам высокой плавучести. Очевидно, что высокая степень плавучести сорбента связана с его гидрофобностью, в том числе и структурой (воздух, содержащийся в порах сорбента, не может быть вытеснен водой).

Первоначально были проведены модельные системы, имитирующие разлив НП на поверхности воды. Для этого осуществляли нанесение известного количества НП на поверхность воды. Затем на пятно НП равномерно наносился слой адсорбента (фракцией 2–3 мм) определённой массы и выдерживался в течении некоторого времени до полного насыщения адсорбента нефтепродуктом. Количество сорбированного нефтепродукта определялось по разности массы сорбента до и после очистки.

Вторым этапом проводили измерение массовой концентрации НП в модельном растворе оставшихся после извлечения сорбента, насыщенного НП. Для измерения применяли ИК-спектрофотометрический метод, который основан на зависимости интенсивности поглощения С-Н связей в инфракрасной области спектра  $(2930 \pm 70) \text{ см}^{-1}$  от массовой концентрации НП в элюате.

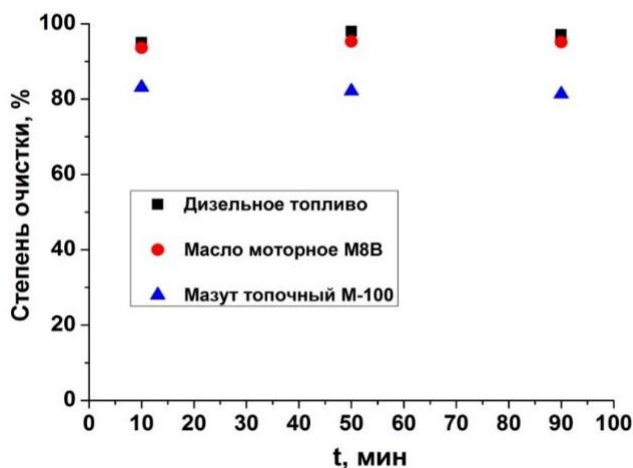
Определение адсорбционной емкости (нефтеёмкости) полученного гидрофобного силикатного сорбента определяли по соотношению массы впитавшейся нефти к массе сорбента (среднее из 3 опытов) результаты измерений приведены в табл. 2. В качестве модельных систем для определения нефтеёмкости использовали следующие виды НП: мазут топочный марки М-100, дизельное топливо, масло моторное универсальное М8В.

Таблица 2 – Адсорбционная емкость синтезированного гидрофобного силикатного сорбента

Образец	Адсорбционная ёмкость, г/г		
	по дизельному топливу	по маслу М8В	по мазуту
Гидрофобный сорбент	2,03	2,22	2,47

Результаты исследования сорбционной эффективности гидрофобного силикатного материала по отношению к различным модельным системам НП представлены (рис. 5).





Рисуно 5 – Зависимость степени очистки модельного раствора от НП в условиях статической сорбции в присутствии гидрофобного сорбента от времени выдержки.

Согласно результатам, отраженным на зависимости (рис. 5), можно сделать вывод, что исследуемый гидрофобный материал на основе силиката кальция обладает высокой сорбционной эффективностью по отношению к НП различного типа: скорость насыщения сорбента нефтепродуктом высока в первые минуты контакта, степень очистки достигает 95-98 % в случае дизельного топлива и моторного масла. Максимальная сорбция мазута М-100 составляет около 83 %, свыше указанного значения сорбент тонет, в виду высокой плотности мазута. Установлено, что нефтеёмкость сорбента, рассчитанная по соотношению массы сорбированного НП (любого из указанного выше вида) к массе сорбента, составляет в среднем 3:1.

В работе проведена оценка физико-химических свойств полученного магнитного композита, в том числе определение величины его намагниченности в условиях воздействия магнитного поля. Данный материал относится к магнитомягким материалам с маленькой остаточной намагниченностью и имеет намагниченность насыщения около 4 э.м.е./г. Установлено, что структура сорбента характеризуется наличием микро- и наноразмерной пористости (величина удельной поверхности 130 м<sup>2</sup>/г). Измерена степень гидрофобности сорбента, показано, что его угол смачивания (или краевой угол) водой составляет 132,9°, что классифицирует как гидрофобный. Определен параметр плавучести сорбента, выявлено, что испытуемый сорбент остается на поверхности воды в насыщенном НП состоянии в течение 30 суток, что позволяет отнести его к адсорбентам высокой плавучести.

*Работа подготовлена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 33 «Углеродная энергетика: химические аспекты»*

#### Библиографический список

1. Нуштаева А.В., Мельникова К.С., Просвирнина К.М., Нуштаева С.А. Измерение краевого угла методом сидячей капли на вертикальной поверхности. // Фундаментальные исследования - 2015. - Т. 2, № 13 - С. 2855-2859.
2. Papynov E.K., Mayorov V.Yu, Palamarchuk M.S., Bratskaya S.Yu, Avramenko V.A. Sol-gel synthesis of porous inorganic materials using «core-shell» latex particles as templates. // J Sol-Gel Sci. Technol. – 2013. –Vol. 68. –P.374–386.
3. Papynov E.K., Mayorov V.Yu., Palamarchuk M.S., Avramenko V.A. Peculiarities of formation of phase composition, porous structure, and catalytic properties of tungsten oxide-based macroporous materials fabricated by sol-gel synthesis. // Materials Characterization – 2014. – Vol. 88 -P. 42-51.

УДК 546.42:621.039.72

**НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ  
КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ И ВЫДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ  
ИЗ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ВОД**

Дергунова Д. П., Тананаев И. Г.

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток**ФГБУН «Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук», г. Москва*

geokhi@mail.ru

Представлены результаты использования современных наноструктурированных сорбционных материалов (высокопористые активированные угли, углеродные нанотрубки, наноалмазы детонационного синтеза, оксид графена, модифицированные древесные угли, матрицы, допированные гуминовыми кислотами) для очистки природных и техногенных вод, загрязненных радионуклидами.

*Ключевые слова:* наноструктурированные сорбционные материалы, радиоэкология, радионуклиды

**NANOSTRUCTURED SORPTION MATERIALS FOR THE CONCENTRATION AND  
ISOLATION OF RADIONUCLIDES FROM NATURAL AND TECHNOGENIC WATERS**

Dergunova D. P., Tananaev I. G.

*Far Eastern Federal University, Vladivostok**Vernadsky Institute RAS, Moscow*

The paper presents the results of the use of modern nanostructured sorption materials (highly porous activated carbons, carbon nanotubes, detonation synthesis nanodiamonds, graphene oxide, modified charcoal, matrices, doped with humic acids) for purification of natural and technogenic waters contaminated with radionuclides.

*Keywords:* nanostructured sorption materials, radioecology, radionuclides

Радиоактивное загрязнение территории РФ в целом, и Приморского Края в частности, возникло в связи с глобальными выпадениями радионуклидов при атмосферных испытаниях атомного оружия, авариями на объектах ядерного оружейного комплекса (ВУРС, 1957; бух. Чажма, 1985) и топливного цикла (Чернобыльской АЭС, 1986), а также авариями, случившимися за рубежом (АЭС Фукусима-1, 2011). Так, после чернобыльской аварии содержание  $^{137}\text{Cs}$  в атмосфере Приморского края в 1986 г. увеличилось в 8-16 раз,  $^{90}\text{Sr}$  в 2-3 раза. В результате загрязнения почв г. Владивостока продуктами глобальных выпадений фоновая концентрация  $^{137}\text{Cs}$ , достигает 3-10 Бк/кг, а  $^{90}\text{Sr}$  - 5-12 Бк/кг. В фауне и флоре фоновое содержание  $^{137}\text{Cs}$  изменяется в пределах 1-6 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  - от 2 до 8 Бк/кг. Выбросы АЭС «Фукусима-1» в атмосферу земли, и поступление радионуклидов с воздушными массами, перемещающимися с запада на восток, привели к появлению в объектах окружающей среды радионуклида  $^{134,137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  [1, 2, с.67, 15].

Была поставлена задача поиска, разработки современных технологий и внедрения современных сорбционных материалов, обеспечивающих окончательное удаление накопленных жидких радиоактивных отходов (ЖРО), очистку и реабилитацию загрязненных радионуклидами и токсичными элементами природных объектов.

Наиболее удобным методом удаления радиоактивных и токсических элементов является сорбционный метод с применением эффективных, недорогих и доступных отечественных сорбционных материалов. Среди упомянутых материалов, на наш взгляд, наиболее перспективными выступают наноструктурированные сорбционные материалы, такие как высокопористые активированные угли, в том числе, допированные оксигидроксидом железа и диоксида марганца; окисленные модифицированные древесные угли; углеродные нанотрубки, фуллерены, графен; наноалмазы детонационного синтеза; природные минералоподобные матрицы, декорированные гуминовых кислот.

В рамках исследований выполнены следующие задачи: (1) разработаны методы получения упомянутых материалов заданного состава и дисперсности; (2) определены сорбционные механизмы; (3) изучены физико-химические, механические, химические свойства полученных наноматериалов; (4) разработаны новые методы и подходы по их применению для очистки технических стоков и питьевой воды от долгоживущих радионуклидов (Cs-137, Sr-90, актинидные элементы, Tc) и токсичных элементов (Cr, Pb, Mo и др.).

Перспективные высокопористые активированные угли были получены методом электронно-лучевой конверсии лигно-целлюлозных композиций пучком ускоренных электронов (линейный ускоритель УЭЛВ-10-10Т, энергия 8 МэВ, ток пучка  $\leq 800$  мкА, мощность доз 2,1 кГр/с). Показано, что при использовании электронно-лучевого режима обработки материала он сохраняет структуру фибрилл, упрочняет и увеличивает его свободную поверхность и сорбционную ёмкость [6,17,18]. Предварительные эксперименты показали, что при использовании наноструктурированных функциональных активированных углей достигается высокая очистка от Cs-137, Sr-90, Tc-99 с коэффициентами распределения не ниже  $10^6$  см<sup>3</sup>/г [5-7].

Обнаружено, что в ряду перспективных углеродных материалов большой интерес вызывают углеродные нанотрубки (УНМ) - одномерные наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита в виде порошка. Их основные особенности состоят в большой поверхности, устойчивости в растворах кислот, щелочей, растворителей, высокой сорбционной способностью, хорошими кинетическими свойствами, легкостью регенерации после извлечения, возможностью модифицирования с целью повышения сорбционной емкости и избирательности извлечения, получения композиционных материалов. На платформе матрицы «Таунита» синтезированы, испытаны и внедрены композиционные неорганические сорбенты, содержащие ферроцианиды калия-железа(III) (ФЖ-Т); калия-никеля (ФН-Т); а также диоксид марганца (ДМ-Т). Показано, что коэффициенты распределения (Кр) <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr при сорбции на указанных материалах из модельных технологических растворов с pH от 1 до 9 превышают величину  $10^4$  см<sup>3</sup>/г, что выше, чем при сравнении с промышленно выпускаемым российским сорбентом марки МДМ [4,5,8]. Перспективными оказались образцы УНМ, функционализированные органическими макроциклическими экстрагентами - краун-эфирами [3].

Разработаны эффективные методы сорбционного концентрирования, извлечения опасных долгоживущих радионуклидов из сложных природных и техногенных объектов с последующей их локализацией с применением древесных углей, их продуктов окисления. Показано, что в малосолевых нейтральных и кислых растворах наилучшие образцы сорбентов извлекают цезий с  $K_d^{137} = 10^6$  см<sup>3</sup>/г [9-13].

Изучена кинетика сорбции Th(IV), Pu(IV), Am(III), Eu(III), U(VI), Sr(II), Tc(VII) и Np(V) на оксиде графена в зависимости от различного времени контакта фаз, pH и концентрациях сорбата. Показано, что равновесие в системе устанавливается уже в течение первых 5 мин взаимодействия даже при низких концентрациях материала (0,1 г в 1 л) в растворе. Обнаружено, что максимумы сорбции катионов оксидом графена достигаются при различных величинах pH, что позволяет осуществить селективное их извлечение. Например, при pH 1,5

количественно выделяются катионы Th(IV) и Pu(IV), при pH 2,3 - Am(III) и Eu(III) и т.д., тогда как другие из перечисленных выше катионов остаются в растворе [16].

Разработаны технологии получения «детонационных» наноалмазов с содержанием алмазной фазы: 98 %, размера первичных частиц от 4 до 6 нм, плотности 3,48 г/см<sup>3</sup> и удельная поверхность от 400 м<sup>2</sup>/г. Показано, что из загрязненных радионуклидами растворов 1М NaClO<sub>4</sub> на образцах детонационных наноалмазах с Кр от 10<sup>3</sup> до 10<sup>4</sup> см<sup>3</sup>/г количественно извлекаются такие радионуклиды, как радиоцезий, радиостронций, Am(III), Th(IV), Np(V), Eu(III), U(VI) и некоторые другие [16].

Подвергнутый термообработке при 900-1500 °С графит в определенных условиях приобретает форму «раскрытых лепестков» с сотовой микроструктурой. Образующийся материал – пенокорунд – также был использован для локализации тритийсодержащего вакуумного масла в цементные композиции, сорбированные пенографитом. Показано, что полученные композиты обладают высокой удерживающей способностью по отношению к выщелачиванию трития при контакте матрицы с водой: эффективные коэффициенты диффузии трития имеют порядок от 10<sup>-15</sup> до 10<sup>-16</sup> м<sup>2</sup>/с [14]. Среди материалов, построенных из атомов углерода, особое место занимает так называемый активный углерод, или «пористый углеродный материал» (ПУМ). Поры различают по размерам на микропоры (<2 нм), мезопоры (2-50 нм) и макропоры (>50 нм). Благодаря наличию пор ПУМ имеют развитую поверхность и способны адсорбировать жидкости, газы и аэрозоли, в том числе, радиоактивные [14].

Предложены методы сорбционного концентрирования, извлечения из природных вод и технологических растворов трансурановых элементов модифицированными сорбционными материалами на основе гуминовых кислот (ГК). ГК, как класс высокомолекулярных функциональных соединений, не только участвуют в редокс-процессах с ионами поливалентных металлов, но и обладают комплексообразующими свойствами за счет наличия гидроксильных, карбонильных, карбоксильных и других хелатных групп. Синтезирован ряд модифицированных сорбентов на основе ГК, которые извлекают U(VI), Np(V), Pu(V), Am(III) из различных систем в оптимальных условиях с коэффициентами распределения от 10<sup>3</sup> до 10<sup>4</sup> см<sup>3</sup>/г [16].

*Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН I.34 (0137-2018-0052)*

#### Библиографический список:

1. Абрамов В.А., Молев В.П. Эколого-радиометрический мониторинг Южного Приморья – Владивосток.: Дальнаука, - 2005.- 314 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2014 году / Администрация Приморского края - 2015. С. 96; [Электронный ресурс] <http://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/docs>
3. Демин С.В., Цивадзе А.Ю. Извлечение радионуклидов из многокомпонентных растворов с использованием макроциклических полиэфиров. / Шестая Российская конференция по радиохимии «РАДИОХИМИЯ-2009». Москва. 12-16 октября 2009 г. Тезисы докладов: РИЦ ВРБ ФГУП «ПО «Маяк» -2009.- С. 132.
4. Милютин В.В., Гелис В.М., Кулюхин С.А., Тананаев И.Г., Мясоедов Б.Ф. Сорбционное концентрирование радионуклидов углеродным наноструктурным материалом «Таунит» и модифицированными сорбентами на его основе. / Шестая Российская конференция по радиохимии «РАДИОХИМИЯ-2009» 12-16 октября 2009 г. Тезисы докладов. Москва 2009. - С. 162.
5. Мясоедов Б.Ф., Тананаев И.Г. Современные методы выделения, разделения и концентрирования в радиохимии. / Техногенные радионуклиды в подземных системах – методы концентрирования и определения физико-химических форм / Тезисы доклада на Всероссийскую научную школу по аналитической химии, г. Краснодар, Россия, 02–08 октября 2011 г. –С. 5-6.



6. Пономарев А.В., Макаров И.Е., Тананаев И.Г., Мясоедов Б.Ф. Способ переработки растительного сырья. Патент на изобретение RU № 2 338 769 C1 C10B 53/00 от 20 ноября 2008 г. Патентообладатель Институт физической химии и электрохимии РАН им. А.Н. Фрумкина. Опубликовано 20.11.2008 г. Бюл. № 32.
7. Попова Н.Н., Быков Г.Л., Блуденко А.В., Чулков В.Н., Пономарев А.В., Петухова Г.А., Тананаев И.Г., Ершов Б.Г. Изучение физико-химических свойств модифицированных углеродных наноматериалов, предназначенных для сорбционного извлечения радионуклидов. II. Сорбционные свойства древесного угля, образующегося при электронно-лучевой переработке растительных материалов. // Журнал Физикохимия поверхности и защита материалов -2013.- Т.49, №2. -С. 204-210.
8. Попова Н.Н., Быков Г.Л., Петухова Г.А., Павлов Ю.С., Тананаев И.Г., Ершов Б.Г. Изучение физико-химических свойств модифицированных углеродных наноматериалов, предназначенных для сорбционного извлечения радионуклидов. III. Влияние окислительной обработки на сорбцию Am(III) из водных растворов. // Журнал Физикохимия поверхности и защита материалов -2013.- Т. 49, № 3. С. 289–293.
9. Попова Н.Н., Быков Г.Л., Тананаев И.Г., Ершов Б.Г. Физико-химические свойства и сорбционная способность модифицированных древесных материалов по отношению к радионуклидам. // Химическая технология – 2011.- № 4. –С. 237-243.
10. Попова Н.Н., Быков Г.Л., Тананаев И.Г., Ершов Б.Г. Извлечение радионуклидов из природных и техногенных растворов с использованием наноразмерных углеродных сорбентов. / Тезисы докладов на IX Международную научно-практическую конференцию «Современные научные достижения - 2013». 27 января 2013 – 05 февраля 2013 г., г. Прага, Чехия. -С.66-68.
11. Попова Н.Н., Быков Г.Л., Петухова Г.А., Тананаев И.Г., Ершов Б.Г. Изучение пористой структуры и сорбционных свойств в отношении Am(III) окисленных углеродных наноматериалов. / Сборник тезисов докладов на Всеукраинскую конференцию с международным участием «Химия, физика и технология поверхности», 15-17 мая 2013 г., г. Киев, Украина. –С. 54.
12. Попова Н.Н., Быков Г.Л., Петухова Г.А., Тананаев И.Г., Ершов Б.Г. Влияние окислительной обработки углеродных наноразмерных материалов на их сорбционные свойства в отношении радионуклидов. / В кн.: Тезисы докладов на Седьмую Российскую конференцию по радиохимии «РАДИОХИМИЯ-2012». Россия, г. Димитровград, 15-19 октября 2012 г. – Димитровград: ООО «ВДВ «ПАК», 2012.-С 439.
13. Попова Н.Н., Тананаев И.Г., Мясоедов Б.Ф. Сорбционное концентрирование и выделение технеция-99 из различных техногенных отходов / Материалы IV Всероссийского симпозиума с международным участием «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии», Краснодар, Россия, 28 сентября – 04 октября 2014. Изд-во ООО «Альталюкс» - 2014.- с. 161.
14. Сазонов А.Б., Аунг Джо Тхун, Магамедбеков Э.П., Пономарев А.В., Тананаев И.Г., Мясоедов Б.Ф. Углеродные сорбенты для иммобилизации масляных тритийсодержащих отходов. // Российский химический журнал – 2010.- Т. LIV, № 3. –С. 94-100.
15. Тананаев И.Г., Авраменко В.А., Крюков Д.Г., Писляк В.Г. Перспективы развития ядерного образования и науки на Дальнем Востоке. / Сборник научных трудов на 6-й Международный симпозиум «Химия и химическое образование». г. Владивосток, Россия. 28 сентября – 03 октября 2014 г., Изд-во Дальневосточного федерального университета. Под ред. Ануфриева А.В. -2014.- С. 285.
16. Тананаев И.Г., Сарычев Г.А., Мясоедов Б.Ф. Наноматериалы в ядерных технологиях и радиоэкологии. // Российские нанотехнологии -2016.- Т. 11. № 1-2 –С.48-54.
17. Холодкова Е.М., Блуденко А.В., Чулков В.Н., Пономарев А.В., Тананаев И.Г. Влияние температуры и дисперсности на электронно-лучевую перегонку целлюлозы. Актуальные

проблемы химии высоких энергий. IV Всероссийская конференция. Материалы конференции / РХТУ им.Д.И. Менделеева. М., 2009. с.96.

18. Шалыминова Д.П., Черезова Е.Н., Пономарев А.В., Тананаев И.Г. Фенольные продукты радиационно-термического разложения лигнина как ингибиторы термополимеризации стирола. // Химия высоких энергий -2008.- Т. 42, № 5. -С. 388-393.

УДК 621.039.714 + 546.36 + 547.458

### **ИЗВЛЕЧЕНИЕ SR ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА МАРГАНЦА**

Калашникова А. М., Мисько Д. С., Егорин А. М., Сокольницкая Т. А., Токарь Э. А., Тананаев И. Г.

*Дальневосточный федеральный университет,  
Институт химии ДВО РАН  
г. Владивосток*

Kalashnikova1997n@yandex.ru

Получен сорбционный материал на основе оксида марганца со структурой бирнесита для извлечения  $^{90}\text{Sr}$  из морской воды. Изучены сорбционные характеристики сорбционного материала по отношению к  $^{90}\text{Sr}$  в статических и динамических (сорбция-десорбция-регенерация) режимах.

*Ключевые слова:* сорбция, стронций-90, морская вода,  $\text{MnO}_2$

### **EXTRACTION OF SR FROM SEAWATER BY SORBENTS BASED ON MANGANESE OXIDE**

Kalashnikova A. M., Misko D. S., Egorin A. M., Sokolnitskaya T. A., Tokar E. A., Tananaev I. G.

*FEFU, Vladivostok  
Institute of Chemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Vladivostok*

A sorption material based on manganese oxide with a birnesite structure for the extraction of  $^{90}\text{Sr}$  from seawater has been obtained. Sorption characteristics of the material with respect to  $^{90}\text{Sr}$  in static and dynamic (sorption-desorption-regeneration) regimes have been studied.

*Keywords:* sorption, strontium, seawater, manganese oxide

Обслуживание, ремонт и утилизация транспортных реакторов, а также ядерные испытания и выбросы на объектах ядерной индустрии в непосредственной близости от побережья сопровождаются как образованием жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в виде радиационно-загрязненной морской воды (МВ), так и загрязнением Мирового океана продуктами распада урана и плутония. Среди продуктов деления радионуклиды Cs-137 и Sr-90 представляют наибольшую опасность для здоровья человека и живой природы в виду большого выхода при делении, а также значительной миграционной способности с встраиванием в трофические цепи. И хотя задача извлечения Cs-137 из морской воды решается использованием ферроцианидных сорбентов, то извлечение Sr-90 остается серьезной проблемой. Актуальность извлечения Sr-90 из морской воды прежде всего связана с необходимостью как переработки ЖРО в виде радиационно-загрязненной морской воды, так и контроля загрязнения антропогенными радионуклидами при проведении

радиоэкологического мониторинга. Солесодержание морской воды составляет 30-35 г/л, при этом концентрация Mg и Ca – близких химических аналогов Sr в среднем составляет 1300 и 400 мг/л, соответственно. Это ограничивает использование неселективных ионообменных материалов для извлечения. По этой причине природные и синтетические цеолиты малопригодны для решения задачи извлечения Sr-90 из МВ [11,4]. Промышленно доступные сорбенты марок на основе титанатов щелочных металлов (SrTreat [10]), а также силикотитанатов (IONSIV IE-911 [8]) могут применяться для извлечения Sr-90 из сильнощелочных сред [10,14], однако, как показывают результаты такие материалы плохо подходят для задачи извлечения Sr-90 из МВ в виду низкой селективности [5,11,12]. Известна технология очистки МВ от Sr-90 с использованием сорбционно-реагентного материала – силиката бария [1,2]. Однако, силикат бария обладает низкой гидромеханической прочностью, что связано с особенностями протекания процесса поглощения Sr из морской воды, что приводит к росту гидродинамического сопротивления в колонне при использовании сорбента в динамических условиях.

Оксиды и гидратированные оксиды марганца представляют интерес как потенциальные сорбционные материалы, способные эффективно извлекать Sr из растворов сложного солевого состава, в том числе морской воды. Для гидратированных оксидов марганца, а также его модификаций: тодорокит, криптомелан, бернессит характерно повышение селективности к металлам второй группы Периодической таблицы Д.И. Менделеева по мере снижения размера гидратированного катиона [3,6,13]. Данные характеристики оксидов марганца делают возможным их использование в качестве сорбентов для извлечения Sr-90 из МВ в присутствии ионов  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$ , являющихся близкими химическими аналогами. Так, например, в работе [4] показано, что сорбенты на основе гидратированных оксидов марганца (ISMG, ISMP-1) в сравнении с материалами других классов обладают наибольшей эффективностью в МВ. Эффективность сорбции Sr материалами на основе оксидов марганца зависит от водородного показателя жидкой среды, с ростом pH эффективность поглощения возрастает, а с уменьшением, напротив, заметно снижается [7]. Эта особенность делает возможным применение оксидов марганца в режиме сорбция-элюирование-регенерация. В настоящий момент имеется большое число работ, посвященных оксидам марганца как сорбционным материалам. Однако, стоит отметить, что лишь ограниченное число работ посвящено извлечению Sr из МВ, при этом практически отсутствуют результаты исследований использования оксида марганца в цикле сорбция-элюирование-регенерация. По мнению авторов, для решения задачи извлечения, Sr-90 из МВ, наиболее подходит слоистая модификация оксида марганца, которая может быть относительно просто синтезирована.

Сорбент получали при смешении концентрированных растворов  $KMnO_4$  и  $H_2O_2$ , полученный осадок сушили на воздухе, после чего контактировали с 1М раствором NaOH в течение суток. Полученный материал прокаливали при температуре 105 °С или 500 °С в течение 6 часов. Образцы, прогретые при 500 °С, последовательно промывали 0,5М раствором HCl и 1М NaOH. Готовый сорбент представляет собой гранулы неправильной формы, размером 0,1-0,2 мм, черного цвета с характерным металлическим блеском, насыпной вес - 1,56 г/мл. В работе использовали МВ, отобранную в акватории Амурского залива (Приморский Край), которую предварительно фильтровали на фильтре марки «синяя лента» и вносили метку Sr-90 активностью 1000 Бк/мл. За основу искусственной морской воды (ИМВ) взят состав, предложенный в работе [9].

Сорбцию Sr-90 в статических условиях проводили при соотношении  $V/m = 1000$  мл/г, масса навески 0,01 г, время перемешивания 7 суток. Коэффициент распределения Sr-90 ( $K_d$ , мл/г) рассчитывали по формуле (1):

$$K_d = \frac{A_0 - A_1}{A_1} \times \frac{V}{m} \quad (1)$$

где  $A_0$  – начальная активность жидкой среды (Бк/мл),  $A_1$  – остаточная активность жидкой среды после сорбции (Бк/мл),  $V$  – объем жидкой среды при сорбции (мл),  $m$  – масса навески сорбента (г). В динамических условиях Sr-90 сорбировали при пропускании МВ через неподвижный слой сорбента объемом 1 мл, помещенного в стеклянную колонку с внутренним диаметром 5 мм. Скорость пропускания МВ 10 колоночных объемов в час (ко/ч). Элюирование Sr-90 осуществляли 0,5М раствором HCl со скоростью 10 ко/ч, после чего сорбент регенерировали 1М раствором NaOH.

Условные обозначения материалов их сорбционные характеристики, удельная поверхность, а также содержание натрия и калия приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики образцов оксида марганца использованных в работе

Образец	Температура термической обработки (°C)	Удельная поверхность (м <sup>2</sup> /г)	Kd Sr-90 (мл/г)	
			МВ	ИМВ
1	105	13.4	520	950
2	500	12	1240	1830

На рис. 1 приведены РФА-спектры для синтезированных образцов. Материалы характеризуются низкой степенью кристалличности, что осложняет точную идентификацию фазового состава. Однако, полученные рентгенограммы позволяют предположить наличие нескольких фаз, главным образом К- и Na-бернессита.

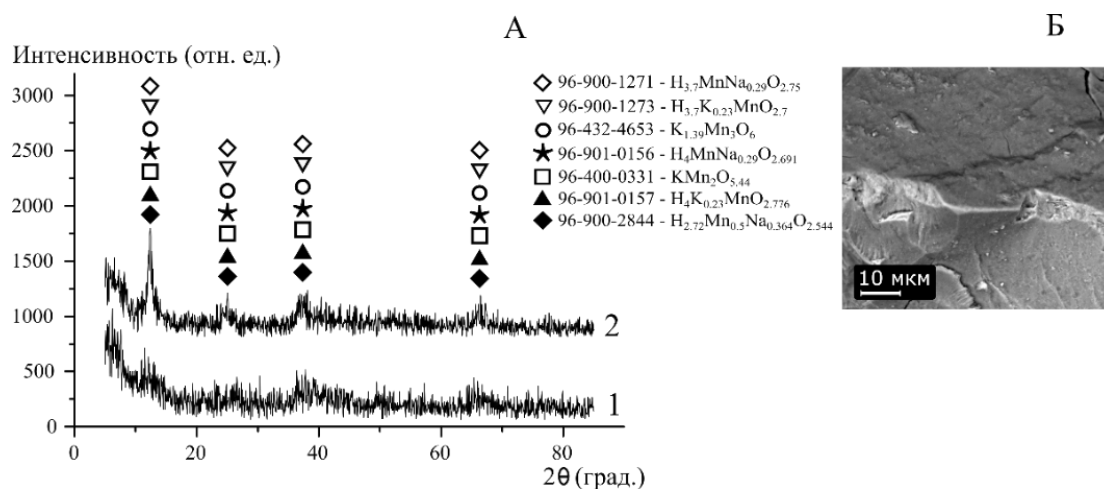


Рисунок 1 - РФА-спектры синтезированных образцов (А) и РЭМ-изображение поверхности материала №2 (Б)

Показано, что материал №2 обладает наилучшими сорбционно-селективными характеристиками (табл. 1), что вероятно, связано с формированием выраженной кристаллической фазы бернессита при более высоких температурах нагрева.

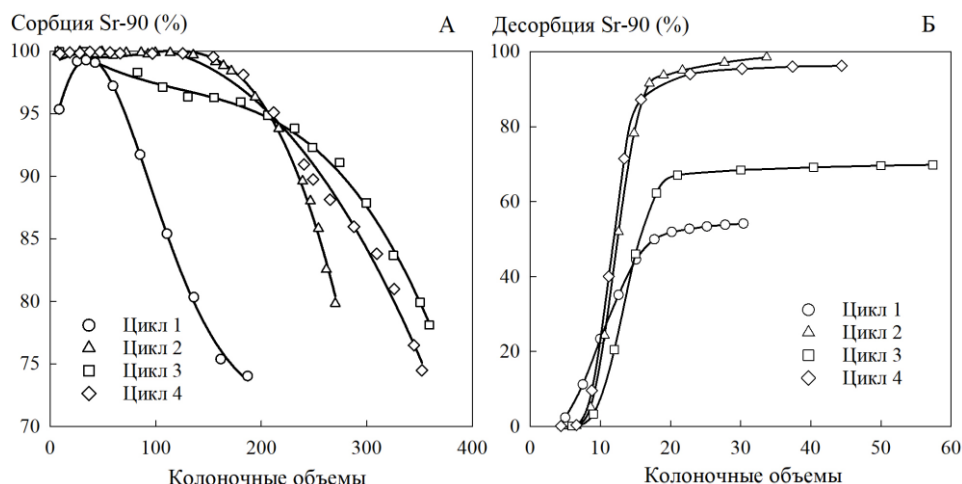


Рисунок 2 – сорбция Sr-90 из МВ сорбентом №2 (А) и десорбция Sr-90 0,5М НСl (Б) в динамических условиях

На рис. 2 приведены результаты сорбции Sr-90 из МВ и его десорбция в динамических условиях. Поглощение Sr-90 из МВ имеет особенность в виде низкой эффективности извлечения радионуклида в первом цикле (рис. 2, кривая 1), что связано с выходом сорбента на рабочий режим. На 2–4 циклах ресурс сорбента превышает 150 колоночных объемов, при этом изменения цвета сорбента или окрашивания фильтрата на этапе сорбции не обнаружено. Результаты десорбции Sr-90 (рис. 2Б) свидетельствуют о некоторой нестабильности элюирования радионуклида. Однако, после 4 циклов остаточная активность материала не превышает 4% от всей суммарной активности, поглощенной сорбентом. На основании изложенного был сделан следующий вывод: получен сорбционный материал со структурой бирнессита, обладающий высокой селективностью к Sr-90 в МВ ( $K_d$  Sr-90 – 1240 мл/г). В динамическом режиме сорбция-десорбция-регенерация (4 цикла) материал показал высокую механическую и химическую стабильность. Среднее значение объема МВ (2–4 циклы), пропущенной до проскока Sr-90 в 5% и более, превышает 150 к.о., при скорости фильтрации 10 ко/ч. Полученный материал может быть рекомендован для очистки жидких радиоактивных отходов, содержащих МВ, от радионуклида  $^{90}\text{Sr}$ , а также для концентрирования радионуклида при проведении радиоэкологического мониторинга.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-03-00407*

#### Библиографический список

1. Авраменко В.А., Голиков А.П., Железнов В.В., Каплун Е.В., Паламарчук М.С., Сергиенко В.И., Сокольницкая Т.А., Юкхам А.А. Поглощение стронция сорбционно-реагентными материалами. // Журнал Физической Химии -2004.- № 3 (78). -С. 493–496.
2. Сокольницкая Т.А., Авраменко В.А., Голиков А.П., Железнов В.В., Каплун Е.В., Паламарчук М.С., Сергиенко В.И., Юкхам А.А. Образование осадка при поглощении стронция сорбционно-реагентными материалами. // Журнал Физической Химии -2004.- № 3 (78). -С. 497–502.
3. Al-Attar L., Dyer A. Ion exchange in birnessite. // Land Contamination & Reclamation -2007.- № 4 (15). -С. 427–436.
4. Bengtsson G.B., Bortun A.I., Strelko V.V. Strontium binding properties of inorganic adsorbents. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry -1996.- № 1 (204). -С. 75–82.
5. Brähler G., Zulauf A., Avramenko V.A., Sokolnitskaya T.A. Absorbers for Removal of Sr-90 from Sea Water at FUKUSHIMA Site-14184 // <http://www.wmsym.org/> [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wmsym.org/archives/2014/papers/14184.pdf> (дата обращения: 04.04.2017).



6. Feng Q., Kanoh H., Miyai Y., Ooi K. Metal ion extraction/insertion reactions with todorokite-type manganese oxide in the aqueous phase. // Chemistry of Materials. -1995.- № 9 (7). -С. 1722–1727.
7. Hasany S.M., Chaudhary M.H. Adsorption studies of strontium on manganese dioxide from aqueous solutions. // The International Journal of Applied Radiation and Isotopes -1981.- № 12 (32). -С. 899–904.
8. Huckman M.E., Latheef I.M., Anthony R.G. Ion Exchange of Several Radionuclides on the Hydrous Crystalline Silicotitanate, Uop Ionsiv IE-911 // Separation Science and Technology. -1999.- № 6–7 (34). -С. 1145–1166.
9. Kester D.R., Duedall I.W., Connors D.N., Pytkowicz R.M. Preparation of Artificial Seawater. // Limnology and Oceanography. -1967.- № 1 (12). -С. 176–179.
10. Lehto J., Brodtkin L., Harjula R., Tusa E. Separation of radioactive strontium from alkaline nuclear waste solutions with the highly effective ion exchanger SrTreat. // Nuclear Technology. -1999.- № 1 (127). -С. 81–87.
11. Marinin D.V., Brown G.N. Studies of sorbent/ion-exchange materials for the removal of radioactive strontium from liquid radioactive waste and high hardness groundwaters. // Waste Management. -2000.- № 7 (20). -С. 545–553.
12. Milyutin V.V., Nekrasova N.A., Yanicheva N. Yu., Kalashnikova G.O., Ganicheva Ya. Yu. Sorption of cesium and strontium radionuclides onto crystalline alkali metal titanates // Radiochemistry. -2017.- № 1 (59). -С. 65–69.
13. Miyai Y., Ooi K., Katoh S. Preparation and ion-exchange properties of ion-sieve manganese oxide based on  $Mg_2MnO_4$  // Journal of Colloid and Interface Science. -1989.- № 2 (130). -С. 535–541.
14. Sylvester P., Clearfield A. The Removal of Strontium and Cesium from Simulated Hanford Groundwater Using Inorganic Ion Exchange Materials // Solvent Extraction and Ion Exchange. -1998.- № 6 (16). -С. 1527–1539.

**УДК 621.039.714 + 546.36 + 547.458**

### **СИНТЕЗ ПОРИСТЫХ РЕЗОРЦИНФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Мисько Д.С., Калашникова А.М., Токарь Э.А., Тутов М.В., Егорин А.М.,  
Тананаев И.Г., Авраменко А.В.

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток  
Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток*

misko\_daria@mail.ru

Выщелачиванием наполнителя получены пористые резорцинформальдегидные смолы, исследованы их характеристики по отношению к Cs-137, а также разрушение в щелочной среде. Обнаружено, что деструкция ионитов сопровождается снижением коэффициентов распределения Cs-137 и внутренней диффузии.

*Ключевые слова:* сорбция, цезий, кубовые остатки, ионообменная смола, жидкие радиоактивные отходы

## SYNTHESIS OF POROUS RESORCINOL-FORMALDEHYDE RESINS AND INVESTIGATION OF THEIR SORPTION CHARACTERISTICS

Misko D. S., Tokar E. A., Tutov M. V., Egorin A. M., Kalashnikova A. M.,  
Tananaev I. G., Avramenko A. V.

*FEFU, Vladivostok*

*Institute of Chemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Vladivostok*

We synthesized porous resorcinol-formaldehyde resins by leaching the filler. Resins were studied with respect to Cs-137, as well as destruction in an alkaline medium. It was found that the destruction of ion exchangers is accompanied by a decrease in the Cs-137 distribution coefficients and internal diffusion.

*Keywords:* sorption, cesium, ion exchange resin, liquid radioactive waste, destruction

В настоящее время органические ионообменные иониты широко используются в ядерной индустрии для извлечения ценных компонентов из растворенного ядерного топлива, очистки воды контуров охлаждения ядерных реакторов от продуктов коррозии, а также в процессах переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Для переработки ЖРО низкого и среднего уровня активности хорошо зарекомендовали себя резорцинформальдегидные смолы (РФ-смолы) [3], относящиеся к группе слабокислотных катионитов. Достоинством РФ-смол является повышенная селективность по отношению к радионуклидам Cs-137 в щелочных средах, даже в присутствии ПАВ и органических комплексообразующих соединений [1, 7]. Кроме того, был предложен оригинальный способ эффективной дезактивации радиационно-загрязненных отработанных ионообменных смол от Cs-137 с использованием РФ-смол [5, 6]. Однако, имеются сведения, что РФ-смолы подвержены растворению при длительном воздействии щелочных сред с последующим снижением сорбционных характеристик [4]. Поэтому важной задачей является определение условий использования РФ-смол, в том числе с новыми свойствами, при которых в жидких щелочных средах может быть достигнута максимальная эффективность извлечения радионуклида Cs-137.

В виду того, что эксплуатация РФ-смол протекает либо в динамических условиях сорбции, либо в условиях непрерывного перемешивания кинетические характеристики ионообменного процесса будут лимитироваться внутренней диффузией. Поэтому повышение гелевой кинетики может существенно сократить время процессов переработки как ЖРО, так и отработанных ионообменных смол. Снижение степени сшивки РФС для этих целей нецелесообразно ввиду возможного снижения химической стабильности смолы [2]. Оптимальным способом повышения кинетических характеристик ионообменного процесса, без снижения химической устойчивости ионита, является внесение, на этапе синтеза полимера, инертного наполнителя с последующим его выщелачиванием и повышением удельной поверхности готовой ионообменной смолы.

Нами был предложен синтез РФ-смол с повышенной удельной поверхностью, который заключается во внесении высокодисперсного порошка  $\text{CaCO}_3$  в реакционную смесь на первом этапе синтеза РФС. На втором этапе смола подвергается обработке раствором  $\text{HCl}$  или  $\text{HNO}_3$ , что приводит к формированию губчатой поверхности и росту удельной поверхности ионита. Были синтезированы иониты, в которые на этапе синтеза было внесено 10 мас% и 25 мас%  $\text{CaCO}_3$  (РФС-10 и РФС-25), смолу без добавления  $\text{CaCO}_3$  обозначили как РФС-и. На рисунке 1 приведены изображения поверхности образцов, видно, что удаление наполнителя приводит к

формированию губчатой структуры с ростом удельной поверхности у ионитов. Значения удельной поверхности для РФС-и, РФС-10 и РФС-25 составили 0,056 м<sup>2</sup>/г, 0,079 м<sup>2</sup>/г и 0,1 м<sup>2</sup>/г соответственно, зернение 0,1-0,2 мм.

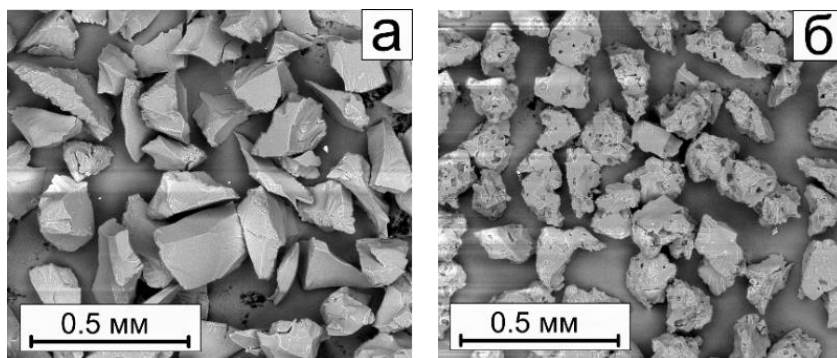


Рисунок 1 – Изображения РФ-смол, а – РФС-10, б-РФС-25

Кинетические кривые сорбции радионуклида, а также изотермы сорбции получали в статических условиях с использованием модельного раствора состава: NaOH – 0,75 моль/л, NaNO<sub>3</sub> – 2,25 моль/л, содержащего метку Cs-137 активностью 700 Бк/мл, соотношение V/m = 1000, масса навески смолы 50 мг. Для получения изотермы время контакта смолы с раствором составило 24 часа.

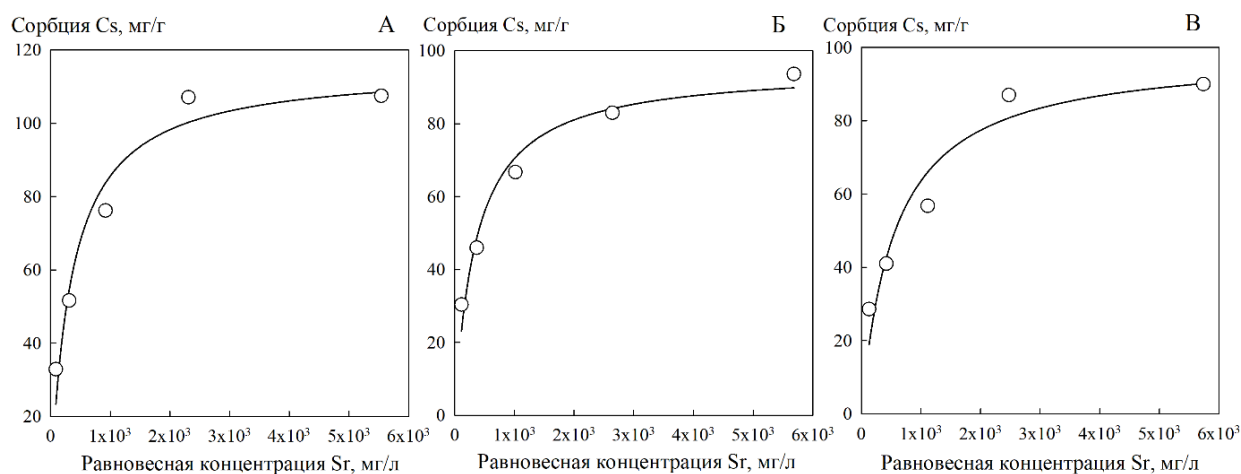
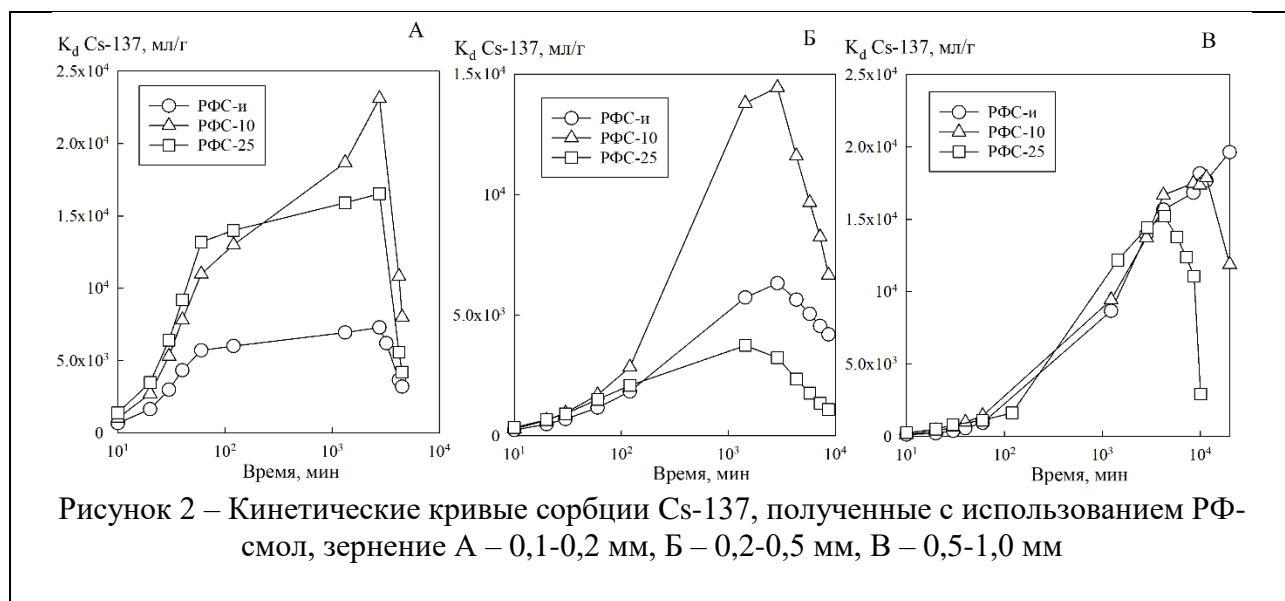


Рисунок 2 – Изотермы сорбции Cs смолами, А – РФС-и, Б – РФС-10, В – РФС-25; зернение 0,1–0,2 мм

На рисунке 2 приведены изотермы сорбции Cs-137 из модельного растворами смолами РФС-и, РСФ-10 и РФС-25. Рассчитанные с использованием уравнения Ленгмюра значения предельной емкости составили 115, 95, 98 мг/г (Cs/ионит). Таким образом, синтез с CaCO<sub>3</sub> приводит к снижению сорбционной емкости ионитов в среднем на 15%. Однако, снижение емкости не должно сказываться на эффективности извлечения микроконцентрации Cs-137 в виду того, что определяющей характеристикой будет являться селективность ионообменника.

На рисунке 1 приведены кинетические кривые сорбции Cs-137 из модельного раствора смолами РФС-и, РСФ-10 и РФС-25.



Снижение величины коэффициента распределения Cs-137 ( $K_d$ ) свидетельствует о постепенном разрушении РФ-смолы вследствие деполимеризации. На основании кинетических кривых сорбции были рассчитаны коэффициенты внутренней диффузии ( $D$ ), величины времени полуобмена ( $\tau_{0.5}$ ), время достижения максимальной сорбции ( $t_{max}$ ) после которой начинается разрушение РФ-смолы, а также максимальные значения коэффициентов распределения Cs-137, результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сорбционные характеристики РФС

Обозначение смолы	Зернение смолы (мм)											
	0,1-0,2				0,2-0,5				0,5-1,0			
	$t_{max}$ (мин)	$K_d$ (мл/г)	$D \times 10^8$ (см <sup>2</sup> /с)	$\tau^{0.5}$ (мин)	$t_{max}$ (мин)	$K_d$ (мл/г)	$D \times 10^8$ (см <sup>2</sup> /с)	$\tau^{0.5}$ (мин)	$t_{max}$ (мин)	$K_d$ (мл/г)	$D \times 10^8$ (см <sup>2</sup> /с)	$\tau^{0.5}$ (мин)
РФС-и	2800	7300	130	5	2900	6300	100	37	20000	19600	60	261
РФС-10	2800	23000	100	6	2900	14000	110	33	11550	18000	380	45
РФС-25	2800	16500	140	5	1400	3700	150	25	4200	15200	600	28

Полученные данные свидетельствуют о том, что с уменьшением размера зерна РФС ее устойчивость к длительному воздействию щелочных сред снижается, о чем свидетельствуют значения  $t_{max}$ . Было отмечено, что РФС-10 зернением 0,1-0,2 и 0,2-0,5 мм характеризуются повышенными величинами  $K_d$  Cs-137. Данное явление может быть объяснено большей доступностью сорбционных центров, расположенных в объеме зерна ионита, которыми, вероятно, являются участки полимерной сетки с высокой степенью сшивки. Пониженные значения  $K_d$  Cs-137 для образца РФС-25 связаны с высокой скоростью его растворения под воздействием щелочной среды. Для смол с размером зерна 0,5-1,0 мм характерна наибольшая химическая устойчивость, однако, образцы РФС-10 и РФС-25 выгодно отличаются значениями  $D$  в сравнении с исходными образцами.

Получены и исследованы кинетические характеристики пористых РФС, которые получали введением  $\text{CaCO}_3$  в реакционную смесь на этапе синтеза, с последующим растворением после отверждения ионита. Пористые смолы могут быть использованы в тех случаях, когда требуется высокая скорость и эффективность извлечения Cs-137 из жидких сред, например, при повышенных скоростях пропускания раствора.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-13-00135).*

## Библиографический список

1. Duignan M.R., Nash C.A. Removal of Cesium from Savannah River Site Waste with Spherical Resorcinol Formaldehyde Ion Exchange Resin: Experimental Tests // Separation Science and Technology. 2010. № 12–13 (45). С. 1828–1840.
2. Egorin A.M., Tutov M.V., Didenko N.A., Slobodyuk A.B., Marinin D.V., Avramenko V.A. Effect of parameters of thermal treatment of resorcinol-formaldehyde resins on their chemical stability and Cs-137 uptake efficiency // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2015. № 1 (304). С. 281–286.
3. Fiskum S.K., Blanchard D.L., Steele M.J., Thomas K.K., Trang-Le T., Thorson M.R. Spherical Resorcinol-Formaldehyde Resin Testing for Cesium Removal from Hanford Tank Waste Simulant // Separation Science and Technology. 2006. № 11 (41). С. 2461–2474.
4. Hubler T.L., Franz J.A., Shaw W.J., Bryan S.A., Hallen R.T., Brown G.N., Bray L.A., Linehan J.C. Synthesis, structural characterization, and performance evaluation of resorcinol-formaldehyde (R-F) ion-exchange resin // Other Information: PBD: Aug 1995 [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc622721/m1/1/> (дата обращения: 26.03.2018).
5. Palamarchuk M., Egorin A., Tokar E., Tutov M., Marinin D., Avramenko V.A. Decontamination of spent ion-exchangers contaminated with cesium radionuclides using resorcinol-formaldehyde resins // Journal of Hazardous Materials. 2017. (321). С. 326–334.
6. Palamarchuk M.S., Egorin A.M., Tutov M.V., Avramenko V.A. Decontamination of spent ion-exchange resins contaminated with cesium radionuclides // Doklady Chemistry. 2015. № 2 (465). С. 308–312.
7. Raj K., Prasad K.K., Bansal N.K. Radioactive waste management practices in India // Nuclear Engineering and Design. 2006. № 7 (236). С. 914–930.

УДК 546.791.6 + 544.012 : 54.052

**МАГНИТНЫЕ СОРБЕНТЫ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ТИПА  
ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА(VI) ИЗ ВОДНЫХ СРЕД**

Папынов Е. К., Драньков А. Н., Тананаев И. Г.

*Институт химии Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток  
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток  
Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Озёрск*

geokhi@mail.ru

Различными методами синтезирован ряд перспективных сорбционных магнитных материалов, содержащих наноструктурированные оксиды железа со смешанным фазовым составом. Наличие магнитных свойств в сочетании с высокими сорбционными характеристиками говорит о перспективности использования исследованных сорбентов для извлечения U(VI) из сложных жидких систем.

*Ключевые слова:* уранил-ион, извлечение, магнитные сорбенты



## MAGNETIC SORBENTS OF NANOSTRUCTURED TYPE FOR EXTRACTION OF URANIUM (VI) FROM AQUEOUS MEDIA

Papynov E. K., Dran'kov A. N., Tananaev I. G.

*Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the RAS, Vladivostok*

*Far Eastern Federal University, Vladivostok*

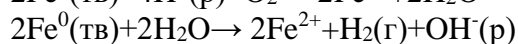
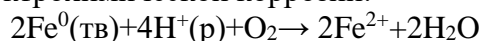
*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

Various methods have synthesized a number of promising sorption magnetic materials containing nanostructured iron oxides with a mixed phase composition. The presence of magnetic properties in combination with high sorption characteristics suggests that the sorbents used for extraction of U (VI) from complex liquid systems are promising.

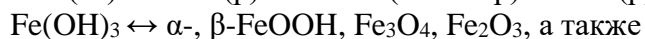
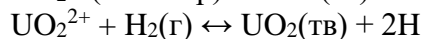
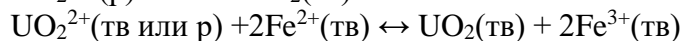
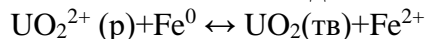
**Keywords:** uranyl-ion, extraction, magnetic sorbents

Уран, наряду с другими природными радионуклидами, вносит весомый вклад в естественный радиационный фон и представляет серьезную опасность для здоровья человека, особенно при попадании в организм различными путями. В этой связи, неконтролируемая миграция урана за счет активного вымывания поверхностными водами из природных или промышленных урановых залежей и отвалов вызывает значительную опасность [1,2]. Токсичный элемент, находясь в водных средах в виде уранил-катиона ( $\text{UO}_2^{2+}$ ), обладает высокой миграционной способностью и может загрязнять водные объекты в больших масштабах, что является импульсом для активной разработки высокоэффективных подходов его глубокого удаления из водных объектов, предпочтительно сорбционными технологиями [3,8]. Перспективные сорбционные технологии предлагают использование эффективных сорбционных материалов на основе железо-оксидных систем композитного состава, включающих наноразмерное железо ( $\text{Fe}^0/\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}^0/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}^0/\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), получаемых передовыми методами неорганического синтеза [5,7,9]. Присутствие фазы  $\text{Fe}^0$  в железо-оксидных системах, демонстрирующих высокие сорбционные показатели, обеспечивает наиболее высокую скорость редокс-превращений в рабочей среде. Именно на этой стадии инициируется адсорбция  $\text{UO}_2^{2+}$  продуктами коррозии железа, т.е. образование  $\text{Fe}^{3+}$  сопровождается восстановлением растворенного урана до  $\text{UO}_2$  с одновременным его осаждением. Процесс обусловлен протеканием следующих химических реакций [4,6,10]:

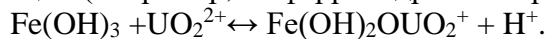
(а) электрохимической коррозии:



(б) восстановительного осаждения:



(в) сорбции (например, на ферригидратных группах):



Связывание  $\text{UO}_2^{2+}$  в таких системах определяется восстановительным осаждением и сорбцией на ферригидратных группах. Сорбционный эффект зависит от размерности наночастиц  $\text{Fe}^0$ , высокая удельная поверхность которых определяет интенсивность протекания редокс-реакций, а также от развитой микроструктуры с доступными сорбционными центрами, усиливающими контакт активных фаз в системе адсорбент-адсорбат [11]. Дополнительное наличие магнитного эффекта сорбционного материала определяет его

эргономичность, за счет эффективного отделения его отработанной формы от очищаемого раствора магнитной сепарацией. В настоящей работе синтезированы перспективные сорбционные материалы магнитного типа на основе наноструктурированных железо-оксидных систем индивидуального и смешанного составов, в том числе допированных  $\text{Fe}^0$ , и исследованы их сорбционные свойства и механизм по отношению к извлечению  $\text{U(VI)}$  из водных сред [12,15]. С целью получения наноструктурированных оксидов железа, включая образцы со смешанным фазовым составом, в данной работе были использованы методологии золь-гель и темплатного синтеза [12,14]. Полное или частичное восстановление оксидов проводили по типу восстановительного синтеза [13].

**Золь-гель синтез.** К 100 мл дистиллированной воды при перемешивании вводили 22 мл 0,45 М раствора  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и далее по каплям приливали 45 мл 1М  $\text{NaOH}$  до образования геля гидратированного оксида железа  $\text{Fe(OH)}_3$  коричневого цвета при pH 7. Полученную гетерогенную систему выдерживали 30 мин на магнитной мешалке с последующим отстаиванием 12 час и отделением осадка на фильтре. Осадок промывали дистиллированной водой и сушили при 100 °С 2 час до полного удаления влаги и образования ксерогеля гидроксида железа. Полученный ксерогель прокаливали во вращающейся трубчатой печи марки RSR-B 120/500/11 “Nabertherm GmbH” (Германия) в атмосфере воздуха с скоростью нагрева 10 °С/мин при 600 и 900 °С и выдержкой в течении 1 час.

**Темплатный синтез.** К 100 мл водного раствора силоксан-акрилатной эмульсии при перемешивании вводили 22 мл 0,45 М раствора  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и далее по каплям приливали 60 мл 1М  $\text{NaOH}$  до образования геля гидратированного оксида железа  $\text{Fe(OH)}_3$  коричневого цвета при pH 7. Последующие стадии, включающие отстаивание, фильтрование, промывку, сушку и термообработку при 600 и 900 оС, проводили по методике, описанной выше.

**Восстановительный синтез.** С целью повышения сорбционной активности материалов по отношению к уранил-ионам путем, были получены оксидные материалы композитного состава, включающие восстановленную кристаллическую фазу  $\text{Fe}^0$ . Восстановление оксидов железа проводили термическим обжигом в трубчатой печи “Nabertherm GmbH” в токе СО при 900 °С, скорость нагрева 10 °С/мин, время выдержки 1 час. В ходе реализации описанных методологий синтеза был получен широкий ряд образцов наноструктурированных магнитных сорбентов с различными физико-химическими характеристиками, описанными в табл. 1. Согласно представленным в табл. 1 результатам очевидно ключевое влияние температурной обработки материалов на формируемый фазовый состав и структурные характеристики получаемых сорбентов. Отличительной особенностью является глубина окисления/восстановления кристаллических фаз в материале, зависящая от параметров процесса (температура, время выдержки, тип газовой среды), а также от структуры материала определяемой способом синтеза. Показано, что термообработка оксидов железа в восстановительной газовой среде приводит к интенсивному росту кристаллитов с последующим их спеканием в монолитные кластеры, по сравнению с исходными образцами. В ходе исследований обнаружено ключевое влияние способа синтеза на формирование микроструктуры синтезируемых сорбентов. Согласно результатам БЭТ анализа установлено, что темплатный синтез образует более развитую структуру в материале, увеличивает удельную поверхность в 2 и более раза. Выявлена общая закономерность снижения величины удельной поверхности, возникающая при высокотемпературной обработке ксерогелей независимо от метода их получения, золь-гель (с 19,4 до 2,5 м<sup>2</sup>/г) и темплатный (с 47,3 до 6,2 м<sup>2</sup>/г) синтеза. Очевидно, что при высокотемпературной обработке ксерогелей структура образующихся оксидов значительно деформируется, что предположительно связано с интенсификацией физических процессов, протекающих в твердом теле при твердофазном синтезе, например, диффузия, пластическая деформация или вязкое течение и др. В работе проведено сравнительное исследование структурных, магнитных и сорбционных свойств оксидов железа, полученных золь-гель и темплатным синтезом, а также их производных, полученных прокаливанием в восстановительной атмосфере. Показано, что образцы,

полученные темплатным синтезом, обладают наиболее развитой поверхностью (Суд. до 47,3 м<sup>2</sup>/г). Напротив, восстановленные при 900 °С материалы, характеризующиеся низкими значениями удельной поверхности (Суд. до 0,1 м<sup>2</sup>/г), демонстрируют отличные показатели извлечения урана (до 100% в кислой и нейтральной средах). Перспективным свойством для неорганических сорбентов является намагниченность насыщения, что определяет их эргономичность, за счет более простого извлечения отработанного сорбента из очищаемого раствора [13]. Минимальными значениями намагниченности насыщения (не более 1,8 эме/г) обладают образцы сорбентов в структуре гематита, что указывает на его антиферромагнитную природу. Присутствие ферромагнитной фазы в виде маггемита ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в составе образца Fe(тс)-600 определяет его высокую намагниченность (23-26 эме/г). Магнитные свойства восстановленных образцов в значительной степени выше, по сравнению с предшествующими восстановительному прокаливанию оксидами.

Таблица 1 – Физико-химические характеристики образцов наноструктурированных магнитных сорбентов на основе оксидов железа и их восстановленных форм

Синтез	Образец	Tсинтеза, °С	Суд., м <sup>2</sup> /г	Фазовый состав
Золь-гель	Fe(зг)-600	600	19,2	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (гематит)
	Fe(зг)-900	900	2,8	
Темплатный	Fe(тс)-600	600	47,3	$\gamma$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (маггемит); $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (гематит)
	Fe(тс)-900	900	6,2	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (гематит)
Восстановительный	Fe(зг)-600/Red	900	1,5	Fe (железо)
	Fe(зг)-900/Red	900	0,1	Fe (железо); FeO (вюстит)
	Fe(тс)-600/Red	900	0,2	Fe (железо); $\gamma$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (маггемит)
	Fe(тс)-900/Red	900	0,1	Fe (железо); Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (магнетит)

Такие сорбционные свойства обеспечиваются комбинированным составом фаз образцов, включающим металлическое железо, присутствие которого в образце способствует осаждению урана в виде UO<sub>2</sub> за счет механизма восстановительного осаждения. Реализация данного механизма подтверждается результатами РФЭС (преобладание U<sup>4+</sup>) и данными ЭДС анализа поверхности образцов, насыщенных ураном при pH 2.5. Изучение магнитных свойств показало, что наибольшими значениями намагниченности насыщения (133 эме/г) обладает восстановленный образец, полученный темплатным синтезом и прокаленный при 600 °С (Fe(ТС)-600/Red). Наличие магнитных свойств в сочетании с высокими сорбционными характеристиками говорит о перспективности использования исследованных сорбентов для извлечения U(VI) из сложных жидких систем.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-03-00063-а)*

## Библиографический список

1. Abdelouas A. Uranium mill tailings: Geochemistry, mineralogy, and environmental impact. // *Elements* -2006.- Vol. 2 –P. 335–341.
2. Bhalara P.D., Punetha D., Balasubramanian K. A review of potential remediation techniques for uranium(VI) ion retrieval from contaminated aqueous environment. // *Journal of Environmental Chemical Engineering* -2014.- Vol. 2 -P. 1621–1634.
3. Burchard R., Deletic A., Craig A. Techniques for water and wastewater management: a review of techniques and integration in planning. // *Urban Water* –2000.– Vol. 2 – P. 197-221.
4. Crane R.A., Dickinson M., Popescu I.C., Scott T.B. Magnetite and zero-valent iron nanoparticles for the remediation of uranium contaminated environmental water. // *Water research* -2011.- Vol. 45 –P. 2931-2942.
5. Crane R.A., Scott T.B. Nanoscale zero-valent iron: Future prospects for an emerging water treatment technology. // *J. of Hazardous Materials* -2012.- Vol. 211– 212 –P. 112–125.
6. Dickinson M., Scott T.B. The application of zero-valent iron nanoparticles for the remediation of a U-contaminated waste effluent. // *J. Hazardous Materials* -2010.- Vol. 178. –P. 171–179.
7. Gu B., Liang L., Dickey M.J., Yin X., Dai S. Reductive precipitation of uranium(VI) by zero-valent iron. // *Environ. Sci. Technol.* -1998.- Vol. 32. –P. 3366–3373.
8. Jiuhui Q. Research progress of novel adsorption processes in water purification a review. // *J. of Environmental Sciences* -2008.- Vol. 20, Iss. 1. – P. 1-13.
9. Li X.Q., Elliot D.W., Zhang W.X. Zero-valent iron nanoparticles for abatement of environmental pollutants: materials and engineering aspects. // *Crit. Rev. Solid State* -2006.- Vol. 31. –P. 111–122.
10. Noubactep C., Schoner A., Meinrath G. Mechanism of uranium removal from the aqueous solution by elemental iron. // *J. Hazardous Materials* -2006.- Vol. B132 –P. 202–212.
11. Riba O., Scott T.B., Ragnarsdottir K.V., Allen G.C. Reaction mechanism of uranyl in the presence of Feo nanoparticles. // *Geochim. Comochimica Acta* -2008.- Vol.72 –P. 4047-4057.
12. Papynov E.K., Mayorov V.Yu., Palamarchuk M.S., Bratskaya S.Yu., Avramenko V.A. Sol-gel synthesis of porous inorganic materials using "core-shell" latex particles as templates. // *Journal of Sol-Gel Science and Technology* - 2013. - Vol. 68, № 3 – P. 374-386.
13. Papynov E.K., Portnyagin A.S., Cherednichenko A.I., Tkachenko I.A., Modin E.B., Maiorov V.Yu., Dran'kov A.N., Kydralieva K.A., Zhorobekova Sh. Zh., Avramenko V.A. Uranium Sorption on Reduced Porous Iron Oxides. // *Doklady Physical Chemistry* – 2016. - Vol. 468, №1 – P. 67–71.
14. Papynov E.K., Portnyagin A.S., Cherednichenko A.I., Tkachenko I.A., Modin E.B., Dran'kov A.N., Kvach A.A., Zemchenko I.V., Tananaev I.G., Avramenko V.A. Sol-gel synthesis of magnetic sorbents based on porous iron oxides for the removal of U(VI) from aqueous solution. // *AIP Conference Proceedings* -2017.- Vol. 1809, 020044.
15. Wang H.H., Li X.R., Fei G.O., Mou J. Synthesis, morphology and reology of core-shell silicone acrylic emulsion stabilized with polymerisable surfactant. // *Express Pol. Lett.* -2010.- Vol. 4, № 11 –P. 670-680.

УДК 621.039.7

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Радченко В. В., Феоктистов К. А., Федорова О. В.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ**г. Озёрск, Челябинская область*

9514569063v@gmail.com

В данной работе исследована возможность применения метода качественного анализа для определения редкоземельных элементов, в частности, церия, циркония, титана, бериллия и молибдена. Приведены условия выполнения экспериментов и наблюдаемые результаты реакций: появление или исчезновение окрашивания, выделение или растворение осадка, образование газа и др.

*Ключевые слова:* редкоземельные элементы, качественный анализ, исследование, обнаружение, рассеянные элементы.

**EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF APPLYING QUALITATIVE ANALYSIS FOR THE DETERMINATION OF RARE AND SCATTERED ELEMENTS**

Radchenko V. V., Feoktistov K. A., Fedorova O. V.

*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

In this paper we have investigated the possibility of applying the method of qualitative analysis for the determination of rare earth elements; cerium, zirconium, titanium, beryllium and molybdenum in particular. The conditions for performing the experiments and the observed results of the reactions are given: the appearance or disappearance of the staining, the release or dissolution of the sediment, the formation of gas, etc.

*Keywords:* rare-earth elements, qualitative analysis, research, detection, scattered elements.

За последние несколько лет очень возрос интерес к группе редкоземельных элементов, которые, находят все новые области применения. Редкоземельные элементы занимают особое место среди редких элементов.

В наше время в связи с открытием новых способов разделения редкоземельных металлов, возрастает экономический интерес к их промышленному применению. В связи с этим возникает потребность в научных исследованиях данных элементов и поиском оптимальных методов и способов для ведения данных работ. Качественный анализ при этом является одним из наиболее простых и достоверных способов обнаружения редкоземельных металлов.

В процессе работы были изучены свойства редкоземельных элементов, тщательно подобраны методики качественного обнаружения в соответствии с имеющимися реактивами.

Установлено, что наиболее чувствительными реакциями на ионы Се являются: реакция  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  с крупинками порошка  $\text{NaBiO}_3$  в присутствии  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . При нагревании раствора до кипения, окраска изменилась из рыжей в желтую. После добавления  $\text{H}_2\text{O}_2$  раствор обесцветился.

При взаимодействии  $\text{Ce}^{4+}$  с сульфониловой кислотой при нагревании, раствор из желтого перешел в кроваво-красное окрашивание.

Обнаружить церий можно также по изменению окраски из желтой в синюю при добавлении  $\text{Cr}^{3+}$  к раствору  $\text{Ce}^{4+}$  в присутствии дифениламина.



При взаимодействии раствора  $\text{Ce}^{3+}$  с пирогаллолом, в присутствии  $\text{NH}_4\text{OH}$ , раствор темнеет. На стенках можно наблюдать темно-синий осадок. Ионы  $\text{Ce}^{4+}$  так же образуют темно-синий осадок. Однако, данная реакция признана непригодной, так как пирогаллол быстро темнеет на свету.

Был проделан ряд опытов с целью обнаружения циркония в растворах. Показано что, при смешении циркония азотнокислого 2-водного с натрием углекислым безводным образуется желеобразный белый осадок. Смешав растворы в пропорции 1:1 получили белый желеобразный осадок по всему объему раствора. Смешивание растворов в пропорции 1:5 приводит к получению раствора с белым желеобразным осадком.

При действии на цирконий азотнокислый 2-водный раствором арсеназо (III), получили раствор фиолетового цвета.

При добавлении в раствор, содержащий ионы  $\text{Zr}^{2+}$  ализарина в присутствии  $\text{HCl}$  получили раствор с бледно-розовой окраской.

Осуществили несколько реакций для определения присутствия титана в растворах. Было обнаружено, что темный раствор  $\text{TiCl}_3$  при добавлении раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  обесцвечивается и наблюдается выделение газов.

Хромотроповая кислота с раствором  $\text{Ti}^{4+}$  образует красно-бурую окраску. При смешении хромотроповой кислоты с раствором, содержащим  $\text{Ti}^{3+}$ , окраска раствора становится вишневой.

Бесцветный раствор  $\text{TiCl}_3$  при взаимодействии с аскорбиновой кислотой обретает рыжий окрас.

Опыт по обнаружению бериллия показал, что при смешении хинализарина с раствором  $\text{Be}(\text{NO}_3)_2$  в присутствии  $\text{NaOH}$ , раствор становится фиолетово-синего цвета с взвешенными частицами.

Также были осуществлены реакции по обнаружению молибдена. При смешении пирогаллола и молибдата аммония в пропорции 1:1 получили раствор желтого цвета. Для сравнения провели реакцию взаимодействия пирогаллола и дистиллированной водой, получив бесцветный раствор.

Сульфосалициловая кислота при взаимодействии с молибдатом аммония окрашивает раствор в желтый цвет при  $\text{pH}=2 - 6$ .

Раствор, содержащий ионы  $\text{Mo}^{6+}$ , при взаимодействии с хромотроповой кислотой, изменяет свою окраску с бесцветной в желтую. Реакция проводилась при значении  $\text{pH}=5$ .

На основании приведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности метода качественных реакций для обнаружения редкоземельных элементов.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении лабораторного практикума по дисциплине «Химия редких элементов» для студентов, обучающихся по специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики».

#### Библиографический список

1. Васильева Н.Л., Пальчикова С.Ю. Общая химия: Методические указания к лабораторному практикуму – Екатеринбург: УрФУ, 2013. 53 с.
2. Корзанов В.С. Химия редких, рассеянных и редкоземельных элементов: учебное пособие для студентов 4, 5 курсов и магистров химического факультета - Пермь: Пермский гос. университет, 2007. - 100 с.
3. Коровин С.С., Зими́на Г.В. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. Учебник для вузов. В 3-х книгах. - Москва: МИСИС, 2003. - 440 с.

УДК 549.642.27

## ВОССОЗДАНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЛИТИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Сарычев Г. А., Кольцов В. Ю., Трубаков Ю. М., Тананаев И. Г.

*Научно-исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Ведущий научно-исследовательский институт Госкорпорации "Росатом"  
по химическим технологиям,  
г. Москва*

geokhi@mail.ru

С целью вовлечения в хозяйственный оборот и получения востребованной товарной учеными НИЯУ МИФИ и АО ВНИИХТ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 гг» реализован проект утилизации отвалов Завитинского литиево-бериллиевого месторождения (Читинская обл.) со снижением экологической нагрузки окружающей среды.

*Ключевые слова:* месторождение, отвалы, спудомен, литий, вскрытие

## RECONSTRUCTION OF THE RAW MATERIALS BASE OF THE LITHIUM INDUSTRY IN THE RUSSIAN FEDERATION

Sarychev G. A., Koltsov V. Yu., Trubakov Yu. M., Tananaev I. G.

*NRNU MEPhI, Moscow  
Leading scientific-research institute for Chemical Technologies of Rosatom State Corporation, Moscow*

In order to involve the MEPhI and AO VNIKhT in research and development in the priority areas of the development of the scientific and technological complex of Russia for 2014-2020, the project of utilization of dumps of the Zavitsky lithium-beryllium deposit (Chita region) with a decrease in the environmental load of the environment has been realized.

*Keywords:* deposit, dumps, spidomene, lithium, autopsy

В России созданы условия для научно-технологического прорыва за счет индивидуализации производства новой продукции. Прорывные технологии – термоядерная энергетика, нанофармацевтика, космическое, ракетное, авиационное, микроэлектронное производство – увязаны с ключевыми материалами, среди которых выступает литий. Его применение реализовано в покорении термоядерных процессов, создания химических источников тока – литий-железо-сульфидных, литий-ионных, литий-полимерных аккумуляторов и батарей, черной и цветной металлургии (раскисление и повышение пластичности и прочности сплавов), а также в производстве катодно-лучевых трубок, сверхчувствительных, легкоплавких и других специальных стекол. Литий идёт также на медицинские нужды: в небольшом количестве он необходим для нормальной работы организма, он содержится во всех внутренних органах, участвует во многих обменных процессах и стимулирует иммунитет.

Невзирая на растущий спрос на литиевую продукцию, за последние двадцать лет сырьевой сектор литиевой промышленности в России пришел в упадок. Это вызывает не только озабоченность, но и безусловную тревогу в части развития научно-технического прогресса в Российской Федерации. Необходимость уменьшения зависимости промышленности России от импортного литиевого сырья встала со всей остротой.

По запасам лития Россия занимает одно из ведущих мест в мире и располагает месторождениями «Завитинское» (Читинская обл.), «Тастыгское» (Республика Тыва) и «Колмозерское» (Мурманская обл.). По содержанию литиевые месторождения России беднее зарубежных, зато они представлены наиболее пригодными для обогащения пегматитовыми типами руд (75 % в структуре балансовых запасов) с освоённой отечественной промышленностью технологией.

Единственной в России рудной базой, использовавшийся для производства литиевых концентратов до распада СССР, выступало Завитинское литиевое-бериллиевое месторождение (Читинская обл.), разрабатывавшееся открытым способом Забайкальским ГОКом. В настоящее время Завитинское месторождение выработано, рудник не эксплуатируется. Однако в результате отработки месторождения в отвалах Забайкальского ГОКа накоплено несколько десятков миллионов тонн руды с содержанием оксида лития около 0,25-0,30 %. По мнению авторов статьи, наиболее короткий путь воссоздания минерально-сырьевой базы литиевой промышленности Российской Федерации - переработка отвалов Забайкальского ГОКа, на котором сподуменовую руду обогащали по технологиям, разработанным ещё в 40-70-е годы XX века. Поскольку горнопромышленные отходы рассматривают как комплексное минеральное сырьё нового типа, необходимо учитывать их повышенную опасность для окружающей среды и населения. Поэтому переработку отвалов Забайкальского ГОКа как минерального сырья, не требующего извлечения из недр и транспортировки к месту обогащения, необходимо рассматривать через призму экологических задач реабилитации загрязнённых территорий.

Для воссоздания сырьевой базы литиевой промышленности в Российской Федерации в рамках действующей ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 гг» консорциум НИЯУ МИФИ и АО ВНИИХТ предложил проект создания и внедрения переработки технологии утилизации отвалов Завитинского литиевого месторождения. Его основная цель - вовлечение в хозяйственный оборот тысячи тонн ценных компонентов, получение востребованных товарных продуктов на созданной промышленной установке с последующим снижением экологической нагрузки на территории ГОКа.

Проект, поддержанный субсидией Министерства РФ по образованию и науке от 22.09.2014 г. № 14.578.21.0050, включал последовательное создание и внедрение технологии переработки отвалов Завитинского месторождения с получением сподуменового концентрата и карбоната лития на созданной экспериментальной установке.

Руда отвалов Завитинского месторождения представляет собой горнорудную массу, сложенную плотными алюмосиликатами, основу которых составляют кварц-полевошпатовые породы с содержанием кварца 60–67 %, альбита 12-20 %, слюды – 5 %.

Основным носителем лития на месторождении является сподумен. Содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  в пегматитовых отвалах составляет 0,25–0,30%. Сподумен – моноклинный пироксен. В лежалых рудах отвалов Завитинского месторождения легко подвергается разрушению, что сильно влияет на проведение технологических процессов обогащения. Степень изменения сподумена сильно варьирует – от практически неизмененного, до реликтов в горнорудной массе. Обзор патентной и научно-технической литературы показал, что исследования по получению сподуменового концентрата из руды отвалов Завитинского месторождения целесообразно вести по комбинированной схеме, включающей предобогащение рентгенолюминесцентным или фотометрическим методом и обогащение флотационным методом.

Экспериментальные исследования проводились на забалансовой пегматитовой руде (с содержанием  $\text{Li}_2\text{O}$  0,31-0,32 %) двух представительных проб отвалов массой соответственно 1,5 и 2,5 т и крупностью –350+0 мм. Предпосылки для применения фотометрического метода создаются цветовыми различиями рудных кусков проб, которые определяются особенностями минерального состава пегматитов и характером вкрапленности. Исследования проводились с использованием современной модификации фотометрического метода – полихромной

фотометрической сепарации (ПФМС) на сепараторе модели GemStar 300 компании Aliud Gmb. Были изучены оптические характеристики руды и проведена сепарация класса крупностью – 20+10 мм. Из руды с содержанием 0,31 %  $\text{Li}_2\text{O}$  получен концентрат с выходом 31 %, содержанием 0,48 %  $\text{Li}_2\text{O}$  и извлечением около 50 % от сортируемого класса; содержание в хвостах составило 0,23 %  $\text{Li}_2\text{O}$ . Возможность использования рентгенолюминесцентного метода сепарации основано на способности сподумена люминесцировать под действием рентгеновских лучей. Изучение спектральных характеристик рентгенолюминесценции основных минералов рудных отвалов, способных люминесцировать (сподумен, микроклин, альбит), показала, что регистрация излучения в области 570 – 620 нм позволяет достаточно уверенно отделить сподумен от других минералов. Интенсивность свечения альбита и микроклина в этой области значительно слабее. Исследования обогатимости руды отвалов Завитинского месторождения рентгенолюминесцентным методом позволяет сделать вывод о перспективности предобогащения этим методом. При сепарации руды крупностью – 50+10 мм с исходным содержанием 0,32 %  $\text{Li}_2\text{O}$  возможно получение 33 % концентрата с содержанием 0,57 %  $\text{Li}_2\text{O}$  и извлечением от исходной руды около 60 %. Содержание в хвостах  $\text{Li}_2\text{O}$  будет составлять 0,12 %. В основу дальнейших исследований по предобогащению руды отвалов Завитинского месторождения положен рентгенолюминесцентный метод, дающий более высокие показатели.

Основным методом обогащения сподуменных руд является флотация. В ходе исследований по флотационному методу большое внимание было уделено определению возможности применения флотореагентов различного состава и оценки их эффективности. Решение этой задачи являлось необходимым в связи с тем, что характерной особенностью сподумена является его способность подвергаться различным процессам изменения, которые приводят к выносу из минерала лития и превращению его в агрегат других минералов – слюды и глинистые минералы. Такие процессы разрушения сподумена происходят в лежалых рудах отвалов, что сказывается на эффективности флотации. В результате исследований были выбраны эффективные флотационные реагенты, определен их оптимальный расход, разработаны режимы и параметры флотационного процесса (температура пульпы, продолжительность измельчения и флотации и т.п.).

Было показано, что наиболее перспективными и недорогими реагентами выступают изоспирты с фракцией  $\text{C}_{12}$  –  $\text{C}_{16}$  производства Кемеровского азотно-тукового завод; предложен такой эффективный флотореагент, как талловое масло лиственной древесины (ТМЛД).

Как дополнительные реагенты при флотации руд, наряду с аполярными маслами, используются и неионогенные полярно-аполярные вещества, такие как доступные алифатические спирты. В качестве основного собирателя предложены смеси олеиновой кислоты (ОЕН) и аполярного масла (СУ-50). На стадии основной флотации применяется дополнительный реагент – жидкое стекло, что позволяет повысить качество сподуменного концентрата. Итогом исследований по флотационному обогащению является разработка технологической схемы переработки пегматитовых руд отвалов Завитинского месторождения. По разработанной технологии флотации после предобогащения рентгенолюминесцентным методом получен сподуменный концентрат с содержанием 4,3 %  $\text{Li}_2\text{O}$  и извлечением 65 % (от операции).

На завершающем этапе работы по проекту при выборе технологии вскрытия минерального сырья был предложен сернокислотный метод как наиболее перспективный и экономичный применительно к переработке упомянутых отвалов. Это обосновано тем, что исходные вещества – носители лития, а также их продукты гетерогенных химических превращений, взаимодействуют с серной кислотой и сульфатом калия: результаты термодинамических расчётов, говорят о том, что величины изобарно-изотермического потенциала процесса взаимодействия сподумена с серной кислотой до сульфата лития и лейцита в интервале температур до 1000 °С находится в области отрицательных значений, что говорит о его термодинамической возможности протекания. Вскрытие сподуменного

концентрата было проведено с помощью декрипитации сподумена при температуре 1000 °С в течение 0,5 час, смешивании прокаленного концентрата с серной кислотой на грануляторе с его одновременной грануляцией (окачиванием) при расходе кислоты 250 кг/т и последующей высокотемпературной (240-260 °С) сульфатизацией. Сульфатизацию проводят в трубчатой вращающейся печи в режиме противотока. Литий из просульфатизированного продукта выщелачивают водой. С целью нейтрализации избыточного количества серной кислоты загружают карбонат кальция для поддержания pH, равного 6,0-6,5. Затем раствор отфильтровывают, осадок промывают с целью сокращения потерь лития и направляют в отвал. Фильтрат обрабатывают содой и известью для осаждения примесей при pH ~12. Очищенный раствор упаривают и проводят осаждение карбоната лития. Осадок промывают и направляют на центрифугирование и сушку. Получение карбоната лития было проведено с помощью водного выщелачивания огарка, очистки раствора от примесей в две стадии и осаждения  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  с помощью карбоната натрия. В результате был получен карбонат лития, полностью соответствующий разработанным Техническим условиям, извлечение лития в карбонат лития составило 92,5 % от исходного содержания в концентрате [1-4].

По результатам проведенных исследований предложена принципиальная технологическая схема переработки сподуменового концентрата с получением карбоната лития. В настоящее время на базе проведенных в 2014-2016 гг исследований консорциум исполнителей в составе НИЯУ МИФИ, АО «ВНИИХТ» и индустриального партнера ПАО «ППГХО» ГК «Росатом» при поддержке Министерства образования и науки РФ приступил к проведению опытно-промышленных исследований. В ходе отработки технологических процессов получения сподуменового концентрата и карбоната лития из забалансовой руды месторождения «Завитинское» будут созданы опытно-промышленные установки, и разработаны исходные данные на проектирование промышленного производства востребованной литиевой продукции. Индустриальный партнер – ПАО «ППГХО» и Первомайский ГОК - получили реальную возможность промышленного освоения технологии получения литиевой продукции. Применение рентгенолюминесцентного и флотационного обогащения забалансовой руды Завитинского месторождения позволит создать производство по получению сподуменового концентрата с содержанием по  $\text{Li}_2\text{O}$  – 4%.

В результате переработки сподуменового концентрата будет организовано получение карбоната лития. Извлечение лития в карбонат составит 92,5% от исходного содержания в концентрате, что соответствует современным требованиям.

*Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства РФ по образованию и науки в рамках договора на выполнение НИОКТР «Разработка промышленной технологии получения сподуменового концентрата и соединений лития из отвалов Завитинского месторождения для организации промышленного производства» (проект № 03.G25.31.0263), постановление Правительства РФ от 09.04.2010 г, № 218.*

#### Библиографический список

1. Азатова Ю.В., Казанцев В.В., Кольцов В.Ю., Сарычев Г.А., Тананаев И.Г. Отвалы завитинского литиево-бириллиевого месторождения как сырье для получения лития. // Обогащение руд -2015.- № 2. – С. 23-27.
2. Балакина И.Г., Лаврентьев А.В., Сарычев Г.А., Тананаев И.Г. Подготовка и исследование представительной технологической пробы отвалов завитинского месторождения. // Обогащение руд -2015.- № 6. –С. 28-34.
3. Егоров А.М., Лаврентьев А.В., Сарычев Г.А., Тананаев И.Г. Технология флотационного обогащения концентратов при переработке отвалов Завитинского литиево-бериллиевого месторождения. // Цветные металлы – 2016.- № 5. –С. 23-28.
4. Кольцов В.Ю., Новиков П.Ю., Сарычев Г.А., Тананаев И.Г. Экспериментальные исследования при разработке технологии сернокислотной переработки сподуменового концентрата. // Цветные металлы - 2016. - № 4. –С. 18-22.



УДК 621.039.59+661.571

**ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ВАО: ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Смирнов И. В., Тананаев И. Г.

*АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург  
Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Озёрск Челябинской обл.*

geokhi@mail.ru

Рассмотрены подходы к экстракционному фракционированию высокоактивных отходов и достигнутые результаты. Для выделения трансурановых элементов в основном используются полифункциональные фосфорсодержащие и амидные экстрагенты. Цезий и стронций выделяются краун-эфирами и синергетными смесями на основе хлорированного дикарболлида кобальта. Для выделения цезия из щелочных сред предложены экстрагенты на основе каликс[*n*]аренов.

*Ключевые слова:* фракционирование, высокоактивные отходы, экстракция, минорные актиниды, продукты деления.

**PARTITIONING OF HLW: BASIC APPROACHES AND CURRENT STATE**

Smirnov I. V., Tananaev I. G.

*Khlopin Radium Institute, S.-Petersburg  
OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

Approaches to high-level wastes partitioning and the results obtained were discussed. Polyfunctional phosphorus-containing and amide extractants are mainly used for transuranium elements separation. Crown ethers and synergetic mixtures based on chlorinated cobalt dicarbollide separate cesium and strontium. Solvents based on calix[*n*]arenes are proposed for cesium separation from alkaline high-level wastes.

*Keywords:* partitioning, high-level waste, solvent extraction, minor actinides, fission products

В ходе экстракционной переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) образуются жидкие высокоактивные азотнокислые солесодержащие отходы (ВАО), в состав которых входят примеси урана и плутония, так называемые «минорные» актиниды - нептуний (если он не был извлечен с первыми двумя или был извлечен только частично), америций, кюрий и продукты деления. Проблема обращения с ВАО может быть решена двумя путями: отверждением отходов без предварительного кондиционирования (долго- и короткоживущие радионуклиды совместно), либо с предварительным фракционированием радионуклидов в соответствии с их химическими свойствами и периодами полураспада.

На наш взгляд, фракционирование с извлечением остатков урана и плутония, «минорных» актинидов, РЗЭ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  повышает безопасность хранения переработанных отходов, прежде всего, за счет удерживания опасных радионуклидов в индивидуальных специфических матрицах в минимальном объеме, а также трансмутации минорных актинидов и продуктов деления в короткоживущие и стабильные изотопы.

Проблема фракционирования ВАО с выделением долгоживущих радионуклидов, в первую очередь, актинидов стоит перед всеми странами, развивающими ядерную энергетику. За последние десятилетия созданы и проверены на реальных объектах ряд процессов эффективного извлечения актинидов из ВАО. Хорошие результаты получены в экстракционных схемах на основе алкилфосфорных кислот (АК) (извлечение выше 99.99 %).

Процессы на основе АК и фосфиноксидов позволяют извлекать актиниды только при низкой концентрации азотной кислоты в ВАО, что требует предварительной нейтрализации и приводит к существенному увеличению объемов отходов. Реэкстракция осуществляется растворами  $\text{HNO}_3$  высокой концентрации, что нежелательно. ТРУЭКС- и ДИАМЕКС-процессы позволяют работать в широком диапазоне кислотности без корректировки состава ВАО, а реэкстракцию осуществлять слабыми растворами кислот. Все процессы в большей или меньшей степени нуждаются в доработке, т.к. их возможности не исчерпаны [1-3].

АК, ФОР и многие диамины хорошо совместимы с парафиновыми разбавителями, так же, как и их комплексы с металлами. Бифункциональные фосфорорганические экстрагенты (БНФОС) требуют добавления к этим разбавителям солюбилизаторов (ТБФ, октанол и др.) для предотвращения образования третьей фазы. АК и ФОР относительно недороги и выпускаются на промышленной основе. БНФОС, напротив, являются дорогими реагентами, хотя их стоимость может колебаться в больших пределах в зависимости от их структуры. Ориентировочная стоимость одного из дорогих реагентов для процесса ТРУЭКСа, содержащего в структуре два различных заместителя при атоме фосфора, колеблется от 300 до 500 К\$ за тонну, а семейство диаминов - примерно в 10 раз дешевле. Однако высокая стоимость упомянутых реагентов, во многом, связаны с тем, что они пока не выпускаются в промышленных масштабах. По опубликованным данным трудно оценить количество вторичных отходов в процессах и сопоставить различные технологии по этому параметру. По предварительным оценкам наибольшие количества вторичных отходов, в том числе и органических, образуются в результате осуществления процессов с АК.

Все схемы позволяют в случае необходимости организовать разделение актинидов и лантанидов, а также выделение в отдельные фракции  $\text{U+Pu+Np}$  и  $\text{Am+Cm}$ , однако ни одна из технологий не предусматривает наряду с выделением актинидов выделения в отдельные фракции и других долгоживущих радионуклидов в рамках одноэкстрагентной схемы. Только технология на основе ХДК (UNEX-процесс) позволяет выделять одним экстрагентом актиниды,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

Единственной в России технологией фракционирования, реализованной на ПО «Маяк» в промышленном масштабе, является схема извлечения из кислых ВАО цезия и стронция растворами ХДК (ХДК-процесс). Экстракция цезия в полярные растворители дикарболлидом кобальта, который является однозарядным анионом, происходит в результате извлечения в органическую фазу диссоциированной ионной пары  $\text{Cs}^+\text{ХДК}^-$ . Константы экстракционного обмена катиона цезия на протон ХДК значительно понижается с ростом кислотности водного раствора, что обуславливает возможность эффективной реэкстракции цезия. Извлечение стронция достигается добавлением к ХДК полиэтиленгликоля (ПЭГ), повышающим коэффициент распределения стронция в  $\sim 10^3$  раз даже из сильноокислых сред.

На ПО «Маяк» на момент пуска установки УЭ-35 (1995-1996 гг.) в 13 емкостях-хранилищах находилось  $4315 \text{ м}^3$  засоленных старых ВАО, практически не подлежащих прямому отверждению. Опыт эксплуатации установки УЭ-35 позволяет сделать вывод, что в течение нескольких лет возможна полная ликвидация такого сложного типа отходов с одновременным освобождением емкостей-хранилищ. Результаты работы установки УЭ-35 на конец 2001 г. представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты промышленных испытаний фракционирования ВАО на ПО «Маяк»

Год	Срок операций, (в месяцах)	Характеристики переработанных ВАО	
		Объем, $\text{м}^3$	Общая активность, кКи
1996	3,0	210	11886
1998	2,5	95	6539
1999	~1,0	62	1498
2000	~3,0	254	6156
2001	11,0	558	23436
Всего:	20,5	1179	49515

На установке фракционирования была проведена также опытно-промышленная переработка «исторических» засоленных высокоактивных отходов с целью извлечения не только цезия-137 и стронция-90, но также актинидов и РЗЭ в отдельные фракции и перевода воднохвостовых растворов в разряд среднеактивных отходов. Переработка ВАО включала следующие технологические процессы: подготовка исходного раствора путем осветления (3-кратное отстаивание и фильтрование через двойной слой зернистых материалов) и разбавления конденсатом до содержания  $250 \pm 25$  г/л суммы нитрат-ионов; экстракционное извлечение цезия и стронция в режиме совместной экстракции-реэкстракции на установке УЭ-35 с использованием смеси хлорированного дикарболлида кобальта в разбавителе Ф-3; разрушение гидразин-нитрата из совместного реэкстракта цезия и стронция и выдача концентрата цезия и стронция на упаривание и остекловывание; переработка воднохвостовых растворов методом оксалатного осаждения с целью извлечения альфа-активных радионуклидов (уран, плутоний, америций и кюрий) и бета-активных РЗЭ, выдача декантатов после нейтрализации в водоем-хранилище САО; растворение осадка оксалатов ТУЭ, ТПЭ и РЗЭ в азотной кислоте при температуре 90-95°C с получением концентрата. С 1999 г. в результате оптимизации технологии переработки ВАО производительность установки увеличена в 1,5-2 раза по исходному раствору, в 1,7-2 раза повышена степень концентрирования стронция и цезия на стадии реэкстракции. Учтенные сбросы цезия и стронция с воднохвостовыми растворами составили менее 2%. Средние потери разбавителя за счет растворимости составили ~2,3 л на 1 м<sup>3</sup> суммарных технологических продуктов. Переработка воднохвостовых растворов оксалатным осаждением позволяет удалить до 90-95% альфа-излучателей и до 70-80% РЗЭ.

В начала 2000-х годов на ПО «Маяк» проводились испытания разработанной во ВНИИХТ экстракционной технологии совместного извлечения цезия и стронция из ВАО смесью децилогексил-18-краун-6 и дибензо-21-краун-7 в спирте-теломере n<sup>3</sup> и синтаноле в динамическом режиме на имитационном растворе в стендовых масштабах. Результаты работы показали, что при выбранном режиме работы установки извлечение радиоактивных изотопов в органическую фазу достигало 99%. В результате испытаний было переработано до 90 м<sup>3</sup> имитационного раствора ВАО и выделено более 0,5 млн. кюри радионуклидов с шестикратным концентрированием. Сопоставимость показателей работы технологии на основе ХДК на установке и результатов данных испытаний, принимая во внимание разный масштаб процесса, позволяют сделать вывод, что при эквивалентных показателях глубины извлечения целевых компонентов и соотношениях потоков испытанная система превосходит базовую технологию за счет потерь органического реагента, сокращения затрат азотной кислоты и гидразина. Реэкстракция в воду существенно снимает проблемы дальнейшей переработки концентратов.

В 2003 г. на ПО «Маяк» осуществлялись также динамические испытания UNEX-процесса с применением экстрагентов ХДК, БНФОС (или дипиколиндиамида) и ПЭГ в разбавителе Ф-3. Была определена степень извлечения радионуклидов в экстракт, составляющая для Am - 99%, Cs - 99,3%, Sr - 99,5%, Eu - 95%, общей  $\alpha$ - и  $\gamma$ -активности 96%.

В 2011 - 2012 гг. на ПО «Маяк» проводились исследования в рамках проекта «Прорыв» по обоснованию необходимой глубины фракционирования ВАО и решена задача оптимизации процесса в граничных условиях минимизации экономического критерия при комплексе ограничений на критерии радиационно-экологической безопасности. Были разработаны также основные критерии, обеспечивающие радиоэкологическую безопасность при размещении конечных форм ВАО в геологические ПЗРО с точки зрения обеспечения приемлемости изоляции (суммарная радиоактивность упаковки; радионуклидный состав; мощность эквивалентной дозы; химическая, термическая и радиационная стойкость матриц; содержание ядерных материалов и др.). Проводились также исследования по выбору базового варианта технологии комплексного фракционирования ВАО на основе тетраалкидиамидов

дигликолевой кислоты в смеси с макроциклическими соединениями или ХДК. Был проведен анализ технологических систем, ориентированных на разделения РЗЭ и ТПЭ из их смеси, полученной на первом этапе фракционирования. Перспективной представляется система на основе полидентатных гетероциклических азотсодержащих соединений. Были проведены динамические испытания стартового варианта комплексной технологической схемы фракционирования ВАО. Получено удовлетворительное извлечение из исходного раствора РЗЭ, ТПЭ и стронция. В настоящее время на предприятии подготовлена стендовая установка для проведения укрупненных лабораторных испытаний новых экстракционных систем в динамических условиях.

Дальнейшее развитие диамидных процессов переработки ВАО идет по пути оптимизации структуры хелатного узла и существенного повышения селективности извлечения ТПЭ по сравнению с РЗЭ. Повышение селективности возможно, как путем совершенствования структуры экстрагента, так и путем использования высокоселективных водорастворимых комплексонов, вводимых на операции реэкстракции.

В особую категорию выделяются «исторические» щелочные ВАО, образовывавшиеся на первых этапах производства оружейного плутония в США и СССР. Щелочные ВАО, хранящиеся на ПО «Маяк» ( $18\,000\text{ м}^3$ ) содержат около 3 М гидроксида натрия, 3 М нитрата натрия и значительные количества  $\text{Cr(VI)}$  и  $\text{Al(III)}$ . Основная радиоактивность этих ВАО определяется радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  (до  $4 \cdot 10^{10}$  Бк/л), актинидов ( $2 \div 6 \cdot 10^6$  Бк/л) и  $^{90}\text{Sr}$  ( $2 \cdot 10^8$  Бк/л). В США действует промышленная установка выделения цезия из щелочных ВАО экстрагентом на основе каликс[4]арен-краун-эфира (MaxCalix), фторорганического и аминного модификаторов. Совместными усилиями ученых Радиевого института, ПО "Маяк" и ОТИ с использованием отечественных гидроксикаликс[n]аренов был разработан экстракционный процесс выделения долгоживущих радионуклидов из щелочных ВАО ПО "Маяк", позволяющий превратить их в НАО и в десятки раз сократить затраты на отверждение и захоронение. В ходе испытаний на реальных щелочных ВАО были достигнуты коэффициенты очистки ВАО от бета-излучающих радионуклидов более 15 000, а от альфа-излучающих радионуклидов – около 100. Этого более чем достаточно для очистки щелочных ВАО до категории НАО, допускающей, после цементирования, поверхностное захоронение. За один контакт 2 М азотная кислота реэкстрагировала из органической фазы 99,9% бета- и 98% альфа-излучающих радионуклидов.

Выполненные в последние годы исследования позволяют с оптимизмом смотреть на перспективы полномасштабной промышленной переработки различных ВАО с глубоким их фракционированием и последующим оптимальным обращением с выделенными группами радионуклидов: трансмутацией, использованием или иммобилизацией с последующим окончательным захоронением.

#### Библиографический список

1. Аляпышев М.Ю., Бабаин В.А., Устынюк Ю.А. Выделение минорных актинидов из высокоактивных отходов - современные тенденции. / Успехи химии -2016.- Т. 85, № 9 -С. 943-961.
2. Глаголенко Ю.В., Дзекун Е.Г., Ровный С.И., Сажнов В.К., Уфимцев В.П., Брошевицкий В.С., Лаптев Г.А., Основин В.И., Захаркин Б.С., Смелов В.С., Ненарокомов Э.А., Никипелов Б.В. Переработка отработавшего ядерного топлива на комплексе РТ-1: история, проблемы, перспективы. // Вопросы радиационной безопасности -1997.- № 2. –С. 3-12.
3. Horwitz E.P., Schulz W.W. / Metal Ion Separation and Preconcentration: Progress and Opportunities, Chapter XX. A.H. Bond, M.L. Dietz, R.D. Rogers, eds. Amer. Nucl. Soc., 1998

УДК 621.039.7

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРИЯ ВЕСОВЫМ МЕТОДОМ**

Сылько М. А., Посохова П. А., Федорова О. В.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ»**г. Озёрск, Челябинская область*

sylko1995@mail.ru, pollimichailova@mail.ru, OVfedorova@mephi.ru

Целью данной работы является изучение возможности полного осаждения тория в виде оксалатных соединений и определение оптимальных условий проведения процесса. Установлено, что оптимальными являются следующие параметры: концентрация  $\text{HNO}_3$  2 моль/л, концентрация Th в интервале от 0,022 до 0,044 моль/л.

*Ключевые слова:* торий, оксалат, осаждение, азотная кислота, кристаллообразование.

**DETERMINATION OF THORIUM BY WEIGHT METHOD**

Sylko M. A., Posokhova P. A., Fedorova O. V.

*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

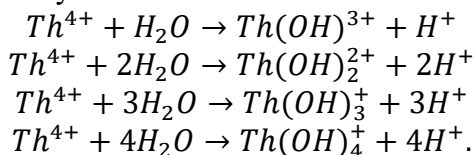
The aim of this work is to study the possibility of complete precipitation of thorium in the form of oxalate compounds and to determine the optimal conditions for the process. It was found that the optimal parameters are the following:  $\text{HNO}_3$  concentration is 2 mole / l, Th concentration is in the range from 0.022 to 0.044 mole / l.

*Keywords:* thorium, oxalate, precipitation, nitric acid, crystal formation.

Долгое время торий не находил серьезного промышленного применения и лишь развитие ядерной энергетики стимулировало интенсивное исследование свойств этого элемента.

Возникновение проблем с развитием ториевого цикла во многом связано с тем, что в мире развита энергетика на основе урана, запасов которого хватит на несколько десятилетий. На данный момент работа специалистов направлена на аппаратное оформление атомных реакторов, а не на изучение альтернативных топливных материалов. Однако сейчас торий получил широкое применение в неэнергетической сфере. Он используется для изготовления сварочных электродов, высокотемпературной керамики, катализаторов и т.д.

Торий-232 - природный радиоактивный нуклид с атомным номером 90 и массовым числом 232. Изотопная распространённость  $^{232}\text{Th}$  составляет практически 100%. Является наиболее долгоживущим изотопом тория ( $^{232}\text{Th}$  α-радиоактивен с периодом полураспада  $1,405 \times 10^{10}$  лет, что в три раза превышает возраст Земли). Благодаря малому радиусу торий проявляет склонность к гидролизу:



Склонность к гидролизу приводит к неустойчивости концентрации растворов при долгом отстаивании. Поэтому при проведении опытов необходимо проводить измерение концентрации рабочего раствора.

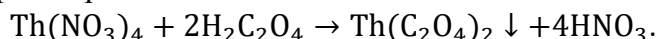
Определение концентрации тория, само по себе не представляющее значительных трудностей, становится длительным и сложным в присутствии сопутствующих элементов. Большинство предложенных методов связано с предварительным отделением примесей, и



лишь немногие из них могут применяться непосредственно для определения концентрации тория.

В зависимости от поставленной задачи при определении тория используют весовые, объемные, колориметрические и другие методы. Чаще всего рекомендуют весовые методы, особенно если нужна большая точность и количество анализируемого образца невелико. Стандартным методом служит, при условии предварительного отделения соосаждающихся элементов, осаждение тория аммиаком или щавелевой кислотой с последующим прокаливанием до оксида.

Отделение тория от большинства элементов, кроме Y, Sr и лантанидов, производится в виде оксалата. Оксалат осаждается при действии на растворы солей тория щавелевой кислоты или её растворимых солей:



Оксалат тория осаждают из горячего раствора солей тория, содержащего не более 4-5% по объему азотной кислоты. Контроль кислотности для количественного выделения тория необходим вследствие заметной растворимости оксалата тория в сильноокислых растворах. Это объясняется, тем, что при повышенной концентрации  $\text{HNO}_3$  идут процессы образования хорошо растворимых нитратных, и, возможно, оксалатно-нитратных комплексов.

В зависимости от условий взаимодействия - соотношения количеств реагентов, концентрации, температуры и величины pH раствора - ионы тория и оксалата могут образовывать соединения, различные по составу и растворимости в воде.

Оборудование и посуда: Воронка Бюхнера, фарфоровая посуда, индикаторная бумага, микроскоп.

Реактивы:  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ , насыщенный раствор щавелевой кислоты, азотная кислота, 7%-ный раствор щавелевой кислоты.

Выполнение работы: Оксалат тория осаждали добавлением избытка насыщенного раствора щавелевой кислоты в течение 1 часа к раствору с содержанием нитрата тория 7,26 г/л,  $\text{HNO}_3$  0,1 моль/л при энергичном перемешивании. Осадок промывали раствором  $\text{HNO}_3$ - $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , отфильтровали на воронке Бюхнера, затем просушили в течение 12 ч при температуре  $100^\circ\text{C}$ . После осаждения состав осадка соответствовал формуле  $\text{Th}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Для получения крупнокристаллических, легкофильтрующихся осадков рекомендуется проводить осаждения из более кислых растворов. Крупные кристаллы оксалата тория получают после выдержки осадка в 15% растворе  $\text{HNO}_3$ .

В исходном растворе содержание Th изменяли от 0,02 до 0,88 моль/л,  $\text{HNO}_3$  - от 0,5 до 2 моль/л. Осаждение проводили 7% раствором щавелевой кислоты, добавляя его к раствору Th при перемешивании в виде одной порции в течение нескольких секунд либо нескольких одинаковых порций через равные промежутки времени. Полученные данные внесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Зависимость формы кристаллов от условий эксперимента

Концентрация $\text{Th}^{4+}$ , моль/л	Концентрация $\text{HNO}_3$ , моль/л	Размер, форма кристаллов через сутки, их процентное содержание
0,022	2	Квадратные пластинки 18-25 мкм-100%
0,044	2	Квадратные пластинки 18-25 мкм-100%
0,088	2	Квадратные пластинки 12-15 мкм - 80%, 5-8 мкм-20%
0,22	2	Квадратные пластинки 5-10 мкм - 50%, 1-3 мкм-50%
0,44	2	Квадратные пластинки 8-10 мкм - 10%, 2-5 мкм-90%
0,88	2	Квадратные пластинки 1-3 мкм и их агрегаты - % невозможно определить
0,022	1	Округлые и квадратные пластинки $\leq 8$ мкм - % невозможно определить

Концентрация Th <sup>4+</sup> , моль/л	Концентрация HNO <sub>3</sub> , моль/л	Размер, форма кристаллов через сутки, их процентное содержание
0,044	1	Округлые и квадратные пластинки ≤8 мкм - % невозможно определить
0,088	1	Округлые и квадратные пластинки ≤8 мкм - % невозможно определить
0,22	1	Кристаллы ≤3 мкм и их агрегаты - % невозможно определить
0,44	1	Кристаллы ≤3 мкм и их агрегаты - % невозможно определить
0,88	1	Кристаллы ≤3 мкм и их агрегаты - % невозможно определить
0,044	0,5	Кристаллы ≤3 мкм и их агрегаты - % невозможно определить
0,088	0,5	Кристаллы ≤3 мкм и их агрегаты - % невозможно определить
0,44	0,5	Кристаллы ≤3 мкм и их агрегаты - % невозможно определить
0,88	0,5	Кристаллы ≤3 мкм и их агрегаты - % невозможно определить

Из представленных в таблице данных видно, что для получения крупных, легкофильтруемых кристаллов оптимальными являются следующие условия:

- концентрация [HNO<sub>3</sub>]=2 моль/л;
- концентрация [Th<sup>4+</sup>]=от 0,022 до 0,044 моль/л.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, о возможности полного осаждения Th в виде оксалатных соединений.

#### Библиографический список

1. Торий. Труды конференций по торию. - Москва: госатомиздат. - 1962. - 303с.
2. Жерин И.И., Амелина Г.Н. Основы радиохимии, методы выделения и разделения радиоактивных элементов: учебное пособие / И.И. Жерин, Г.Н., Амелина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 196 с.
3. Кац Дж., Сиборг Г., Морсс Л. Химия актиноидов. 2 Т. / М.: изд-во МИР. -1997. -664с.
4. Руководство по практическим занятиям по радиохимии. / Издание 2-е, перераб./ Под ред. Ан.Н. Несмеянова. М.: «Химия». -1980. - 583с.

УДК 551.58

### АНАЛИЗ ГЕНЕРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИР-100

Фролова М. А., Тананаев И. Г.

*Севастопольский государственный университет, г. Севастополь  
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток  
Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ», г. Озёрск*

geokhi@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы экологической и радиационной безопасности персонала при эксплуатации ядерного объекта – исследовательского реактора ИР-100, расположенного в Севастопольском государственном университете на основе созданного математического аппарата по расчету накопления наиболее опасных радионуклидов (<sup>14</sup>C, <sup>41</sup>Ar, Т) и химических загрязнителей (Cl<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>).

*Ключевые слова:* исследовательский реактор, генерация, радионуклиды, экология

## ANALYSIS OF THE GENERATION OF RADIOACTIVE GASES IN THE EXPERIMENTAL DEVICES OF IR-100 RESEARCH REACTOR

Frolova M. A., Tananaev I. G.

*Sevastopol State University, Sevastopol  
Far Eastern Federal University, Vladivostok  
Ozersk Technological Institute NRNU MEPhI, Ozersk*

The article deals with the issues of environmental and radiation safety of personnel in the operation of a nuclear facility - IR-100 research reactor located in Sevastopol State University on the basis of the created mathematical apparatus for calculating the accumulation of the most dangerous radionuclides ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ , T) and chemical pollutants ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{F}_2$ ).

**Keywords:** research reactor, generation, radionuclides, ecology

В развитии современных ядерных технологий в 1967 г. при Севастопольском высшем военно-морском инженерном училище (ныне – Севастопольский государственный университет), готовившим специалистов для атомного подводного флота, был запущен исследовательский ядерный реактор ИР-100 тепловой мощностью 100 кВт, соответствующий всеми требованиями радиационной безопасности того времени.

Высокая перспективность в расширении научно-исследовательских программ Севастопольского государственного университета потребовала удвоение мощности аппарата, что потребовало значительно изменить подход к нормированию излучения в обеспечении радиационной безопасности ядерного объекта.

Вслед за этим произошли существенные изменения в государственных нормативных требованиях при эксплуатации исследовательского реактора после случившихся крупных радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», кардинально изменивших природный радиационный фон.

В дополнении к тому, в 2014 г. произошло присоединение Республики Крым к Российской Федерации, что привлекло за собой анализ соответствия норм и правил безопасности ИР-100 нормативным российским требованиям.

В этой связи возникла целесообразность пересмотреть вопрос обеспечения радиозоологической безопасности ядерного объекта ИР-100 в Севастопольском государственном университете в новых условиях эксплуатации.

Известно, что исследовательские реакторы являются источниками полей проникающей радиации (нейтронных и гамма) высокой интенсивности, позволяющие осуществлять систематические исследовательские работы по радиационному материаловедению, радиационной стойкости и трансформации материалов атомной промышленности и др.

Необходимо утверждать, что все технологические регламентные операции, выполняемые научно-техническим персоналом, должны быть абсолютно безопасными. Это достигается установкой при исследовательских реакторах специальных устройств. Так, ИР-100 имеет 17 экспериментальных специальных устройств различного назначения [7]. В этих устройствах вместе с облучаемой пробой облучается и воздух внутри устройства и пространство под крышкой реактора, а также водная среда активной зоны, где и генерируются загрязняющие вещества.

По условиям обеспечения безопасности специальная вентиляция при работе реактора должна работать всегда, и благодаря этому в негерметичных устройствах поддерживается небольшой вакуум. Поэтому в эти устройства через щели идет подсос чистого воздуха и образующиеся в негерметичных устройствах радиоактивные газы и аэрозоли попасть в рабочие помещения не могут. К таким устройствам относятся горизонтальные экспериментальные каналы, пространство над свободной поверхностью теплоносителя, которое находится под чугунным массивом биологической защиты, откатной короб, тепловая

колонна, каналы системы управления и защиты и другие. К герметичным устройствам относятся центральный экспериментальный канал и вертикальные экспериментальные каналы, которые находятся в графитовом отражателе [2]. Последнее говорит о том, что в вертикальных экспериментальных каналах значительно преобладает плотность потока тепловых нейтронов [3,6].

Более того в силу незначительного содержания в облучаемом воздухе в каналах природных газов - неона, гелия, водорода, ксенона, радона, а также двуокиси азота и углерода, образование радиоактивных газов через трансформацию в нейтронных полях исходных природных газов можно пренебречь. Кроме этого пренебрегаем образованием радиоактивных газов из исходных составляющих воздуха в поле нейтронов спектра деления: плотность потока таких нейтронов в 100 раз ниже плотности потока тепловых нейтронов, а сечения активации исходных составляющих воздуха в поле нейтронов спектра деления не превышает нескольких барн, что сводит к минимуму возможность протекания указанных реакций.

Поэтому рассматривается образование радиоактивных газов из изотопов азота, кислорода и аргона в поле только тепловых нейтронов.

При взаимодействии с нейтронами теплового спектра с веществом, материнские нуклиды дают дочерние, часть которых - радиоактивны ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ ) и они представляют интерес с точки зрения радиоэкологической опасности, а часть - дают химически активные вещества, являющиеся при определенных условиях весьма токсичными, как правило - очень реакционно-активные элементы (фтор и хлор) [4].

Наряду с облучением воздушной среды в активной зоне воздействию нейтронного потока подвергается водная среда - теплоноситель/замедлитель, представленный водой высокой чистоты с добавлением борной кислоты для регуляции ядерной безопасности. Так, при облучении изотопов водорода и бора-10 генерируется тритий - сверхтяжелый биологически значимый радионуклид водорода, отличающийся большой интенсивностью миграции в окружающей среде, особенно в водных объектах, и являющийся глобальным загрязнителем природных комплексов [1].

Таким образом, возникла необходимость определить не только физические модели генерации активных компонентов (физические модели), но и дать количественную оценку сгенерированных поллютантов (математические модели).

Тем самым, для решения указанной задачи на первом этапе потребовалось осуществить расчет образования (скорости накопления) в атмосферном воздухе рабочих надреакторных помещений исследовательского реактора и в теплоносителе основных химически, радиационно- и биологически опасных радионуклидов ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ ) и химически активных элементов ( $\text{F}_2$ ,  $\text{C}_{12}$ ), образующихся в полях тепловых нейтронов в процессе эксплуатации реактора. Полученные результаты стали основой настоящей статьи [5].

Основным параметром, влияющим на скорость генерации вышеотмеченных поллютантов, является плотность потока тепловых нейтронов, которая по высоте и по радиусу активной зоны распределена неравномерно и является переменной величиной. В связи с этим возникает необходимость определения плотности потока нейтронов с определенной точностью по всему объему активной зоны [6]. Так как плотность потока нейтронов прямо пропорциональна активности облучаемого материала, то эксперимент заключался в облучении активационных детекторов и съема на сцинтилляторах их активности. При определении плотности потока использовались активационные детекторы из сусального золота, на которые получен патент на полезную модель. То есть по высоте каждого канала были распределены детекторы, съем параметров с которых дал количественные значения плотности потока тепловых нейтронов.

Путем решения математических моделей, при использовании определенной экспериментально-аналитическим путем плотности потока нейтронов теплового спектра, получены данные - скорости генерации вышеуказанных реперных загрязняющих веществ, которые позволяют оценить с точки зрения химической и радиоэкологической безопасности

степень влияния исследовательского ядерного реактора ИР-100 на персонал и окружающую среду в месте расположения.

Данные по образованию радиоуглерода в течении 6-ти и 12-и часовой сменной работе позволяют утверждать, что на момент конца облучения в экспериментальных каналах активность радионуклида на два порядка превышает предельные значения, но при вскрытии пробки, герметично закрывающей канал, происходит выход облученного воздуха и его разбавление, что ведет к снижению концентрации до значений ниже предельных ( $55 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ ), то есть угрозы со стороны наличия активированного радиоактивным углеродом воздуха для здоровья персонала, и, соответственно, населения нет.

Совсем иначе представлен характер изменения кривой удельной активности воздуха активированного аргоном-41. В процессе работы установки происходит постоянная генерация радионуклида и максимум значений достигается к концу облучения, но после остановки реактора, буквально в течении 10 часов, весь сгенерированный аргон распадается, подчиняясь закону радиоактивного распада. то есть к началу следующей смены удельная активность по аргону-41 будет стремиться к нулю.

Решение математической модели, описывающей активацию теплоносителя за время работы реактора показывает, что в течение 10 месяцев работы по регламенту (между планово-предупредительными ремонтами) дает активность, наведенную тритием, равную  $3,1 \cdot 10^6 \text{ Бк}$ . Ежедневно в надреакторное помещение испаряется 10 л воды, содержащей тритий. Радиоактивный газ проникает в обслуживаемые помещения, создавая удельную активность  $8268 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ . Показано, что эти величины активности ниже допустимых концентраций в воздухе рабочих помещений для персонала.

Образование фтора и хлора так же напрямую зависит от плотности потока нейтронов, но данные химические элементы образуются в достаточно малых количествах, значения которых не достигают предельно допустимых концентраций.

Выводы:

- в ходе анализа химической и радиозоологической обстановки на исследовательском реакторе ИР-100 разработаны физические и математические модели генерации поллютантов, осуществлен количественный расчет наиболее экологически опасных загрязняющих веществ ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{T}$ ,  $^{39-41}\text{Ar}$ ,  $\text{C}_{12}$ ,  $\text{F}_2$ ), образующихся в ходе эксплуатации реактора как в воздушной среде (экспериментальные каналы), так и водной фазе (теплоноситель/замедлитель);

- экспериментально определены значения плотностей потоков нейтронов теплового спектра в каждом экспериментальном канале с использованием созданного и запатентованного детектора из сусального золота в соответствии с правилами стандартизации и метрологии;

- на основании полученных данных с учетом плотностей потока тепловых нейтронов рассчитана скорость образования  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{T}$ ,  $^{39-41}\text{Ar}$ ,  $\text{C}_{12}$ ,  $\text{F}_2$  при 6-ти и 12-ти часовом режиме эксплуатации;

- установлено, что активность облученного воздуха в экспериментальных каналах после активации значительно превышает допустимые значения для персонала. Определен режим времени выдержки при вскрытии экспериментального канала в условиях обеспечения безопасности персонала и окружающей среды;

- определены подходы к управлению генерацией загрязняющих веществ посредством варьирования плотности потока нейтронов реакторного спектра за счет управления мощностью установки;

- по результатам физико-математического расчета и аналитической оценки экологической обстановки на ядерном объекте показано, что химическая, биологическая и радиационная безопасность в ходе штатной эксплуатации ИР-100 полностью обеспечивается с позиций современных требований.



Библиографический список

1. Барабанов С.А., Залевский П.И., Пономаренко П.А. Основы радиационной безопасности. – М.: Военно-морской флот, 1973.– 102 с.
2. Бартоломей Г.Г., Бать Г.А., Байбаков В.Д., Алхутов М.С. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. - М.: Энергоатомиздат -1989.— 512 с.
3. Климентов В.Б., Копчинский Г.А., Фрунзе В.В. Активационные измерения потоков и спектров нейтронов в ядерных реакторах. - М.: Издательство стандартов, 1974.– 207 с.
4. Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С., Тихонов Е.Г. Активационные методы спектрометрии нейтронов. -М.: Атомиздат, 1976.– 232 с.
5. Левин В.И. Получение радиоактивных изотопов. -М.: Атомиздат, 1972.- 256 с.
6. Определение нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора ИР-100: Отчет о научно-исследовательской работе / СНУЯЭиП. — г.Севастополь -2003. – 50с.
7. Саркисов А.А. В.Н. Пучков. Физические основы эксплуатации ядерных паропроизводящих установок. –М.: ЭАИ, 1989.– 504 с.

УДК 548:546.06

**УТОЧНЕНИЕ СТРУКТУРЫ НАСООН МЕТОДОМ ПОЛНОПРОФИЛЬНОГО АНАЛИЗА**

Шабурова Е. С., Орлова В. А., Волкова Т. С., Рудских В. В.

*ФГУП «ПО «Маяк»*

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ*

*г. Озёрск, Челябинская область*

ShaburovaES@mail.ru

Методом рентгенографии исследован промежуточный продукт процесса восстановления мелкодисперсного порошка серебра. Выполнен его качественный и количественный анализ. Определены структурные характеристики (параметры элементарной ячейки, координаты атомов, длины связей и валентные углы) одной из составляющих изучаемого материала – формиата натрия. Структура уточнена методом Ритвельда по данным порошковой рентгенографии.

*Ключевые слова:* мелкодисперсный порошок серебра, формиат натрия, рентгеновская дифракция, метод Ритвельда, структура.

**REFINEMENT OF THE STRUCTURE OF NACOOH BY THE METHOD OF FULL-PROFILE ANALYSIS**

Shaburova E. S., Orlova V. A., Volkova T. S., Rudskih V. V.

*FSUE «PA «Mayak», OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

The intermediate product of the reduction process of finely dispersed silver powder was studied by X-ray diffraction. Its qualitative and quantitative analysis is performed. Structural characteristics (unit cell parameters, atomic coordinates, bond lengths and valence angles) of one of the components of the studied material – sodium formate were determined. The structure was refined by Rietveld's method based on powder X-ray diffraction data.

*Keywords:* fine silver powder, sodium formate, X-ray diffraction, Rietveld's method, structure.

Серебро, благодаря своим физико-химическим свойствам (высокие электро- и теплопроводность, твердость, плотность, пластичность, прочность и износостойкость), находит широкое применение в различных областях промышленности: электроника, медицина, химическая, авиа- и оборонная промышленность и др. [1, 2]. При этом для широкого спектра применений требуется мелкодисперсный порошок металлического серебра.

Существует множество различных способов получения порошков серебра. Широко распространены реагентные восстановительные методы. Следует отметить, что реагенты, используемые в качестве восстановителей серебра, весьма разнообразны. Так, авторами [3] предложен способ получения порошка серебра из раствора его соли (нитрата серебра), в котором в качестве восстановителя могут быть использованы гидразин-сульфат, формиат натрия, гидрохинон, формалин. Реакционную смесь кипятят в течение 15 мин, восстановление серебра проводят в слабощелочной среде (рН раствора от 8 до 9). Образующийся порошок серебра промывают водой дистиллированной методом декантации до нейтральной среды и отфильтровывают на воронке Бюхнера. Для улавливания частиц серебра, находящихся во взвешенном состоянии, на дно воронки вкладывают батистовый и два бумажных фильтра. Размер частиц мелкодисперсного серебра от 1 до 10 мкм, выход – 85 % от теоретического. В патенте [4] указывается, что при восстановлении серебра из раствора его соли избыток восстановителя – формиата натрия, должен составлять от 150 до 200 % от стехиометрически требуемого. Преимуществом описанного подхода является простота реализации процесса восстановления, использование доступных реагентов и высокий выход целевого продукта.

В настоящей работе исследовались особенности протекания процесса восстановления в водном растворе нитрата серебра формиатом натрия в присутствии гидрокарбоната натрия, представляющего практический интерес с точки зрения получения мелкодисперсных порошков серебра с воспроизводимым гранулометрическим составом [5].

Для определения стадий протекания процесса в экспериментах выполняли рентгенофазовый анализ веществ. Съемку рентгенограмм осуществляли на дифрактометре рентгеновском Bruker D8 Advance (фокусировка по Бреггу-Брентано) в диапазоне углов отражения  $2\Theta$  от  $10^\circ$  до  $80^\circ$  с длиной волны рентгеновского излучения –  $1,54060$  (Cu K $\alpha$ ) Å. Обработку полученных данных выполняли с использованием программного пакета Diffraction.suite, Diffraction.eva, Diffraction.topas, базы данных порошковой дифрактометрии PDF-2 (версия 2014 г.) и базы данных ICDD (версия 2014 г.).

На рисунке 1 представлена рентгенограмма продукта, образующегося после полного упаривания профильтрованного раствора по завершении процесса восстановления. Из приведенной рентгенограммы видно, что вещество представляет собой смесь фаз нитрата, формиата и карбоната серебра.

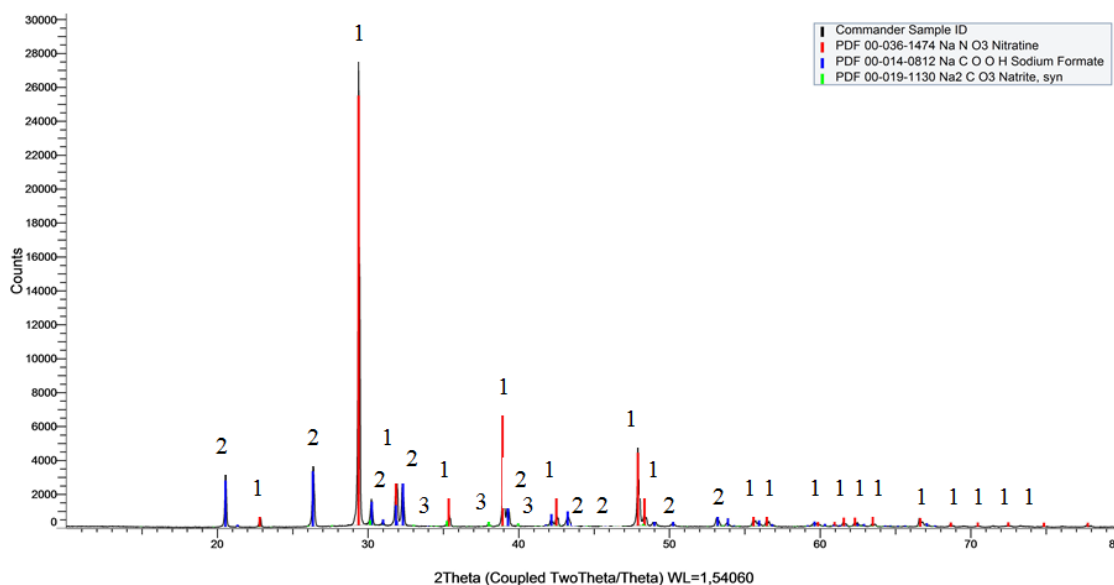


Рисунок 1 – Рентгенограмма вещества после упаривания профильтрованного раствора по завершении процесса восстановления

Количественный анализ материала выполняли методом Ритвельда [6]. Принцип метода состоит в использовании независимых измерений интенсивности в каждой точке дифрактограммы с описанием профиля линии с использованием аналитических функций, вместо использования интегральной интенсивности рефлексов. Параметры функций, включающие структурные, приборные и другие характеристики, уточняются с помощью нелинейного метода наименьших квадратов.

Для успешного уточнения методом Ритвельда необходима хорошо продуманная стратегия:

- правильный выбор модели и стартовых значений для всех уточняемых параметров;
- правильная последовательность уточнения;
- использование графического контроля, корреляционной матрицы для оценки успешности уточнения.

Исходные модели структур нитрата натрия и карбоната натрия были взяты из базы данных ICDD. Для формиата натрия модели структуры найдено не было, поэтому возникла необходимость уточнения структуры данного соединения.

Методом LSI-индексирования определена пространственная группа формиата натрия – C2/c. В качестве стартовой модели для уточнения структурных характеристик были использованы координаты атомов в формиате лития, полученные ранее [7]. Параметры элементарной ячейки и результаты уточнения кристаллической структуры NaCOOH приведены в таблице 1. Экспериментальный и теоретический профили рентгенограммы изучаемого образца и разностная кривая, нормированная на среднеквадратичное отклонение в точке, представлены на рисунке 2. Рассчитанные позиционные и тепловые параметры - в таблице 2.

Таблица 1 – Параметры элементарной ячейки и результаты уточнения кристаллической структуры NaCOOH

Пространственная группа	C2/c
a, Å	6,2563(4)
b, Å	6,7543(3)
c, Å	6,1708(4)
$\beta$ , °	116,177(5)
V, Å <sup>3</sup>	234,02(2)
Z	32
2 $\theta$ -интервал, °	10-80
R <sub>Bragg</sub>	2,034

Таблица 2 – Заселенность позиций (w) и координаты атомов в структуре NaCOOH

Атом	w	x	y	z
O(1)	1	0,565(2)	0,611(2)	0,316(2)
O(2)	1	0,746(4)	0,563(4)	0,636(5)
O(3)	1	0,406(3)	0,386(1)	0,417(2)
O(4)	1	0,126(3)	0,371(2)	0,283(1)
O(5)	1	0,433(3)	0,046(2)	0,022()
O(6)	1	0,639(3)	0,339(3)	0,296(3)
O(7)	1	0,716(2)	0,282(1)	0,742(1)
O(8)	1	0,589(5)	0,512(4)	0,801(3)
C(1)	1	0,323(5)	0,307(2)	0,105(3)
C(2)	1	0,437(4)	0,385(2)	0,574(3)
C(3)	1	0,650(3)	0,235(4)	0,423(3)
C(4)	1	0,797(1)	0,075(3)	0,960(4)
Na(1)	1	0,369(2)	0,325(3)	0,430(2)
Na(2)	1	0,302(2)	0,488(2)	0,253(2)
Na(3)	1	0,676(1)	0,119(1)	0,688(1)
Na(4)	1	0,384(2)	0,026(1)	0,670(1)
H(1)	1	1,000(2)	0,108(4)	0,797(5)
H(2)	1	0,506(3)	0,026(1)	0,753(3)
H(3)	1	0,555(5)	0,087(1)	0,115(5)
H(4)	1	0,352(3)	0,224(2)	0,916(4)

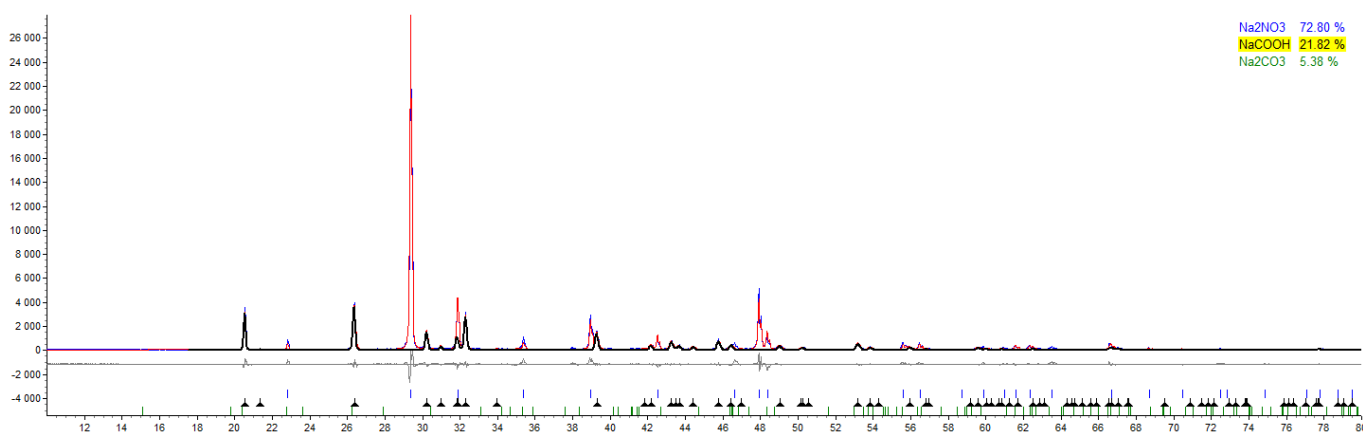


Рисунок 2 – Экспериментальный, теоретический и разностный, нормированный на среднеквадратичное отклонение в точке, профили рентенограммы HCOONa. Вертикальные штрихи – расчетные положения дифракционных пиков.

Фрагмент структуры  $\text{NaCOOH}$  изображен на рисунке 3. Формиат натрия кристаллизуется в моноклинной сингонии с базоцентрированным типом решетки Бравэ, пространственная группа  $C2/c$ . Структура образована  $\text{NaO}_4$  – полиэдрами (к.ч. 4) и  $\text{CO}_2\text{H}$  – полиэдрами (к.ч. 3), объединенными между собой посредством общих атомов кислорода.  $\text{NaO}_4$  – полиэдры при этом соединяются как через вершины, так и через ребра.

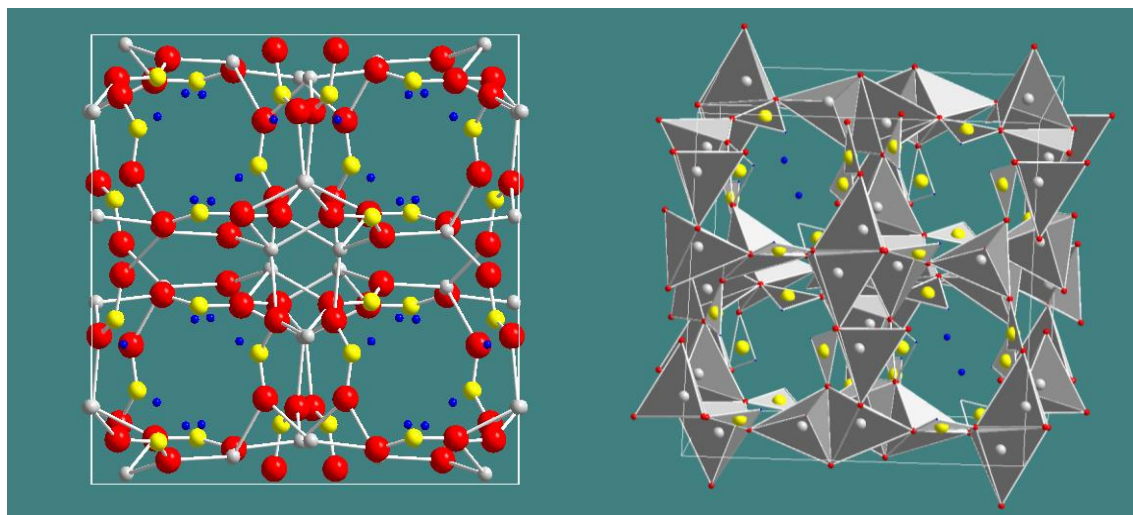


Рисунок 3 – Фрагмент структуры  $\text{NaCOOH}$

По результатам количественного анализа содержание  $\text{NaNO}_3$  в образце составило 64,53%;  $\text{NaCOOH}$  – 29,14%;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 6,33%.

Таким образом, в результате исследования определен фазовый (качественный и количественный) состав вещества после упаривания профильтрованного раствора, образующегося по завершении процесса восстановления мелкодисперсного порошка серебра. Методом полнопрофильного анализа уточнена структура формиата натрия.

#### Библиографический список

1. <http://gold.ru/news/preimushhestva-i-primenenie-serebra.html>. Преимущества и применение серебра.
2. <https://dedpodaril.com/srebro/info/srebro-metall.html>. Свойства и область применения серебра.
3. Степанов Е.Г., Малышева З.Г., Пичков В.Н., Степанова И.П., Дорогова И.Н., Рудницкая О.В., Махова Т.Н., Иванова Н.И. А.с. 1202712 (1970) // Б. И. 1986. № 1.
4. Тимофеев Н.И., Богданов В.И., Горбатова Л.Д., Корепанов С.С. Пат. 2150354 (1999). // Б.И. 2000. № 6.
5. Получение мелкодисперсного порошка серебра [Текст]: сообщение / ФГУП «ПО «Маяк»; исполн. Рудских В.В. Волкова Т.С. – Озерск, 2017. – 15 с. - № 193-5.8/2158 от 25.05.2017.
6. Rietveld H.M. Line profiles of neutron powder-diffraction peaks for structure refinement. // Acta Cryst. 1967. V. 22. P. 151-152.
7. Kansikas J, Hermansson K. The structure of lithium formate. // Acta Cryst. 1989. V. 45. P. 187.
8. Bruker AXS (2008): TOPAS V4: General profile and structure analysis software for powder diffraction data. - User's Manual, Bruker AXS, Karlsruhe, Germany.



УДК 546.185 + 549.057: 621.039.73

**КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕЗИЯ-137**

Шичалин О. О., Папынов Е. К., Тананаев И. Г.

*Институт химии Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток**Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток**Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва*

geokhi@mail.ru

Методом искрового плазменного спекания (ИПС) получены керамические матрицы на основе природного цеолита в качестве источника ионизирующего излучения высокой плотности и механической прочности при сжатии (490 МПа), содержащие до 21 масс.% цезия-137 с низкими скоростями его выщелачивания ( $<10^{-6}$  г/см<sup>2</sup>·сут). Определены оптимальные условия проведения процесса.

*Ключевые слова:* искровое плазменное спекание, радионуклидные источники

**CERAMIC MATRICES FOR SOURCES OF IONIZING RADIATION BASED ON CESIUM-137**

Shichalin O. O., Papinov E. K., Tananaev I. G.

*Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the RAS, Vladivostok**Far Eastern Federal University, Vladivostok**Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS, Moscow*

Ceramic matrices based on natural zeolite as a source of high-density ionizing radiation and mechanical compressive strength (490 MPa) containing up to 21 mass% of cesium-137 with low leaching rates ( $<10^{-6}$  g/cm<sup>2</sup>·day) were obtained by Spark Plasma Synthesis (SPS). The optimal conditions for the process are determined.

*Keywords:* spark plasma sintering, radionuclide sources

Освоение Арктики – важнейшая задача в связи с имеющимися уникальными залежами руд меди, никеля, олова, платиноидов, редких и редкоземельных элементов, золота, вольфрама, ртути, а также алмазов, оптического сырья и поделочных камней [3]. Комплексная оценка технически извлекаемых запасов в Арктике указывает на неразведанные запасы 90 млрд баррелей нефти и 50 трлн м<sup>3</sup> газа, что 100-кратно превышает разведанные их запасы [4]. Осуществлению добычи минерального сырья мешает развитие транспортных путей и инфраструктуры по Северному морскому пути. Ожидаемый трехкратный рост грузопотока требует обеспечения гарантированной навигации за счет создания новых навигационных и радиомаяков, световых знаков и метеостанций автономного электропитания с применением радиационных источников тока. С целью обеспечения их безопасного использования необходимы новые механически прочные недиспергируемые матрицы активных зон для <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, обладающие низкими скоростями выщелачивания под воздействием пресной и морской воды. Сегодня иммобилизацию <sup>137</sup>Cs в промышленных объемах проводят в стекла различного состава: свинцово-силикатные (Na<sub>2</sub>O-PbO-SiO<sub>2</sub>), боросиликатные (Na<sub>2</sub>O-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>) и алюмофосфатные (Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) [1]. Ввиду метастабильности, стекла подвержены радиационной девитрификации, что приводит к снижению их гидролитической устойчивости. В этой связи наиболее надежными связующими является керамика и стеклокерамика, отличающаяся термодинамической стабильностью, радиационной, термической и

механической устойчивостью. Керамические системы перспективные для замены стекла имеют следующий состав: алюмосиликаты (поллцит  $(\text{Cs},\text{Na})\text{AlSi}_2\text{O}_6$ , цеолиты  $\text{A-Na}[\text{AlSiO}_4]\cdot(2-3)\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{X-Na}[\text{AlSi}_{1-1,5}\text{O}_{4-5}]\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Y-Na}[\text{AlSi}_{1,5-3}\text{O}_{5-8}](3-4)\text{H}_2\text{O}$ ), фосфаты ( $\text{KMgPO}_4$ , коснарит  $\text{NaZr}_2(\text{PO}_4)_3$ , витлокит  $(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)$ , апатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ), сульфаты (лайгбенит  $\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$ ) [2,5]. Традиционные технологии получения данных матриц включают метод плавления (в печах или индукционное плавление в холодном тигле) или твердофазного синтеза (холодное прессование с последующим спеканием или горячее прессование). Но в настоящее время наиболее перспективной технологией порошковой металлургии выступает технология искрового плазменного спекания (ИПС) [6]. Целью работы явилось исследование искрового плазменного спекания природных алюмосиликатов (цеолитов) различных месторождений, содержащих адсорбированные ионы стабильного цезия (имитатора радиоцезия). Использовались природные цеолиты с различным соотношением  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  из месторождений Приморского (Чугуевский) и Камчатского (Ягодинский) краев, Сахалинской (Лютюга) и Закарпатской (Сокирницкий) областей, а также Республики Болгария (Белый Баир). Для насыщения  $^{137}\text{Cs}$ -ем, порошки с  $\phi$  от 100 до 50 мкм помещали в колбы с 5 г/л  $\text{CsNO}_3$ , выдерживали 24 час (25 °C), промывали  $\text{H}_2\text{O}$  и сушили (100 °C). Затем 3 г насыщенных  $\text{Cs}^+$  порошков помещали в графитовую пресс-форму ( $\phi = 10-15$  мм) установки ИПС SPS-515S «Dr.Sinter LABTM» (Япония), подпрессовывали (20,7 МПа). Далее заготовку помещали в вакуумную камеру (6 Па) и спекали. Спекание образцов проводили при температурах 700, 800, 900, 1000 и 1100 °C, скорость разогрева 300 °C/мин (диапазон 0 - 650 °C), со снижением до 90 °C/мин при >650 °C. Образец выдерживали при максимальной температуре 5 мин и охлаждали до комнатной температуры в течении 30 мин. Давление прессования при спекании составило 21,5, 24,5, 36,8 и 48,1 МПа, в зависимости от условий синтеза, а также было постоянным в течении всего процесса. Разогрев спекаемого материала проводили постоянным электрическим током с периодичностью 12/2, длительностью 3,3-329 мс и частотой 50 Гц. Гидролитическую стойкость керамических матриц оценивали по скорости выщелачивания ионов цезия при длительном контакте с дистиллированной водой, согласно ГОСТ Р 52126-2003.

В настоящем исследовании продемонстрированы возможности технологии ИПС для консолидации порошков природных цеолитов различных месторождений с целью получения керамических матриц пригодных для иммобилизации радиоактивного цезия. Высокое качество полученных цезий содержащих матриц оценивали, в первую очередь, по их физико-химическим характеристикам. Экспериментально установлено, что максимальная величина сорбционного насыщения Чугуевского цеолита цезием составляет 13,5 %. ИПС консолидация данного порошка позволяет формировать керамические компаунды, для которых параметры плотности и механической прочности зависят от температурных режимов процесса. Уплотнение порошка и, соответственно, его спекание возникает свыше 800 °C. Максимальная плотность 2,429 г/см<sup>3</sup> (99,8 % от теоретического значения) и прочность 477–490 МПа образцов керамики достигается при 1000 °C. Указанные значения коррелируют с резким снижением удельной поверхности порошка до минимальной величины 0,1 м<sup>2</sup>/г при высокотемпературном разогреве, что также указывает на его активное спекание. Очевидно, что в области высоких температур (более 1000 °C) твердофазные реакции активизируют процессы деформации с достижением пластического течения твердого тела. В этих условиях спекаемый материал становится пластичным, в результате происходит его сплавление с образованием монолитной структуры. Кинетика спекания порошков Чугуевского цеолита, содержащих цезий, была изучена по динамике их уплотнения в ходе ИПС обработки, при различных температурах и давлении прессования.

По результатам исследования выявлено, что уплотнение порошка цеолита происходит в несколько стадий за счет деформаций, вызванных механическим и термическим воздействием. Область (А) общая для всех типов образцов в независимости от температуры их получения и отвечает механической деформации исходного порошка на начальной стадии

его спекания, за счет приложенного постоянного давления прессования. Области (Б) соответствует деформация, вызванная разогревом материала до температуры спекания/плавления, с последующим его уплотнением. Согласно температурной кривой разогрева и кривым уплотнения порошков, начальные стадии их спекания (начало перегиба области Б) соответствуют температуре 850 °С. Последующее повышение температуры приводит к интенсивному спеканию порошков и изменению физико-химических характеристик конечных образцов. Зависимости, полученные для образцов, синтезированных при 1000 и 1100 °С практически аналогичны друг другу, что указывает на вероятную однотипность образцов по фазовому составу, как и в случае их характеристик. Динамика уплотнения порошка при спекании в условиях более высоких давлений (36,8 и 48,1 МПа) имеет свою особенность, где на начальной стадии процесса происходит дополнительное механическое уплотнение, область (А). Области (Б) и (В) уплотнений соответствуют вышеописанным механическим и термическим деформационным эффектам, вызывающих уплотнение порошка, однако, очевидным отличием является их величины, которые для высоких давлений значительно выше. Температура начала спекания порошков в независимости от величины приложенной нагрузки составляет 850 °С. Методом РЭМ определено, что в области невысоких температур 700–800 °С происходит равномерное спекание порошка цеолита по границам контактов его частиц, при этом их форма и размер частично сохраняются. В этом случае керамика имеет пористую структуру внутреннего и внешнего типа, за счет естественных пор цеолита и пор, образованных при взаимодействии и упаковке частиц, удельная поверхность образцов керамики составляет 12–17,6 м<sup>2</sup>/г. Выявлено, что повышение температуры ИПС процесса свыше 800 °С приводит к разрушению пористой структуры в компаунде, что связано с ростом частиц и их сплавлением. Морфология поверхности скола образца, полученного при 900 и 1000 °С аналогична друг другу и соответствует монолитной структуре, как показано на примере образца, спеченного при 1000 °С. Кинетика спекания цеолита коррелирует с особенностями его фазовых превращений. В частности, при повышении температуры спекания Чугуевского цеолита происходит аморфизация его кристаллических фаз (морденита и гейландита), о чем свидетельствуют соответствующие дифрактограммы. В области высоких температур ИПС 1000 и 1100 °С происходит образование вещества аморфной структуры. В области данных температур очевиден процесс остекловывания спекаемого алюмосиликата, образуется стеклофаза, при этом наблюдается усадка и уплотнение образующейся массы. Получаемые образцы стеклокерамики характеризуются повышенной механической прочностью, по сравнению с другими образцами. Состав кристаллических фаз низкотемпературных образцов матриц остается неизменным при нагреве до 900 °С.

В работе проведена оценка гидролитической стойкости получаемой алюмосиликатной керамики, что является основным показателем качества для твердых матриц с радионуклидным наполнением. Исследование основано на определении скорости выщелачивания цезия из объема полученных образцов керамики, при их длительном контакте с водным раствором. Согласно результатам установлено, что матрицы высокотемпературного ИПС синтеза (1000 °С и более), полученные на основе Чугуевского цеолита, и содержащие до 13,5 масс. % Cs, наиболее устойчивы к выщелачиванию. Десорбция цезия из их объема минимальна и составляет 10–6 г/см<sup>2</sup>·сутки. Очевидно, что низкая скорость выщелачивания цезия из высокотемпературных образцов связана с образованием стеклофазы в составе матрицы, что определяет высокую прочность фиксации цезия в ее объеме. Кроме того, установлено, что конструкционная прочность матриц после длительного контакта с испытуемым раствором значительно снижается, но при этом остается в высоких допустимых пределах, согласно требованиям ГОСТ. Значительные отличия в скоростях выщелачивания цезия из объема различных матриц, вероятнее всего, связаны с индивидуальностью механизмов сорбции и химического связывания цезия в порошках цеолитов и их керамических компактах, что требует индивидуально исследования для будущих научных работ. Из

результатов следует, что температурный режим ИПС консолидирования Чугуевского цеолита при 1000 °С и более, является оптимальным для получения высокоплотной и гидролитически стойкой керамики, с иммобилизованным в ее объеме цезием. Данный режим был применен для консолидации природных цеолитов различных месторождений. Характеристики полученных керамических матриц, содержащих цезий, различны, что вероятно обусловлено индивидуальными физико-химическими свойствами цеолитов. В частности, установлено, что естественная сорбционная емкость по цезию исследуемых цеолитов варьируется в пределах 13,5–20,8 масс. %. Сравнительная оценка гидролитической стойкости указанных матриц показала, что скорость выщелачивания цезия для всех образцов находится в допустимо низких пределах 10–6 г/см<sup>2</sup>·сутки. Следует указать, что наименьшую степень выщелачивания обеспечивает Сокирницкий цеолит (Закарпатская область).

#### *Выводы*

В настоящей работе возможности технологии ИПС были изучены применительно к получению керамических матриц на основе природных цеолитов, которые могут быть пригодны для прочной иммобилизации радионуклидов цезия. Впервые исследована особенность фазообразования и кинетика спекания Чугуевского цеолита (месторождение Приморский край) в неравновесных условиях ИПС процесса. Установлено, что кристаллическая структура цеолита при электроимпульсном разогреве стабильна до 900 °С, а в области высоких температур (от 1000 °С и выше) происходит его аморфизация с образованием стеклоподобного материала. Выявлено, что основное уплотнение порошков цеолитов и, соответственно, их активное спекание происходит в минимально короткий промежуток времени (1 мин), при температуре свыше 850 °С. При этом максимальная плотность и прочность керамических образцов достигается при 1000 °С. Определено, что остекловывание керамики, содержащей цезий, является ключевым показателем ее гидролитической стойкости. Высокая степень связывания иммобилизованного цезия в объеме полученных алюмосиликатных матриц обеспечивается стеклофазой, оптимальная температура образования которой, для различных цеолитов, составляет не менее 1000 °С. Перспективность применения ИПС технологии может быть обоснована более щадящими технологическими режимами процесса и качеством получаемых материалов. В частности, по результатам исследования показано, что технология ИПС обеспечивает получение керамических матриц с иммобилизованным цезием (имитатором радиоцезия), при температуре 1000–1100 °С, времени изготовления менее 5 мин, без дополнительных стадий предварительного фракционирования сырья. Алюмосиликатная основа матриц за счет структурной пористости и высокой доли свободного объема обеспечивает равномерное сорбционное накопление цезия до 20,8 масс. %. При этом матрицы обладают низкими скоростями выщелачивания цезия водой менее 10–5–10–6 г/см<sup>2</sup>·сутки, а также имеют чрезмерно высокую прочность при сжатии 470–490 МПа.

*Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 55 «Арктика - научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития»*

#### Библиографический список:

1. Алой А.С., Баранов С.В., Логунов М.В., Слюнчев О.М., Харлова А.Г., Царицына Л.Г. Источники гамма-излучения с цезием-137 (свойства, производство, применение). –г. Озерск.: РИЦ ВРБ ФГУП «ПО «Маяк», 2013.- 232 с.
2. Мартынов К.В., Некрасов А.Н., Котельников А.Р., Тананаев И.Г. Синтез и исследование химической устойчивости и прочности фосфатов циркония со структурой лангбейнита с имитаторами ВАО. // Физика и химия стекла -2017.- Т. 43, № 1 –С. 106-115.
3. Электронный ресурс. <http://www.arktika-antarktida.ru/arktikapolsk.shtml>
4. Электронный ресурс. <http://tass.ru/spec/arctic>

5. Orlova A.I., Troshin A.N., Mikhailov D.A., Chuvil'deev V.N., Boldin M.S., Sakharov N. V., Nokhrin A. V., Skuratov V.A., Kirilkin N.S. Phosphorus-containing cesium compounds of pollucite structure. Preparation of high-density ceramic and its radiation tests. // *Radiochemistry -2014.-* Vol. 56, № 1 -P. 98–104.
6. Papynov E.K., Shichalin O.O., Mayorov V.Yu., Modin E.B., Portnyagin A.S., Tkachenko I.A., Belov A.A., Gridasova E.A., Tananaev I.G., Avramenko V.A. Spark Plasma Sintering as a High-Tech Approach in a New Generation of Synthesis of Nanostructured Functional Ceramics. // *Nanotechnologies in Russia. – 2017. -* Vol. 12, № 1–2. – P. 49–61.

**УДК 54.057**

## **СИНТЕЗ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОНКОСЛОЙНОГО ФЕРРОЦИАНИДА МАРГАНЦА**

Юрцун А. Ю., Иванцова Е. Ю., Медведев В. П.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ  
г. Озёрск, Челябинская область*

smagina\_alryona@mail.ru, ivanczova.evgeniya@mail.ru

Описана методика и химизм процесса синтеза тонкослойного ферроцианида марганца. Исследованы сорбционные свойства синтезированного сорбента. Установлено, что тонкослойный ферроцианид марганца обладает высоким сорбционным средством к цезию.

*Ключевые слова:* радиоактивные отходы, цезий-137, тонкослойные неорганические сорбенты, степень сорбции, коэффициент распределения.

## **SYNTHESIS AND SORPTION PROPERTIES OF THIN-LAYER MANGANESE FERROCYANIDE**

Ivantsova E. Yu., Yurtsun A. Yu., Medvedev V. P.

*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

The technique and chemism of synthesis process of thin-layer ferrocyanide of manganese is described. The sorption properties of the synthesized sorbent are investigated. It was found that thin-layer ferrocyanide of manganese has a high sorption affinity to cesium.

*Keywords:* radioactive waste, cesium-137, thin-layer inorganic sorbents, degree of sorption, distribution coefficient.

В настоящее время основными источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды являются предприятия ядерного топливного цикла, где особо важную роль играют заводы по переработке облученного топлива. Существующая система переработки основана на гидрометаллургических процессах, а это приводит к образованию больших объёмов радиоактивных сточных вод.

Для очистки вод от радионуклидов используются различные методы. Одним из перспективных методов извлечения радионуклидов из природных и сточных вод является сорбция на неорганических сорбентах. Для целей извлечения из радиоактивно-загрязнённых вод цезия-137-одного из основных дозообразующих радионуклидов, широко применяются ферроцианиды переходных металлов, гранулированные тем или иным способом. Среди них наиболее перспективными считаются тонкослойные ферроцианидные сорбенты, технология синтеза которых разработана на кафедре радиохимии УПИ им. С.М. Кирова [1]. Тонкослойные сорбенты представляют собой композиционные материалы, состоящие из инертных в



сорбционном отношении гранул определенного размера, на поверхность которых химическим способом нанесено в виде тонкого слоя малорастворимое соединение, являющееся селективным или коллективным коллектором ионов.

В данной работе исследованы условия синтеза и сорбционные свойства тонкослойного ферроцианида марганца, синтезированного по методике, разработанной на кафедре Химии и химических технологий ОТИ НИЯУ МИФИ и описанной в работе [2, с.111-112]. Методика синтеза включала несколько стадий:

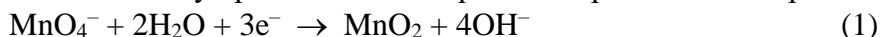
- подготовка носителя;
- осаждение на подготовленный носитель тонкого слоя диоксида марганца;
- обработка оксидно-марганцевого слоя раствором жёлтой кровяной соли с целью получения ферроцианида марганца-калия.

В качестве носителя были выбраны предварительно обработанные гранулы целлюлозы размером 0,4-1,0 мм. Обработку гранул целлюлозы проводили путем многократной последовательной их обработки растворами щелочи и соляной кислоты с промежуточной промывкой до нейтральной среды дистиллированной водой. После трех циклов обработки, гранулы промывали дистиллированной водой, отделяли фильтрованием и сушили на воздухе.

На обработанные таким образом гранулы целлюлозы осаждали

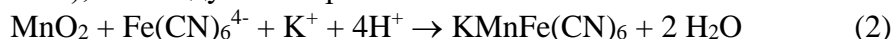
диоксид марганца. Осаждение диоксида марганца вели их растворов перманганата калия, проявляющего окислительные свойства практически во всём интервале pH. В роли восстановителя выступала целлюлоза.

Ранее было показано, что выход диоксида марганца в плёнку возрастает с увеличением pH среды, а прочность оксидно-марганцевого покрытия была наибольшей при обработке гранул целлюлозы перманганатом калия в нейтральной среде. Поэтому процесс осаждения диоксида марганца на целлюлозу проводили в нейтральной среде согласно реакции:

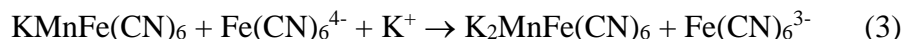


Полученный тонкослойный диоксид марганца использовали для получения ферроцианида марганца-калия.

Поскольку диоксид марганца является окислителем в кислой среде (стандартный потенциал системы  $\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$  в кислой среде равен +1.23 В), а ферроцианид-ион проявляет достаточно сильные восстановительные свойства (стандартный потенциал системы  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$  равен 0.36 В), то между ними протекает окислительно - восстановительная реакция:



Продуктом данного превращения является смешанный феррицианид марганца-калия. Далее из-за разности в произведениях растворимости ферро- и феррицианидов марганца последний переходит в ферроцианид (гексацианоферрат (II)):



Синтезированный таким образом сорбент сушили на воздухе, после чего исследовали сорбцию цезия-137 из растворов, содержащих посторонние электролиты в статических условиях.

Методика сорбционного эксперимента заключалась в следующем. Навеску сорбента массой 50 мг вносили в полиэтиленовый стакан и заливали раствором электролита, меченным Cs-137 с известной активностью. Объём раствора составлял 25 мл, концентрацию электролита варьировали в пределах  $10^{-3}$  – 3 моль/л. Раствор встряхивали в течение 1 часа. После этого сорбент отделяли от раствора декантированием.

Измерения проводили на бета-радиометре со сцинтиляционным детектором после получасовой выдержки раствора (десять периодов полураспада  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ). Объём пробы равнялся 0,1 см<sup>3</sup>.

По результатам измерений исходной и остаточной активностей растворов рассчитывали степень сорбции (S) и коэффициент распределения (Kd) по следующим формулам:

$$S = \frac{I_0 - I}{I_0} \cdot 100, \% \quad (4)$$

$$K_d = \frac{S}{1-S} \cdot \frac{V}{m}, \text{ г/мл} \quad (5)$$

где  $I_0$  – скорость счёта пробы из исходного раствора, имп./100 с,  
 $I$  – скорость счёта пробы из исследуемого раствора, имп./100 с,  
 $S$  – степень сорбции, %,   
 $V$  – объём раствора, мл,  
 $m$  – масса сорбента, г.

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты сорбции цезия-137 из растворов с разной концентрацией KCl.

Таблица 1 – Зависимость сорбции цезия-137 от концентрации KCl в исходном растворе.

№ п/п	Cn(KCl), моль\л	Исх., имп./100с	Ир., имп./100с	S, %	Kd, мл/г
1	0,001	148	22	85	2833
2	0,01	160	34	78	1772
3	0,1	141	107	24	157
4	1	142	117	18	109
5	3	111	85	23	149

Из таблицы видно, что высокая специфичность сорбента по отношению к цезию сохраняется и при наличии достаточного количества катионов-аналогов.

#### Библиографический список

1. Бетенеков Н.Д. и другие. Тонкослойные неорганические сорбенты и перспективы их применения в радиохимии. Радиохимия, 1976 т., №4.
2. Меркушкин А.О., Резчиков Д.Е. Синтез и сорбционные свойства тонкослойных неорганических сорбентов. Тезисы докладов научно-технической конференции «Дни науки-98». Озерск. ОТИ МИФИ, 1998, с.168.

## ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 617.741-004.1-053.9

### **РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ КАТАРАКТ В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК», ПОДВЕРГШИХСЯ ХРОНИЧЕСКОМУ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ**

Азизова Т. В., Брагин Е. В., Григорьева Е. С., Хамада Н.

*Южно-Уральский институт биофизики, г. Озёрск, Челябинская область*

*Radiation Safety Research Center, Nuclear Technology Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), 2-11-1 Iwado-kita, Komae, Tokyo 201-8511, Japan*

Результаты анализа зависимости доза-эффект в когорте работников ПО «Маяк», подвергшихся пролонгированному облучению, на основе линейной модели показали повышенный риск заболеваемости всеми типами катаракты: кортикальной, задней субкапсулярной и ядерной. Исключение поправки на дозу нейтронного облучения приводило к снижению ИОР/Зв внешнего гамма-облучения для всех типов катаракт.

*Ключевые слова:* ионизирующее излучение, хроническое облучение, задняя субкапсулярная катаракта, кортикальная катаракта, ядерная катаракта, риск заболеваемости катарактой.

### **CATARACT TYPE-SPECIFIC RISKS IN A COHORT OF MAYAK PA WORKERS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONIZING RADIATION OVER PROLONGED PERIODS**

Azizova T. V., Bragin E. V., Grigoryeva E. S., Hamada N.

*Southern Urals Biophysics Institute, Ozersk*

*Radiation Safety Research Center, Nuclear Technology Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), 2-11-1 Iwado-kita, Komae, Tokyo 201-8511, Japan*

Dose response analysis of data on Mayak PA workers exposed to ionizing radiation over prolonged periods based on linear model demonstrated increased risks of a cataract types: cortical, posterior subcapsular and nuclear. After exclusion of an adjustment for neutron doses, ERR/Sv of external gamma-rays decreased for all types of cataracts.

*Key words:* ionizing radiation, chronic exposure, posterior subcapsular cataract, cortical cataract, nuclear cataract, cataract incidence risk.

*Введение:* Известно, что ионизирующее излучение оказывает влияние на развитие помутнений в хрусталике глаза, постепенно приводя к развитию катаракты [1]. Результаты эпидемиологических и клинических исследований, проведенных в последние десятилетия, свидетельствуют о повышенном риске развития задней субкапсулярной катаракты (ЗСК) и, в меньшей степени, кортикальных катаракт в различных когортах лиц, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения [2, 3, 4]. В то же время, показано, что ионизирующее излучение не влияет на развитие ядерных катаракт, за исключением исследования, в результате которого показан повышенный риск ядерных катаракт у пилотов коммерческих авиалиний [5, 6]. Однако, до сих пор не совсем ясно, каков риск развития различных типов катаракты в когортах лиц, подвергшихся хроническому облучению с низкой мощностью дозы.

*Цель исследования:* Целью настоящего исследования являлась оценка риска развития различных типов катаракты в зависимости от дозы пролонгированного внешнего облучения с учетом нейтронного облучения и нерадиационных факторов.

*Материалы и методы:* Изучаемая когорта включала всех работников производственного объединения (ПО) «Маяк», впервые нанятых на один из основных заводов (реакторы, радиохимический, плутониевый) в период с 1 января 1948 г. по 31 декабря 1982 г., не зависимо от пола, возраста, национальной принадлежности, профессии, продолжительности работы и других характеристик, – 22377 человек (25,4% – женщины). Средний возраст работников на момент найма составил 24,9 лет (стандартное отклонение,  $CO = 7,5$ ). В период работы на предприятии работники изучаемой когорты подвергались внешнему гамма-облучению. Средняя суммарная доза внешнего гамма-облучения составила 0,54 Гр ( $CO = 0,76$ ) у мужчин и 0,44 Гр ( $CO = 0,65$ ) у женщин.

В настоящем анализе учитывались все впервые установленные типы катаракты за весь период наблюдения (т.е. на дату установления диагноза старческая катаракта, так и позднее), независимо от глаза. Каждый морфологический тип катаракты (ЗСК, кортикальная, ядерная) анализировался отдельно.

В исследовании использованы поглощенные дозы внешнего гамма-излучения и нейтронного излучения дозиметрической системы работников «Маяка» – 2008 («ДСРМ–2008»), разработанной в рамках программы российско-американского сотрудничества [7].

*Результаты:* Результаты анализа зависимости доза-эффект в когорте работников ПО «Маяк», подвергшихся пролонгированному облучению, на основе линейной модели показали повышенный риск заболеваемости всеми типами катаракты: кортикальной, задней субкапсулярной и ядерной. Избыточный относительный риск на единицу дозы внешнего облучения (ИОР/Зв) составил 0,63 (95% ДИ 0,49, 0,76) для кортикальной катаракты, 0,91 (95% ДИ 0,67, 1,20) для ЗСК и 0,47 (95% ДИ 0,35, 0,60) для ядерной катаракты. Исключение поправки на дозу нейтронного облучения приводило к снижению ИОР/Зв внешнего гамма-облучения для всех типов катаракт (кортикальная – 0,56 (95% ДИ 0,45, 0,70); ЗСК – 0,86 (95% ДИ 0,64, 1,13); ядерная – 0,47 (95% ДИ 0,35, 0,60)). Оценка риска заболеваемости всеми типами катаракт снижалась при включении дополнительных поправок на индекс массы тела и индекс курения, в то время как введение поправки на глаукому приводило к незначительному увеличению риска заболеваемости кортикальной и ядерной катарактами (но не ЗСК). Включение поправки на наличие сахарного диабета приводило к снижению ИОР/Зв внешнего облучения только для заболеваемости ЗСК.

Повышенный риск заболеваемости всеми типами катаракт был обнаружен как у мужчин, так и у женщин изучаемой когорты, но ИОР/Зв у женщин был существенно выше ( $p < 0,001$ ) при сравнении с мужчинами, особенно для ЗСК.

#### Библиографический список

1. Ainsbury EA, Barnard S, Bright S, Dalke C, Jarrin M, Kunze S, Tanner R, Dynlacht JR, Quinlan RA, Graw J, Kadhim M, Hamada N. Ionizing radiation induced cataracts: Recent biological and mechanistic developments and perspectives for future research. *Mutat Res.* 2016 Oct - Dec;770(Pt B):238-261. PMID: 27919334.
2. ICRP. ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. *Ann. ICRP* 41(1/2), 2012.
3. Hamada N, Fujimichi Y. Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects. *J Radiat Res.* 2014 Jul;55(4):629-40. PMID: 24794798.
4. Shore RE. Radiation and cataract risk: Impact of recent epidemiologic studies on ICRP judgments. *Mutat Res.* 2016 Oct - Dec;770(Pt B):231-237. PMID: 27919333.

5. Rafnsson, V., Olafsdottir, E., Hrafnkelsson, J., Sasaki, H., Amarsson, A. 3983 and JONASSON, F. (2005). "Cosmic radiation increases the risk of nuclear cataract in 3984 airline pilots: A population-based case-control study," Arch. Ophthalmol. 123(8), 1102-3985 1105.
6. Hamada N, Sato T. Cataractogenesis following high-LET radiation exposure. Mutat Res. 2016 Oct - Dec;770(Pt B):262-291. PMID: 27919335.
7. Khokhryakov VV, Khokhryakov VF, Suslova KG, Vostrotin VV, Vvedensky VE, Sokolova AB, et al (2013) Mayak Worker Dosimetry System 2008 (MWDS-2008): Assessment of internal alpha-dose from measurement results of plutonium activity in urine. Health Phys 104: 366–378.

УДК 504.064.36

**МОНИТОРИНГ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНЕ  
РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАКОНСЕРВИРОВАННОГО МОГИЛЬНИКА ТВЕРДЫХ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ ОПЫТНОЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СТАНЦИИ**

Булаев Н. А., Булаева Е. О.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ  
г. Озёрск, Челябинская область*

gloin2@mail.ru

В данной работе был проведен анализ данных по мониторингу радиоэкологической обстановки в районе расположения законсервированного могильника твердых радиоактивных отходов на территории Опытной научно-исследовательской станции. Анализ показал, что на территории могильника нет превышения контрольных уровней для контролируемых объектов.

*Ключевые слова:* могильник, мониторинг, радионуклид, радиоэкологическая обстановка, радиоактивные отходы.

**MONITORING OF THE RADIOECOLOGICAL SITUATION IN THE AREA OF THE  
PRESERVED BURIAL GROUND OF SOLID RADIOACTIVE WASTE IN THE  
TERRITORY OF THE EXPERIMENTAL RESEARCH STATION**

Bulaev N. A., Bulayeva E. O.

*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

In this work the analysis of data on monitoring of radioecological situation in the area of location of the preserved burial ground of solid radioactive waste in the territory of Experimental research station was carried out. The analysis showed that in the territory of the burial ground there is no exceeding of control levels for the controlled objects.

*Keywords:* burial ground, monitoring, radionuclide, radioecological situation, radioactive waste.

Капитальный могильник твердых радиоактивных отходов (ТРО) на территории Опытной научно-исследовательской станции (ОНИС) - это комплекс сооружений, предназначенный для размещения твердых радиоактивных отходов, которые образовались в результате деятельности ОНИС. Могильник эксплуатировался ОНИС в течение 60-80 гг. Он представляет собой бетонированную траншею, состоящую из изолированных секций,



закрытую железобетонными плитами. Могильник состоит из навозохранилища, скотомогильника, хранилища ТРО. В декабре 2002 данный могильник был законсервирован.

Отходы, размещенные в могильнике, исходно содержали следующие радионуклиды:  $^{32}\text{P}$ ;  $^{65}\text{Zn}$ ;  $^{54}\text{Mn}$ ;  $^{89}\text{Sr}$ ;  $^{56}\text{Fe}$ ;  $^{60}\text{Co}$ ;  $^{125}\text{Sb}$ ;  $^{95}\text{Zr}$ ;  $^{144}\text{Ce}$ ;  $^{106}\text{Ru}$ ;  $^{22}\text{Na}$ ;  $^{131}\text{I}$ ;  $^{147}\text{Pm}$ ;  $^3\text{H}$ ;  $^{90}\text{Sr}$ ;  $^{137}\text{Cs}$ ;  $^{238}\text{U}$ .

На 2011 в хранилище ТРО размещено 180 м<sup>3</sup>, что составляет 320 т  $\alpha$ -активностью  $3,7 \cdot 10^4$  Бк;  $\beta$ -активностью  $3,6 \cdot 10^{12}$  Бк, содержащих следующие основные радионуклиды  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ . Основная номенклатура твердых радиоактивных отходов: пробы, посуда, оборудование, приборы, перчатки, канистры, шприцы, доильная аппаратура, ветошь, остатки ампул, бумага, упаковки из-под закрытых и открытых радионуклиды источников.

На 2011 суммарная активность твердых радиоактивных отходов, с учетом распада радионуклидов составляла  $9,3 \cdot 10^{12}$  Бк, объем – 3260 м<sup>3</sup>, масса – 6130 т.

Удельная активность твердых радиоактивных отходов, размещённых в могильнике, составляет  $1,5 \cdot 10^3$  кБк/кг, что позволяет, в соответствии со СПОРО-2002 отнести эти радиоактивные отходы к категории «Низкоактивные» [6].

В период разработки технического задания на консервацию могильника было проведено радиационное обследование территории пункта хранения. Проведенные измерения показали, что значение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территории могильника не превышала фоновых значений для Южного Урала и составляла 0,09–0,15 мкЗв/ч, в скотомогильнике – не более 0,15–0,17 мкЗв/ч, в хранилище ТРО измеренные значения составили над первой емкостью – 2,25 мкЗв/ч, над второй – 0,16 мкЗв/ч, над третьей – 0,15 мкЗв/ч и над четвертой – 0,14 мкЗв/ч, то есть превышение над уровнем фона наблюдалось только над одной емкостью [5].

Плотность потока бета-частиц на территории могильника находится на уровне естественного фона.

После окончания работ по консервации могильника была разработана «Инструкция по обращению с законсервированным могильником твердых радиоактивных отходов ОНИС на территории п. Метлино» [2].

В соответствии с инструкцией на территории спецмогильника и в санитарно-защитной зоне вокруг него был организован радиационный и радиоэкологический мониторинг, осуществляемый силами технических служб и лабораторий ЦЗЛ [4]. Работы проводятся специалистами лаборатории экологической безопасности и охраны окружающей среды.

На территории могильника контролируются следующие объекты окружающей среды: подземные воды, воздух, почва, растительность и снег. Контроль подземных вод осуществляется из скважин, расположенных на территории могильника.

Радиационный мониторинг включает:

- 1) измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на местности;
- 2) определение объемной активности радионуклидов в почве, в воде, воздухе, снеге и растительности в соответствии с методическими рекомендациями по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды;
- 3) определение интенсивности радиоактивных выпадений из атмосферы.

Контролируются следующие дозообразующие радионуклиды:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , суммы альфа- и бета-излучающих радионуклидов (в воде).

В данной работе был проведен анализ данных мониторинга могильника за три года (2014–2016).

Значения мощности эквивалента дозы на территории могильника не превышали фоновых значений для Южного Урала и составляли 0,09–0,15 мкЗв/ч. Значения плотности потока бета-частиц находились в пределах от 2 до 8 част/мин\*см<sup>2</sup>, что не превышает значений контрольных уровней ( $\beta = 16$  част/мин\*см<sup>2</sup>) [3].

Определение радионуклидов в пробах объектов окружающей среды проводили в аккредитованной лаборатории радиационного контроля [6].

Все полученные данные по объемной активности радионуклидов в приземном слое атмосферы на территории могильника и в его санитарно - защитной зоне были проанализированы по суммарной удельной активности альфа-излучающих радионуклидов ( $\Sigma\alpha$ ), по суммарной удельной активности бета-излучающих радионуклидов ( $\Sigma\beta$ ) и по удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и были вычислены их среднемесячные значения, которые изменялись в следующих пределах:

- по  $\Sigma\alpha$ : 0,01-0,31 мБк/м<sup>3</sup>.
- по  $\Sigma\beta$ : 0,06-4,32 мБк/м<sup>3</sup>.
- по  $^{137}\text{Cs}$ : 0,06-1,33 мБк/м<sup>3</sup>.

По полученным данным видим, что значения среднегодовых объемных активностей радионуклидов не превышали установленных контрольных уровней для поселка Метлино:  $\Sigma\alpha$ : 16 мБк/м<sup>3</sup>;  $\Sigma\beta$ : 1,1 мБк/м<sup>3</sup>;  $^{137}\text{Cs}$ : 4 мБк/м<sup>3</sup>[3].

В табл. 1 приведены значения интенсивности радиоактивных выпадений на территории могильника за 2014-2016 гг. и значение суммарной интенсивности радиоактивных выпадений.

Таблица 1 – Интенсивность радиоактивных выпадений, Бк/м<sup>2</sup>·мес

Измерение	2014		2015		2016	
	$\Sigma\beta$	$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$	$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$	$\Sigma\alpha$
1	8,0	0,96	22,6	13,68	18,2	5,12
2	14,4	2,98	17,6	0,96	27,2	7,20
3	46,4	2,03	6,4	0,96	11,2	5,20
4	11,2	4,54	12,8	1,28	9,6	2,56
5	6,4	0,96	6,4	1,12	9,6	2,72
6	6,4	2,38	9,6	0,96	11,2	17,92
7	17,6	1,28	9,6	6,10	8,0	0,96
8	7,0	0,96	11,2	0,96	70,4	0,96
9	6,4	1,44	8,0	0,96	116,8	4,00
10	9,6	9,52	11,2	0,96	12,8	7,20
11	17,6	3,60	25,6	1,90	11,2	29,28
12	17,6	1,60	9,6	0,96	48,0	46,40
Сумма	168,6	32,26	150,6	30,80	354,2	129,52
Контрольные уровни	580	20*				
*Нормируется по Pu-239						

Значения интенсивности радиоактивных выпадений не превышали установленных контрольных уровней для п. Метлино и составляли [3]:  $\Sigma\alpha$ : 0,96-46,4 Бк/м<sup>2</sup>·мес;  $\Sigma\beta$ : 6,4-116,8 Бк/м<sup>2</sup>·мес.

В целях мониторинга могильника проводился отбор проб почвы и растительности, произрастающей на территории могильника.

В табл. 2 приведены значения плотности загрязнения почвы на территории могильника.

Таблица 2 – Плотность загрязнения почвы

Год	Cs-137	Sr-90	Pu
	кБк/м <sup>2</sup>	кБк/м <sup>2</sup>	кБк/м <sup>2</sup>
2014	2,82	2,64	0,48
2015	2,88	3,86	1,46
2016	27,55	8,75	1,00
Контрольные уровни	85	60	2,4

Из табл. 2 видим, что значения плотности загрязнения почвы не превышали установленных контрольных уровней [3].

Удельная активность радионуклидов в пробах растительности с территории могильника приведена в табл. 3.

Анализ содержания  $^{90}\text{Sr}$  в растительности определяли двумя способами: радиометрическим и радиохимическим.

Таблица 3 – Удельная активность в пробах растительности

Год	Cs-137, Бк/кг	Sr-90	
		Радиометрический способ, Бк/кг	Радиохимический способ, Бк/кг
2014	87	$\leq 250$	100
2015	121,0	$\leq 250$	74
2016	56,6	$\leq 250$	51
Контрольные уровни	660	370	

Удельная активность в пробах растительности с территории могильника значительно ниже значения контрольных уровней для продуктов питания и природных средах для зоны наблюдения ФГУП «ПО «Маяк» (объект контроля–сено, фураж) [3].

Для контроля выпадений в зимний период проводится отбор проб снега, обычно проводят отбор в конце зимы. В табл. 4 приведены данные анализа проб снега за три года.

Таблица 4 – Удельная активность в пробах снега

Год	$\Sigma\beta$	$\Sigma\alpha$	137Cs	Sr-90
	Бк/дм <sup>3</sup>	Бк/дм <sup>3</sup>	Бк/дм <sup>3</sup>	Бк/дм <sup>3</sup>
2014	0,4	0,079	0,3	0,32
2015	0,187	0,112	0,149	0,401
2016	0,233	0,031	0,313	1,884
Удельная активность радионуклидов по зоне наблюдения предприятия	0,06-6	0,02- 2,87	0,1- 1,8	0,07-4,09

Для сравнения были взяты значения удельной активности радионуклидов в снеге по зоне наблюдения предприятия [3].

Таким образом, удельная активность в пробах снега с территории могильника находилась в пределах значений удельной активности по зоне наблюдения предприятия.

Данные об объемной активности радионуклидов в пробах подземных вод из наблюдательных скважин № 1 и № 2, расположенных на территории могильника приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Удельная активность подземных вод

Год контроля	Объект контроля (скважина)	Объемная активность радионуклидов, Бк/дм <sup>3</sup>	
		$\Sigma\beta$	$\Sigma\alpha$
2014	1	<0,08	0,64±0,28
	2	<0,08	0,8±0,3
2015	1	<0,08	0,72±0,35
	2	<0,08	0,56±0,24
2016	1	<0,08	0,68±0,29
	2	<0,08	4,12±0,95

Удельная активность подземных вод не превышала контрольных уровней для воды близлежащего оз. Кожаккуль [3].

В результате проведенного анализа данных по радиационной обстановке на территории законсервированного могильника твердых радиоактивных отходов ОНИС можно сделать вывод, что существенных изменений в содержании радионуклидов не обнаружено, т.е. радиозэкологическая обстановка на территории могильника и в его санитарно защитной зоне стабильная и сохраняется на уровне регионального радиационного фона. Превышений измеряемых параметров над установленными контрольными уровнями не установлено.

Результаты трехлетних наблюдений на территории могильника и в его санитарно защитной зоне показали, что законсервированный могильник соответствует всем нормам радиационной безопасности, устойчив к погодным и климатическим условиям, недоступен для несанкционированного проникновения населения, и не оказывает отрицательного радиационного воздействия на окружающую среду.

#### Библиографический список

1. Аттестат аккредитации Службы радиационного контроля ФГУП «ПО «МАЯК», № RA.RU.21MK10 выдан 24 февраля 2016 года.
2. Инструкция по обращению с законсервированным могильником твердых радиоактивных отходов ОНИС/ ЦЗЛ ПО «МАЯК». — Озерск, 2001. ЦЛ/3628 от 26.09.2001.
3. Контрольные уровни радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды зоны наблюдения за счет деятельности ФГУП «ПО «Маяк»./ ЦЗЛ ФГУП «ПО «МАЯК». — Озерск, 2015. № 2.3.1/5907 от 27.11.2015.
4. Мартюшов В.З. О результатах консервации спецмогильника ТРО ЦЗЛ (ОНИС) в п. Метлино Челябинской области. [Сообщение]/ ЦЗЛ ФГУП «ПО «МАЯК». — Озерск, 2010. ЦЛ/226 от 18.01.2010.
5. Мартюшов В.З. Опыт консервации спецмогильника твердых радиоактивных отходов на ФГУП «ПО «МАЯК» [Текст] /В.З. Мартюшов, Е.М. Журавлев. ЦЗЛ ФГУП «ПО «МАЯК». — Озерск: Вопросы радиационной безопасности. - № 1. - 2004. — С. 83 – 87.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) СП 2.6.1.2612-10 – М: Центр санитарно-эпидемиологической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2010.

УДК 614.878:616.33

### СПЕКТР ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА РАБОТНИКОВ ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО «МАЯК»

Васина М. А., Рабинович Е. И.

*Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России  
г. Озёрск, Челябинская область*

lab8@subi.su

Проведен анализ спектра профессиональных химических соединений, с которыми имеют контакт работники отдельных производств ПО «Маяк». Детальное изучение воздействующих профессиональных химических экотоксикантов показало, что 78% работников среди группы работников химико-металлургического производства ПО «Маяк» подвергались сочетанному воздействию органических и неорганических соединений. Полученные сведения о наличии производственного контакта с вредными химическими соединениями позволят предпринять изучение их роли в развитии атрофического гастрита как предракового заболевания.

*Ключевые слова:* химические вредности, атрофический гастрит, рак желудка, ПО «Маяк»

## **SPECTRUM OF HARMFUL CHEMICAL COMPOUNDS AFFECTING WORKERS OF MAYAK PA CHEMICAL-METALLURGICAL FACILITY**

Vasina M. A., Rabinovich E. I.

*Southern Urals Biophysics Institute, Ozersk*

Analysis of the spectrum of occupation chemical compounds that the workers of certain Mayak PA facilities are contacting was performed. Detailed study of occupational chemical ecotoxicants that have the influence on workers showed that 78% of the chemical-metallurgical production workers were impact to combined exposure to organic and inorganic compounds. Obtained data on the presence of production contact with harmful chemical compounds allow to study their role in development of atrophic gastritis as a precancerous disease.

*Keywords:* chemical harmful compounds, atrophic gastritis, gastric cancer, Mayak PA

Технология проведения некоторых работ на ПО «Маяк» предполагает выполнение операций, связанных с непосредственным контактом работников с радиоактивным материалом и вредными химическими веществами техногенного происхождения, используемых или образующихся при химической переработке материалов (получение очищенного плутония и урана, переработка отходов) [1].

Особое внимание привлекает влияние радиации и химических ксенобиотиков на возникновение опухолей с изначально высокой спонтанной популяционной частотой, к которым относится рак желудка. Россия входит в число стран с высокой распространенностью и показателями смертности от рака желудка (в 2011г. заболеваемость составила 26,8 на 100000 населения, а показатель смертности 23,2 на 100 000 населения) [2]. Связь между радиационным воздействием и развитием рака желудка была показана экспериментальными и эпидемиологическими исследованиями [3,4]. В структуре причин онкологической смертности у работников ПО «Маяк», работавших с 1948 по 1972гг. рак желудка занял второе место среди мужчин и третье среди женщин. Увеличение частоты рака желудка отмечалось у работников предприятия, подвергавшегося радиационному воздействию в высоких дозах [5]. Ведущим предраковым состоянием желудка считается хронический атрофический гастрит, наличие которого многократно увеличивает риск неопластической трансформации [6]. При исследовании не онкологической желудочной патологии у персонала ПО «Маяк» показано 2-кратное увеличение частоты хронического гастрита у лиц, подвергшихся сверхнормативному радиационному воздействию, с существенным вкладом (до 70%) диффузного атрофического гастрита [7]. Известна многофакторная природа атрофического гастрита и рака желудка, химические вредности считаются значимым патогенетическим фактором. Однако, практически отсутствуют сведения о вкладе техногенных химических вредностей, образующихся в условиях производственной деятельности ПО «Маяк», на развитие желудочной патологии. В предварительных исследованиях на представительной группе работников ПО «Маяк» разных производств (440 человек) был проведен статистический анализ связи заболевания атрофическим гастритом воздействием вредных химических ксенобиотиков, разделенных на две большие группы: органические и неорганические соединения. Как оказалось, статистически значимым было воздействие неорганических соединений (таблица 1).



Таблица 1 – Оценка влияния факторов производственных химических вредностей на распространенность атрофического гастрита (АГ) в группе работников ПО «Маяк» (440 чел.)

Химические вредности	Наличие фактора				ОР (90% ДИ)
	есть		нет		
	n	АГ	n	АГ	
Неорганические вещества	86	18	352	47	1,58 (1,04–2,33)
Органические вещества	40	8	398	57	1,45 (0,8–2,36)

В настоящей работе мы сосредоточили свое внимание на более детальном изучении спектра профессиональных химических вредностей среди выборки работников одного из основных производств ПО «Маяк», контактировавших в процессе своей профессиональной деятельности с химическими факторами. К обследованию была привлечена группа работников химико-металлургического производства ПО «Маяк», отобранных рандомизированным способом, без ограничений по полу, этнической принадлежности, анамнестическим сведениям. Критериями включения были возраст 40 лет и старше, работа в наиболее опасных цехах предприятия. Права пациента соблюдались путем подписания «Информированного согласия» на участие в обследовании и «Согласия на обработку персональных данных». Сведения о наличии контакта с химическими соединениями получали из медицинской документации. Оценивали вид химического соединения, его принадлежность к специфическим классам согласно «Перечню вредных и (или) опасных производственных факторов, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования)» [8], а также длительность контакта. В данной работе не рассматривалась количественная оценка химического воздействия.

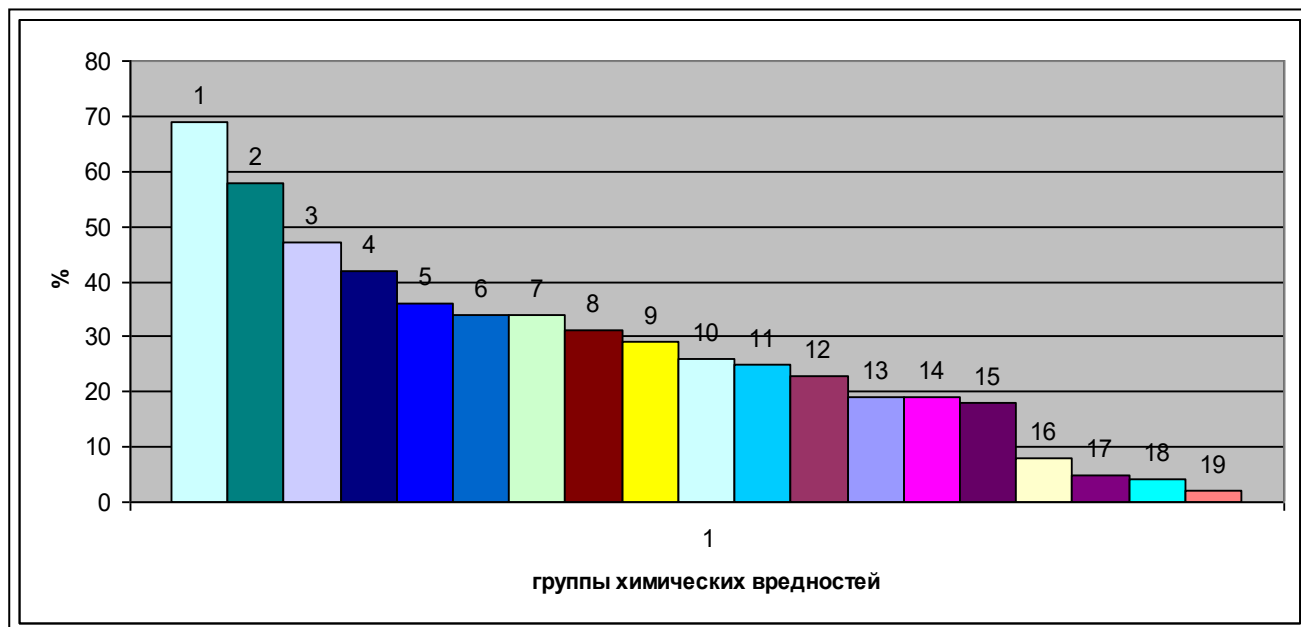


Рисунок 1 – Спектр химических вредностей, с которыми контактировали обследованные работники химико-металлургического производства, и их ранговое распределение  
 1-металлы, 2-азот и его соединения (Ж), 3-спирты, 4- углеводороды, 5-галогены, 6-кислоты и эфиры, 7-неметаллы, 8- аэрозоли, 9- аэрозоли (К,Ж), 10-гептил (К), 11- фосген, 12-смесь углеводородов (К), 13- углеводороды (К), 14-пестициды (Ж) и синтетические полимерные материалы, 15- красители и пигменты органические (К), 16-кетоны, 17- металлы (К), 18-хром (VI) -триоксид (К), 19-кремния органические соединения . (К) - соединения, имеющие канцерогенный эффект, (Ж)- вещества, обладающие тропностью к желудку.

Изученная группа состояла из 184 работников химико-металлургического производства. Контакт с химическими вредностями имели все обследованные, 78% из них подвергались сочетанному воздействию органических, так и неорганических контаминант. Согласно ранжированию частоты контакта с химическими соединениями, 1-е и 2-е ранговые места занимали металлы (69%) и азотистые соединения (58%) (рисунок 1). Показано, что длительный производственный контакт с азотистыми соединениями приводит к нарушению процессов регуляции продукции соляной кислоты эпителиоцитами слизистой оболочки желудка в сторону понижения с возможным развитием атрофических процессов [9]. Некоторые другие химические ксенобиотики также вызывают нежелательные эффекты со стороны желудка. К ним относятся неметаллы (сера, бор, фосфор); абразивные аэрозоли; бензол-содержащие углеводороды; хлорорганические пестициды; ангидриды и соли органических кислот (изофталевой, терефталевой); некоторые металлы (цинк, вольфрам, молибден, олово, свинец) [10,11]. В обследованной нами группе 78% работников имели контакт с указанными выше органическими и неорганическими соединениями, в 1/3 случаев контакт длился более 10 лет. Канцерогенные химические соединения на рабочем месте присутствовали у 74% работников, стажевая экспозиция в 60% случаев составила от 4 до 10 лет и более. Контаминантная нагрузка этими соединениями может вызвать расстройство процессов энергетического обеспечения клеток, оказать ферментотоксическое и мембранотоксическое воздействие. Предполагается, что одним из эффектов воздействия химическими агентами может быть дискоординация иммунного ответа, что является триггером аутоиммунного механизма, приводящего к атрофии слизистой оболочки желудка [11].

Полученные сведения представляют собой основу для изучения связи между наличием производственного контакта с вредными химическими соединениями и развитием атрофического гастрита как предракового заболевания. Это является одним из важных звеньев профилактических мероприятий, направленных на снижение заболеваемости раком желудка среди профессиональных работников ядерно-промышленного комплекса.

#### Библиографический список

1. Плутоний. Радиационная безопасность. Под ред Л.А. Ильина. – М: ИздАТ, 2005, 416с.
2. Злокачественные новообразования в России в 2010г. / Под ред. Чиссова В.И., Старинского В.В., Петровой Г.В. – М.: ФГБУ «МПИОИ им. П.А. Герцена», 2012. – 260с.
3. Preston D.L., Ron E., Tokuoka S. et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-2998 // Rad. Res. – 2007. – V.168. – P.1-64.
4. Watanabe H., Ogundigie P.O., Takahashi T. et al. Induction of signet ring cell carcinomas in X-irradiated hypocatalasemic mice (C3H/Cbs. // Jpn. J. Cancer Res. – 1991. – V. 82. – P. 1175-1177.
5. Жунтова Г.В., Токарская З.Б., Беляева З.Д. Влияние радиационных и нерадиационных факторов риска на заболеваемость раком желудка у работников ПО «Маяк». // Мед. радиол. и радиац. безо. – 2009. – №2. – С. 38-46.
6. Sipponen P., Kekki M., Haapakoski J. et al. Gastric cancer risk in chronic atrophic gastritis: statistical calculations of cross-sectional data // Int. J. Cancer. – 1985. – V. 35. - P. 173–177.
7. Кабашева Н.Я. Клинико-морфологическая характеристика заболеваний желудка у больных хронической лучевой болезнью в отдаленном периоде и у работников радиохимического производства. – М.: Дисс. канд. мед. наук, 1984г.
8. Перечень вредных и (или) опасных производственных факторов, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования). Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 16 августа 2004 г. N 83
9. Помыткина Т.Е., Першин А.Н. Заболеваемость болезнями желудочно-кишечного тракта у работников производств азотистых соединений // Медицина труда и промышленная экология. 2008. № 7. С. 36–40

10. Профессиональный риск и оценка ущерба здоровью у рабочих хлорорганического производства/ Г.Р. Башарова, Э.И. Денисов, Г.К. Радионова, Л.М. Карамова//Медицина труда и промышленная экология. – 2003. – № 9. – С.13-18.
11. Яковлева А.С., Устинова О.Ю., Аминова А.А. Оценка влияния химической контаминации биосред на патофизиологические стадии формирования атрофических гастритов у детей// Здоровье семьи-21 век. – 2010. – № 1. – С. 50-55

**УДК 94(519):001.83 + 504.65 + 351.8:614.8**

# **ДЕНУКЛЕАРИЗАЦИЯ КОРЕЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА – ОСНОВА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Другова К. В., Тананаев И. Г.

*Дальневосточный федеральный университет  
г. Владивосток*

geokhi@mail.ru

Обсуждены основные риски радиационной опасности Дальнего Востока РФ, включающие в себя ядерные испытания КНДР. Приведена хронология ядерных испытаний КНДР, методы реагирования и обеспечения радиационной безопасности территории Дальнего Востока в случае атмосферных испытаний. Сделаны предложения по денуклеаризации Корейского полуострова.

*Ключевые слова:* радиационная безопасность, ядерные испытания, КНДР

# **DENUCLEARIZATION OF THE KOREAN PENINSULA - GUARANTOR OF RADIATION SAFETY IN THE FAR EAST OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Drugova K. A., Tananaev I. G.

*Far East Federal University, Vladivostok*

The main sources of radiation hazards in the Far East of the Russian Federation, including local areas of the Primorsky Territory after the nuclear submarine accident in the b. Chazhma (1985) and the coast of the hall. Peter the Great, an accident at the Fukushima-1 nuclear power plant and nuclear tests of the DPRK are discussed. Their chronology and methods for ensuring radiation safety in the territory of the Far East and proposals for denuclearization of the Korean Peninsula are given.

*Keywords:* radiation safety, nuclear tests, North Korea

Дальневосточный федеральный округ - географически самая восточная часть страны, включающая Приморский, Хабаровский и Камчатский Края, Амурская, Магаданская и Сахалинская области, Чукотский автономный округ, Еврейская автономная область и Республику Саха (Якутия) – до 40 % территории РФ. Правительство РФ еще в XX в. приняло решение об ускоренном развитии атомного энергопромышленного комплекса для обеспечения геополитических интересов и энергетической безопасности Дальнего Востока. В развитии ядерных технологий возникали ситуации, приводящие к серьезным радиоэкологическим последствиям.

В предыдущие годы на радиационную обстановку территории Приморского Края оказывало влияние наличие загрязненных зон, появившихся вследствие аварии АПЛ в бух. Чажма (1985 г.); мест базирования атомных судов на побережье зал. Петра Великого; авария на АЭС «Фукусима-1» (2011 г.). Наконец, с 2006 г. появился еще один важный источник потенциальной радиационной опасности - ядерные испытания, осуществляемые КНДР. В 2005 г. КНДР объявила о создании в стране ядерного оружия [1], и вслед за этим в 09.10.2006 г. состоялось *первое ядерное испытание* на ядерном полигоне Пунгери близ г. Кильджу (северо-восточная провинция Хамгён-Пукто) на расстоянии 170-180 км от границы с Россией. Был зарегистрирован подземный толчок с магнитудой 4,2, который был зафиксировано в Южной Корее, Японии, США, Австралии и России. КНР, которую Пхеньян предупредил об испытании лишь за 20 мин. до взрыва, практически сразу поставила об этом в известность партнёров по шестисторонним переговорам - США, Японию и Южную Корею. Согласно заявлению властей КНДР и мониторингу соответствующих служб окружающих стран, утечки радиации не зафиксировано.

Все ведущие мировые державы, включая Россию и (впервые) Китай, а также руководство НАТО и Евросоюза осудили проведение ядерного испытания в КНДР. Президент РФ В.В. Путин на совещании с членами правительства заявил: «Россия, безусловно, осуждает испытания, проведённые КНДР, и дело не только в самой Корее - дело в огромном ущербе, который нанесён процессу нераспространения оружия массового уничтожения в мире» [2]. *Второе испытание* состоялось 25.05.2009 г. (мощность подземного ядерного взрыва от 10 до 20 кт.) [3], а *третье испытание* - в 2013 г. [4]. Тогда геологическая служба США зафиксировала подземные толчки с магнитудой 4,9, эпицентр которых находился в районе северокорейского ядерного полигона. В тот же день Центральное телеграфное агентство Кореи (ЦТАК) официально объявило об успешном ядерном испытании. Вслед за этим состоялись в КНДР и *четвёртые испытания* [5], когда было зарегистрировано землетрясение магнитудой в 5,1 балла (06.01.2016 г.).

Руководство КНДР объявило о проведении первого в своей истории успешного испытания водородной бомбы. Китайский новостной портал "Сина" сообщил, что опрошенные изданием эксперты полагают, что мощность осуществленного взрыва эквивалентна примерно 22 кт тротила, что существенно ниже аналогичного показателя для водородной бомбы. Разведка Южной Кореи также поставила под сомнение водородный взрыв в КНДР.

*Пятое испытание* состоялось 09.09.2016 г. в 09:30 утра по местному времени. На территории КНДР было зафиксировано сейсмическое событие с магнитудой 5,3. Эпицентр землетрясения находился рядом с населённым пунктом, расположенным в 20 км от ядерного полигона Пангири. Позже КНДР официально объявила о пятом ядерном испытании с оценкой мощности взрыва от 10 до 30 кт. Вслед за этим 14.10.2016 г. около города Кусон на северо-западе КНДР провела испытание баллистической ракеты средней дальности [6]. *Шестое термоядерное испытание* состоялось 03.09.2017 г. Национальное метеорологическое управление Японии подчеркнуло, что магнитуда землетрясения составила 6,1, а его очаг залегал на глубине меньше 1 км [7].

По оценке, из облученных материалов, извлеченных в разные годы из вышеуказанного северокорейского газографитного реактора, в КНДР было выделено в общей сложности 40-42 килограмма оружейного плутония, от 10 до 12 кг которого, по нашей оценке, пошло на испытания 2006, 2009 и 2013 гг. на полигоне Кильчу (провинция Северная Хамген). С учетом этого на начало 2015 г. накопленные запасы оружейного плутония у КНДР составляли не менее 30 кг [8]. В отношении северокорейских запасов высокообогащенного урана (ВОУ)

надежных экспертных оценок не имеется, поскольку нет ясности в том, когда и в каких объемах вводились в эксплуатацию в КНДР соответствующие мощности. Есть весомое предположение, что к началу 2015 г. в этой стране могло быть наработано до 200 кг ВОУ оружейного качества. Следует принять во внимание, что в 2013–2014 гг. на заводе по изотопному обогащению урана в Йонбенском ядерном центре была в два раза увеличена производственная площадь и осуществлен монтаж дополнительного количества центрифуг [9]. С вводом в эксплуатацию этих установок производственные мощности вышеуказанного завода по наработке ВОУ оружейного качества могут возрасти до 60 кг в год. Имевшихся у КНДР на январь 2017-го запасов оружейных ядерных материалов, как считается, достаточно для изготовления 10-16 ядерных боезарядов имплозивного типа упрощенной конструкции (6-8 плутониевых и 4-8 из оружейного урана).

Появляющиеся же в последнее время в зарубежных СМИ публикации о том, что северокорейские специалисты якобы овладели секретами ядерного синтеза и вот-вот создадут термоядерное оружие, видимо, не соответствуют действительности, поскольку у КНДР для этого нет ни научной, ни конструкторской, ни производственной, ни испытательной базы. Как нет и базы для создания ядерных боеприпасов малого энерговыделения, так называемого суперЭМИ-оружия, об угрозе появления которого у КНДР летом 2014 г. заявил бывший директор ЦРУ США Дж. Вулси [10]. Напротив, мнение авторов состоит в том, что КНДР располагает упомянутыми зарядами. Исходя из реалистичной оценки возможностей ядерного оружейного комплекса КНДР, следует ожидать, что на обозримую перспективу усилия северокорейских специалистов будут направлены главным образом на увеличение производства ядерных боеприпасов существующего типа с одновременной их миниатюризацией. Уменьшение массы ядерного боеприпаса до 1000 кг позволит разместить его в головных частях имеющихся у КНДР баллистических ракет типа «Нодон». Для этого было необходимо провести натурное испытание такого боеприпаса, что, видимо, и происходило в 2013-2017 гг.

Заметная активизация ракетно-ядерной программы КНДР была отмечена в 2012 г., когда в Конституцию КНДР были внесены поправки о ядерном статусе страны. Вложение в ядерную отрасль рассматривается северокорейским руководством как более эффективное средство поддержания обороноспособности страны в сравнении с перевооружением армии конвенциональным оружием [11,12]. Этот процесс связан с именем нового лидера КНДР - Ким Чен Ына, создателя нововведения в политическом лексиконе страны - «Пёнджин» («параллельное развитие») как политика параллельного экономического роста и наращивания ядерных arsenалов. В 2016 г. в КНДР уже открыто было заявлено о пересмотре военной доктрины и возможности превентивных ударов. До недавнего времени Пхеньян позиционировал свою ракетно-ядерную программу исключительно как средство сдерживания, и угроза нанесения превентивного удара озвучивалась только в ответ на серьезные провокации. Более того, весной прошлого года ЦТАК сообщило о приведении ядерного оружия в полную готовность. Подобное заявление может означать, что часть ядерных зарядов КНДР теперь постоянно хранится на носителях, тогда как ранее отдельно от них. В таком случае подготовка к ядерному удару может быть осуществлена за 1-30 мин. Ядерная стратегия КНДР предусматривает диверсификацию средств доставки. В прошлом году Ким Чен Ын заявил о необходимости разработки новых средств доставки ядерного заряда. «[КНДР] должна быть готова атаковать противника ядерным оружием на земле, в воздухе на море и под водой» [13]. Судя по всему, Пхеньян взял курс на создание ядерной диады, в которой баллистические ракеты наземного базирования будут дополняться ядерными носителями на подводных лодках. Ким Чен Ын в новогоднем обращении 01.01.2017 г. назвал КНДР «ядерной державой Востока» [14]. Так как ядерный статус страны закреплён в Конституции, ядерное оружие стало неотъемлемой частью государственной идеологии. Ядерный потенциал является не только



средством сдерживания, но и предметом гордости руководства и народа КНДР, одним из величайших достижений нации, результатом многолетнего упорного труда.

Несмотря на по-прежнему жесткий и эффективный контроль внутри страны, в обществе КНДР происходят изменения, обусловленные как *де-факто* идущей либерализацией экономики, так и проникновением информации извне. Невзирая на это ядерные и ракетные испытания вызывают новый виток напряженности в регионе, осуждения и угрозы со стороны международного сообщества, а наличие внешних врагов всегда сплачивало северокорейское общество. Исходя из вышеуказанного, можно сделать вывод о том, что КНДР, так же, как Индия, Пакистан и Израиль, никогда не откажется от созданного ядерного и ракетного потенциала. Это говорит о том, что эскалация конфликта на Корейском полуострове может потенциально привести к ядерным конфликтам с загрязнением окружающей среды обитания. В результате, ядерная проблема Корейского полуострова превратилась в один из главных рисков для региональной и глобальной безопасности. При этом реальных перспектив ее решения пока не просматривается, ситуация вокруг Северной Кореи продолжает обостряться и становится все более взрывоопасной.

Упомянутые выше ядерные испытания КНДР на её территории близ границ Российской Федерации вызывает большую озабоченность и требует нашего особого внимания. Проводится радиационный мониторинг на территории Приморского края силами 66 стационарных постов: от Примгидромета – 33 поста; от ГК «Росатом» – 3 поста; от МЧС РФ – 30 постов АСКРО (отображаются на аппаратном комплексе) с использованием 2 передвижных радиологических лабораторий Примгидромета и МЧС РФ. Результаты радиационной обстановки Приморья, полученных в момент испытаний от постов автоматизированной системы радиационного мониторинга «АСКРО», говорят о том, что уровень радиационного фона на территории Приморского края составляет от 0,03 до 0,13 мкЗв/ч и находятся в норме, не превышая естественный фон. Однако необходимо, на наш взгляд, сосредоточиться на создании в Приморском Крае системы определения аэрозольных частиц.

Что касается вопроса денуклеации Корейского полуострова, необходимо отметить, что началом Ядерной программы КНДР можно считать решение о создании Исследовательского института атомной энергии (1952 г.), подписание договор с СССР о подготовке специалистов-ядерщиков и о сотрудничестве в области мирного использования ядерной энергии (1956 г. и 1959 г., соответственно). В 1959 г. начались работы по строительству исследовательского ядерного центра в Нёнбёне с установкой советского исследовательского легководного бассейнового реактора ИРТ-2000 с водно-бериллиевым отражателем мощностью 2 МВт. (1965 г.) на основе высокообогащенного урана. В 1974 г. КНДР вступила в МАГАТЭ. В том же году КНДР обратился за помощью в создании ядерного оружия к Китаю, и северокорейские специалисты были допущены на китайские ядерные объекты [15]. В 1985 г. под давлением СССР и в расчёте на строительство с его помощью атомной электростанции, КНДР подписала Договор о нераспространении ядерного оружия, куда в 1986 г. СССР поставил в ядерный центр Йонбен газографитный исследовательский реактор мощностью 5 МВт. Было также подписано соглашение о строительстве в КНДР АЭС сначала с четырьмя легководными реакторами типа ВВЭР-440, а затем трех ВВЭР-640 (1990 г.) с подписанием контракта о поставке СССР топливных сборок на сумму ~185 тыс. \$ США.

Поэтому, на наш взгляд, именно Российская Федерация сможет внести определяющий вклад в урегулировании международных отношений и денуклеаризации Корейского полуострова. Как было указано выше, ядерному сотрудничеству СССР (Россия) – КНДР скоро исполнится 70 лет. Этот большой срок, который, по нашему мнению, гарантирует определенное доверие между государствами. Таким вкладом Российской Федерации в решении денуклеаризации Корейского полуострова, а точнее – свертывание ядерных

оружейных программ КНДР, может стать реализация совместного проекта энергетического обеспечения Северной Кореи за счет установки двух ВВЭР-1200 на уран-ториевых топливных композициях. При этом Россия может обеспечить и переработку отработавшего ядерного топлива с его последующей рефабрикацией. Энергетические трудности КНДР будут решены, при этом вовлеченный в ядерно-топливный уран-ториевый цикл исключит наработку делящегося оружейного плутония-239. Это предложение, на взгляд авторов, заманчиво еще в том, что при извлечении тория из минерального сырья возможно извлечение высокотехнологического перспективного продукта – редкоземельных элементов (РЗЭ). Важно, что КНДР располагает минеральным редкометальным сырьем. Достаточно упомянуть недавно открытое месторождение в провинции Сев. Пхенан с запасами до 200 млн. т. РЗЭ [16]. Это значит, что при его переработке КНДР получит два целевых продукта – торий для будущих АЭС, и РЗЭ, который даст доход государству. Тем самым, остановив процесс милитаризации, КНДР могла бы получить невозобновляемый энергетический ресурс, новые рабочие места, производства по извлечению и наработке редкометальной продукции с выходом на мировой рынок.

#### Библиографический список

1. Информационный портал «РИА Новости»  
[Электронный ресурс]: <https://ria.ru/politics/20050210/24432246.html>
2. Информационный портал «ВЕСТИ.RU»  
[Электронный ресурс]: <https://www.vesti.ru/doc.html?id=86181&tid=39530>
3. Информационный портал «LENTA.RU»  
[Электронный ресурс]: <https://lenta.ru/news/2009/05/25/test>
4. Информационный портал «BBC Русская служба»  
[Электронный ресурс]: <http://www.bbc.com/russian/international/2013/02/130211>
5. Информационный портал «РБК»  
[Электронный ресурс]: <http://www.rbc.ru/rbcfreenews/5688d0dd9a7947aa217723f1>
6. Информационный портал «Интерфакс»  
[Электронный ресурс]: <http://www.interfax.ru/world/530135>
7. Информационный портал «Информационное агентство России ТАСС»  
[Электронный ресурс]: <http://tass.ru/mezhdunarodnaya-panarama/4528055>
8. Информационный портал «TUT.BY»  
[Электронный ресурс]: <https://news.tut.by/world/476984>
9. Информационный портал газеты «Военно-промышленный курьер»  
[Электронный ресурс]: <https://vpk-news.ru/articles/26092>
10. Информационный портал «Pandia» [Электронный ресурс]:  
<http://www.pandia.ru/text/80/053/2016.php>
11. Информационный портал журнала «Новое Восточное Обозрение»  
[Электронный ресурс]: <https://ru.journal-neo.org/2013/11/15>
12. Информационный портал «Утро.ру»  
[Электронный ресурс]: <https://utro.ru/articles/2012/05/31/1049920>
13. Информационный портал «LENTA.RU»  
[Электронный ресурс]: <https://lenta.ru.ru/news/2016/03/11>
14. Информационный портал «Информационное агентство России ТАСС»  
[Электронный ресурс]: <http://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/3923967>
15. Международная система архивации цифровых объектов сети интернет «WebCite»  
[Электронный ресурс]: <http://www.webcitation.org/6EMijmEnV>
16. Электронная библиотека «Бесплатная библиотека России» [Электронный ресурс]:  
<http://libed.ru/knigi-nauka/1241771-3-1-informacionniy-internet-sbornik-novostey>

УДК 612.014.482+621.039

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СМЕРТНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ  
У РАБОТНИКОВ ПЛУТОНИЕВОГО И ДРУГИХ ПРОИЗВОДСТВ ПО «МАЯК»**

Лёгких И. В.

*Южно-Уральский институт биофизики  
г. Озёрск, Челябинская область*

legkih@subi.su

В результате проведенного исследования установлено, что наиболее неблагоприятные изменения анализируемых показателей смертности и продолжительности жизни по сравнению с реакторным и радиохимическим заводами имели работники плутониевого завода.

*Ключевые слова:* когорта работников ПО «Маяк», основные заводы, опухолевая и неопухолевая патология, плутоний-239, органы депонирования, смертность, возраст смерти, продолжительность жизни

**COMPARATIVE ANALYSIS OF MORTALITY AND LIFETIME AMONG WORKERS OF  
PLUTONIUM AND OTHER PLANTS OF MAYAK PA**

Legkih I. V.

*Southern Urals Biophysics Institute, Ozersk*

As a result of the performed study it was found that the most adverse changes of the analyzed mortality and lifetime factors were among the workers of plutonium plant as compared to the workers of reactor and radiochemical plants.

*Keywords:* cohort of Mayak PA workers, main plants, tumor and non-tumor pathology, plutonium-239, deposition organs, mortality, age at death, lifetime.

**Введение.** В условиях производств, где осуществляется утилизация ядерных боезарядов, именно внутреннее облучение вследствие инкорпорации актинидов является основным источником радиационной опасности у работников указанных производств. Ингаляционное поступление плутония-239 приводит к накоплению его в органах дыхания, печени, скелете, что влечет формирование высоких доз альфа-излучения и увеличение риска возникновения злокачественных новообразований этих органов [1]. Для интегральной характеристики неблагоприятного влияния ионизирующего излучения на здоровье наиболее информативным показателем, по мнению ряда исследователей, является сокращение продолжительности жизни (ПЖ) у облученных людей [2].

Ранее у данного контингента работников при анализе сокращения ПЖ при основных причинах смерти были установлены наиболее неблагоприятные изменения изученных показателей по сравнению с работниками других производств [3]. Целью настоящего этапа исследования явилась оценка влияния инкорпорации плутония-239 на ПЖ у работников, занятых утилизацией и переработкой ядерных боеприпасов, по сравнению с другими заводами ПО «Маяк», на основе анализа смертности, возраста смерти и показателей сокращения ПЖ при опухолевых и неопухолевых причинах смерти с учетом органов основного и неосновного депонирования радионуклида. При этом в исследование не были включены работники, умершие от внешних причин и инфекций, при которых роль производственных факторов не существенна.

**Материалы и методы исследования.** Материалом для исследования явилась когорта работников 1948-1958 годов найма, входящая в состав Медико-дозиметрического Регистра

персонала ПО «Маяк» [4], прослеженная до 2009 года включительно. Для анализа использовали членов когорты 1901-1940 годов рождения. Доли умерших на момент исследования во всех случаях превышали 50% уровень, составив 71,2% среди мужчин и 53,3% среди женщин (всего – 66,2%), что является допустимым для изучения ПЖ у данной когорты. В отделе радиационной и общей безопасности ПО «Маяк» по данным индивидуального фотоконтроля были получены сведения о дозах внешнего гамма-облучения. Данные по инкорпорации плутония-239 в организме были получены в отделе радиационной безопасности и дозиметрии ЮУрИБФ на основе дозиметрической системы «Дозы 2008», разработанной в рамках российско-американского сотрудничества. Сведения о причинах смерти и другие характеристики умерших лиц были получены из Регистра причин смерти населения г. Озерска. Демографический анализ включал сравнительное изучение в когорте работников основных заводов ПО «Маяк» по МКБ-9 структуры и уровней смертности, возраста смерти, возраста найма на работу (ВНР) и показателей сокращения продолжительности жизни при опухолевой и неопухолевой патологии органов основного (легкие и печень) и неосновного (другие органы) депонирования плутония-239. Для оценки сокращения продолжительности жизни определяли долю лиц, недоживших до 65 лет, и потерянные годы потенциальной жизни (ППЖ) как разницу между европейским стандартом ожидаемой продолжительности жизни при рождении, который был принят в качестве стандарта продолжительности потенциальной жизни (77 лет для мужчин и 83 года для женщин), и реальной продолжительностью жизни [5]. В сравниваемых группах оценивали число человеко-лет потенциальной жизни. Для сравнительной оценки определяли ППЖ на 100 тыс. человеко-лет потенциальной жизни. Статистический анализ проводили с помощью программы STATISTICA-10.

**Результаты исследования и обсуждение.** В результате сравнительного анализа структуры выделенных причин смерти у мужчин ПЗ относительно РЗ установлено достоверное повышение доли опухолевой патологии легких и печени, а также достоверное изменение распределения опухолевой патологии органов основного и неосновного депонирования относительно РЗ и РХЗ (таблица 1). У женщин ПЗ структурные изменения причин смерти были более выраженными относительно женщин РЗ и РХЗ. При этом наблюдалось повышение доли всех опухолевых причин смерти, главным образом, за счет легких и печени, которое происходило на фоне тенденции к снижению доли всей неопухолевой патологии, главным образом, за счет неопухолевой патологии органов неосновного депонирования плутония. По критерию хи-квадрат у женщин ПЗ относительно женщин РЗ и РХЗ отмечено достоверные изменения распределения опухолевой и неопухолевой патологии в целом, опухолевой патологии органов основного и неосновного депонирования, а также относительно РХЗ – неопухолевой патологии органов основного и неосновного депонирования.

При анализе смертности при выделенных причинах смерти у мужчин ПЗ относительно мужчин РЗ установлено достоверное повышение смертности при всех опухолевых причинах преимущественно за счет опухолевой патологии легких и печени (таблица 1). Относительно мужчин РХЗ у мужчин ПЗ был повышен уровень смертности при опухолевой патологии органов основного депонирования на фоне тенденции к снижению смертности при опухолевой патологии органов неосновного депонирования. По сравнению с РЗ возраст смерти у мужчин ПЗ был снижен при всей опухолевой патологии, в том числе органов основного и неосновного (тенденция) депонирования, а относительно мужчин РХЗ – при неопухолевой патологии органов неосновного депонирования (таблица 1). При этом возраст смерти при всех причинах смерти у мужчин ПЗ был достоверно ниже, чем у мужчин РЗ, и выше, чем у мужчин РХЗ. У женщин ПЗ по сравнению с женщинами других заводов отмечалось достоверное повышение смертности при всех опухолевых причинах смерти, обусловленное повышением опухолевой патологии легких и печени. По сравнению с РЗ и РХЗ смертность от неопухолевой патологии у женщин ПЗ имела тенденцию к снижению. Различия

в возрасте смерти у женщин основных заводов при разных причинах и в целом не были достоверными.

Таблица 1 – Смертность (ЧСС/105 чел.-лет) и возраст смерти (ВС) у работников основных заводов ПО «Маяк» при опухолевой и неопухолевой патологии органов основного и неосновного депонирования плутония-239

Причины смерти	Реакторный завод			Радиохимический завод			Плутониевый завод		
	%	ЧСС/10 <sup>5</sup> чел.-лет	ВС, лет	%	ЧСС/10 <sup>5</sup> чел.-лет	ВС, лет	%	ЧСС/10 <sup>5</sup> чел.-лет	ВС, лет
Мужчины									
Опухолевые:	28,3	429,3	64,8±0,54	29,7	461,8	62,6±0,42 <sup>a</sup>	31,8	488,6 <sup>a</sup>	62,4±0,48 <sup>a</sup>
Легких и печени	9,2	140,4	64,8±0,77	10,6	164,2	63,9±0,53	15,0 <sup>a,b</sup>	230,8 <sup>a,b</sup>	61,9±0,64 <sup>a</sup>
Других органов	19,0	288,8	64,7±0,70	19,2	297,7	61,9±0,58 <sup>a</sup>	16,8	257,8* *	62,9±0,70*
Неопухолевые:	71,7	1088,2	66,4±0,35	70,3	1091,0	65,1±0,27 <sup>a</sup>	68,2	1047,5	66,3±0,36 <sup>b</sup>
Легких и печени	4,8	72,2	63,7±1,52	5,9	91,3*	65,3±0,28	5,5	84,6	62,1±1,36 <sup>b</sup>
Других органов	67,0	1016,0	66,6±0,36	64,3	999,6	63,3±0,89 <sup>a</sup>	62,7	962,8	66,6±0,37 <sup>b</sup>
Все причины	100,0	1517,5	65,9±0,25	100,0	1552,8	64,4±0,21 <sup>a</sup>	100,0	1536,1	65,1±0,24 <sup>a,b</sup>
Женщины									
Опухолевые:	24,2	348,7	63,0±1,18	26,9	386,5	64,2±0,83	32,6* b	468,3 <sup>a,b</sup>	63,5±0,78
Легких и печени	4,0	56,9	66,7±2,09	3,0	42,9	65,8±2,39	10,4* b	149,0 <sup>a,b</sup>	63,0±1,30
Других органов	20,2	291,7	62,3±1,34	24,0	343,6	64,0±0,89	22,2	319,3	63,8±0,97
Неопухолевые:	75,8	1092,3	71,4±0,60	73,1	1048,2	71,7±0,46	67,4*	966,4*	72,7±0,53
Легких и печени	4,4	64,0	62,9±2,00	3,1	44,9	67,3±2,75	4,9	70,2**	61,2±2,87
Других органов	71,4	1028,2	71,9±0,61	69,9	1003,3	71,9±0,46	62,5*	896,2* **	73,6±0,51
Все причины	100,0	1440,9	69,4±0,54	100,0	1434,7	69,7±0,42	100,0	1434,7	69,7±0,47
Примечание: а – $p < 0,05$ относительно 1-й группы; b – $p < 0,05$ относительно 2-й группы; * – $p < 0,1$ относительно 1-й группы									

Далее была проведена сравнительная оценка ПППЖ у персонала основных заводов ПО «Маяк» при опухолевой и неопухолевой патологии органов основного и неосновного депонирования плутония-239. Установлено, что у мужчин ПЗ и в меньшей степени у работников РХЗ достоверно повышены ПППЖ при опухолевой патологии относительно работников РЗ (таблица 2). Основной вклад в повышение ПППЖ у работников ПЗ вносила опухолевая патология легких и печени, а у мужчин РХЗ – опухолевая патология других органов. При всех причинах смерти ПППЖ у мужчин РХЗ были самыми высокими за счет опухолевой и неопухолевой патологии органов неосновного депонирования. ПППЖ у мужчин ПЗ при всех причинах смерти были выше, чем у мужчин РЗ за счет опухолевой и неопухолевой патологии легких и печени.

У женщин ПЗ по сравнению с женщинами других заводов отмечалось повышение ПППЖ при опухолевой и неопухолевой патологии легких и печени (таблица 2). ПППЖ при всех причинах смерти были наибольшими у женщин РЗ, главным образом, за счет неопухолевой патологии. У женщин ПЗ и РХЗ ПППЖ при всех причинах были практически одинаковыми. Различия заключались в структуре: у женщин ПЗ ПППЖ были повышены при опухолевой и неопухолевой патологии легких и печени, а у женщин РХЗ – при опухолевой и неопухолевой патологии других органов.



Таблица 2 – Сравнительная оценка доли недоживших до 65 лет (% <65 лет) и потерянных годов потенциальной жизни (ППЖ) при опухолевой и неопухолевой патологии органов основного и неосновного депонирования плутония-239

Причины смерти	Реакторный завод		Радиохимический завод		Плутониевый завод	
	% <65 лет	ППЖ ×105 ЧЛПЖ	% <65 лет	ППЖ ×105 ЧЛПЖ	% <65 лет	ППЖ ×105 ЧЛПЖ
<b>Мужчины</b>						
Опухолевые:	43,0	4482	52,4a	5562a	55,5a	6031a,b
Легких и печени	42,9	1466	50,6a	1799a	59,6a,b	2947a,b
Других органов	43,1	3016	53,4a	3763a	51,9a	3073b
Неопухолевые:	37,9	9872	43,2a	10858a	38,7	9476a,b
Легких и печени	48,6	822	53,1	894	51,1	1066a,b
Других органов	37,1	9050	42,3a	9964a	40,2	8466a,b
Все причины	39,3	14354	45,9a	16420a	43,8a	15507a,b
<b>Женщины</b>						
Опухолевые:	55,1	5831	47,0	6102	52,3	7669a,b
Легких и печени	43,8	776	40,9	620	58,6a,b	2503a,d
Других органов	57,3	5055	47,7	5482a	49,3	5166b
Неопухолевые:	19,9	10594	18,6	9947a	21,6	8359a,b
Легких и печени	55,6	1076	34,8	592a	54,5	1286a,b
Других органов	17,6	9518	17,9	9355	19,0	7073a,b
Все причины	28,4	16425	26,3	16049	31,6b	16028

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 1

**Закключение.** Таким образом, в результате проведенного сравнительного исследования у работников, основных заводов ПО «Маяк» структуры причин смерти, смертности, доли не доживших до 65 лет, продолжительности жизни в целом, потерянных годов потенциальной жизни установлено, что наиболее неблагоприятные изменения оцененных показателей имели работники и работницы плутониевого завода, занятые утилизацией ядерных боеприпасов. При анализе исследованных показателей при опухолевой и неопухолевой патологии органов основного (легкие и печень) и неосновного (другие органы) депонирования плутония-239 установлено, что наиболее неблагоприятные изменения оцененных показателей имели работники плутониевого и, в несколько меньшей степени, радиохимического завода.

Однако причины наблюдаемых изменений на разных заводах оказались различными. Так, если у работников плутониевого завода в основе наблюдаемых изменений преимущественно лежали повышение уровней смертности и понижение возраста смерти при опухолевой и неопухолевой патологии легких и печени, то у работников радиохимического завода те же процессы отмечались при опухолевой и неопухолевой патологии других органов. Полученные результаты являются основанием для более детального изучения особенностей продолжительности жизни у персонала занятого утилизацией ядерных боеприпасов с последующим выделением отдельных опухолевых и неопухолевых причин смерти, которые вносят наибольший вклад в сокращение продолжительности жизни у данного контингента работников атомной промышленности с учетом повышенной и преждевременной смертности.

Библиографический список

1. Плутоний. Радиационная безопасность / Под общей ред. академика Л.А. Ильина. – М.: Изд.АТ. 2005. – 416 с.
2. Cameron J.R. Longevity is the most appropriate measure of health effects of radiation // Radiology. – 2003. – Vol. – 209. – P. 14-15.
3. Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д., Окотенко П.В. Сравнительный анализ структуры, уровней смертности и потерянных годов потенциальной жизни у работников основных производств ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. – 2016. – №4. – С. 64-75.
4. Кошурникова Н.А., Шильникова Н.С., Окотенко П.В. и соавт. Характеристика когорты рабочих атомного предприятия ПО «Маяк» // Мед. радиол. – 1998. – №6 (43). – С. 43-57.
5. Human Mortality Database: <http://www.mortality.org>

УДК 577.34

**МЕТОД БЕЗРАЗМЕРНЫХ КООРДИНАТ В ЗАДАЧАХ МЕЖВИДОВОЙ  
ЭКСТРАПОЛЯЦИИ**

Осовец С. В., Тихонова М. А.

*Южно-Уральский институт биофизики  
г. Озёрск, Челябинская область*

[clinic@subi.su](mailto:clinic@subi.su)

В работе представлен метод безразмерных координат для решения задач межвидовой экстраполяции. В качестве примеров использования данного метода решена задача межвидовой экстраполяции для зависимости «эффект-мощность дозы», а также рассмотрена задача экстраполяции кривых выживания для триады: дрозофила-мышь-человек.

*Ключевые слова:* межвидовая экстраполяция, метод безразмерных координат, эффект-мощность дозы, кривые выживания, Т-модель.

**THE METHOD OF DIMENSIONLESS COORDINATES IN PROBLEMS OF  
INTERSPECIFIC EXTRAPOLATION**

Osovets S. V., Tikhonova M. A.

*Southern Urals Biophysics Institute, Ozersk*

[clinic@subi.su](mailto:clinic@subi.su)

The method of dimensionless coordinates for the solution of interspecific extrapolation problems is presented in this work. The problem of interspecific extrapolation for the “dose rate-effect” relationship was solved as an example of implementation of this method; besides the problem of extrapolating the survival curves for the triad: “drosophila-mouse-man” was concerned.

*Key words:* interspecific extrapolation, the method of dimensionless coordinates, dose rate-effect, survival curves, T-model.

*Введение.* Экстраполяция данных, полученных в экспериментах на животных, к человеку является одной из главных задач современной радиобиологии, медицины и радиационной безопасности [1 – 3]. При использовании интегральных характеристик, таких как медианное значение поглощённой дозы (D50) или продолжительность жизни (T50)

человека и животного очень удобным методом для целей межвидовой экстраполяции является метод безразмерных координат [2, 4].

*Целью настоящего исследования* является развитие и применение метода безразмерных координат на примерах конкретных радиобиологических данных.

*Материал и методы.* Для описания зависимости D50-мощность дозы использовалась трехпараметрическая модель [5] следующего вида:

$$D_{50} = \left[ \frac{(D_{50}^* - \theta_{\infty}) \cdot P^*}{P} \right] + \theta_{\infty}, \quad (1)$$

здесь  $D_{50}$  – медианное значение поглощенной дозы,  $P$  – мощность дозы,  $D_{50}^*$ ,  $P^*$  – пороговые значения этих величин,  $\theta_{\infty}$  – значение  $D_{50}$  при  $P \rightarrow \infty$ . В безразмерном виде зависимость (1) будет выглядеть следующим образом:

$$U = X, \quad (2)$$

где  $U = \frac{(D_{50} - \theta_{\infty})}{(D_{50}^* - \theta_{\infty})}$ ,  $X = (P^*/P)$ .

В качестве эмпирического материала по человеку использовались литературные данные: зависимость эритемной дозы ( $D_{эр}$ ) от мощности дозы ( $P$ ) рентгеновского излучения, а для мышей зависимость  $D_{50}$  от мощности дозы гамма излучения [6]. Данные представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Зависимость  $D_{эр}$  от мощности дозы  $P$  рентгеновского излучения (человек)

Дэр, р	1250	910	835	595	750	550	435	500
Р, р/мин	5	12,1	15,2	34,7	50	127	435	500

Таблица 2 – Зависимость  $D_{50}$  от мощности дозы  $P$  гамма излучения (мышь)

D50, р	1181	1010	800	785	772
Р, р/мин	0,62	1,45	400	14,93	42,16

Для описания кривых выживания биологических видов использовалась так называемая Т-модель (T-model), которая является производной от распределения Вейбулла [7]:

$$R = 1 - \exp \left[ - \ln 2 \left( \frac{T_{50}}{T} \right)^{\lambda} \right], \quad (3)$$

где  $R$  – вероятность выживания,  $T$  – время жизни биологического вида,  $T_{50}$  – медианное значение времени жизни;  $\lambda$  – параметр формы распределения. В качестве исходных данных для тестирования формулы (3) использовались данные по времени жизни для человека, мыши и дрозофилы [4].

*Результаты и обсуждение.* Результаты расчетов по трехпараметрической модели (1) на основе данных представленных в таблицах 1 и 2 дали следующие значения:

по человеку -  $D_{50}^* = 1612$  р;  $P^* = 3,5$  р/мин;  $\theta_{\infty} = 548$  р;

для мышей -  $D_{50}^* = 2094$  р;  $P^* = 0,2$  р/мин;  $\theta_{\infty} = 768$  р.

Для согласования и обобщения полученных результатов воспользуемся безразмерной формой (2) этой модели.

На рисунке 1 представлен график обобщенной зависимости в координатах  $X$ ,  $U$ .

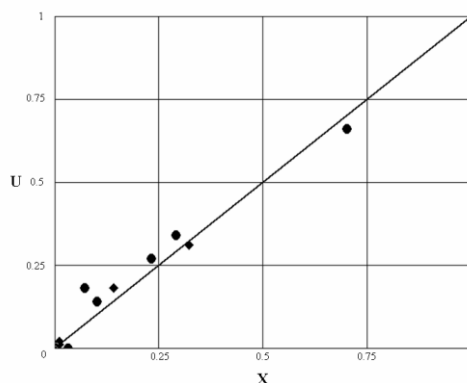


Рисунок 1 – Объединенные данные по человеку (●) и мышам (◆) в безразмерных координатах X, U

Из рисунка 1 видно, что объединение разноплановых по биологическому виду данных с помощью безразмерных координат является полезным и вполне корректным приемом при моделировании детерминированных эффектов и проведении межвидовой экстраполяции. Важно отметить, что для данных по человеку и мышам кратность отношения  $D_{50}^*/\theta_\infty$  была приблизительно равна трем.

В качестве следующего конкретного примера использования метода безразмерных координат с целью межвидовой экстраполяции приведем сравнение средней продолжительности жизни человека, мыши и дрозофилы (см. рисунок 2).

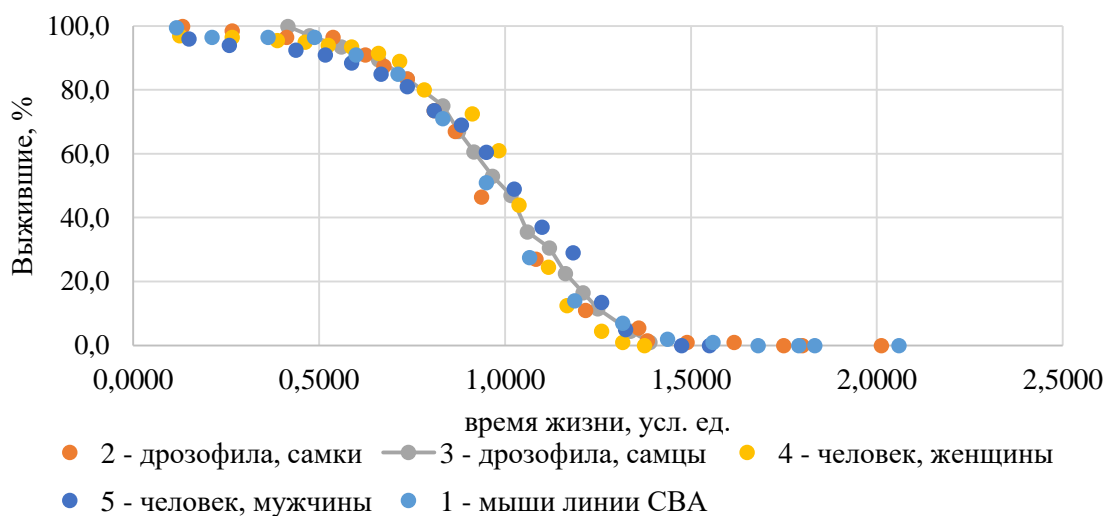


Рисунок 2 – Кривые выживания различных для различных биологических объектов

Расчет универсальных кривых в условных единицах ( $\tau = T/T_{50}$ ) по Т-модели (3) дал следующий результат:

$$R = 1 - \exp \left[ - \ln 2 \left( \frac{0,949 \pm 0,007}{\tau} \right)^{5,084 \pm 0,258} \right], \quad (4)$$

где  $\tau_{50}=0,949$ , а безразмерный параметр формы  $\lambda=5,084$ .

Для построения отдельных кривых выживания человека, мыши и дрозофилы достаточно в формуле (4) домножить  $\tau$  и  $\tau_{50}$  на среднюю продолжительность жизни соответствующих видов: для человека ~70 лет; для мыши ~2 года; для дрозофилы ~45 дней. При этом параметр формы  $\lambda$  сохранит свое инвариантное значение для всех кривых выживания, т.е. будет равен ~5.

Таким образом метод безразмерных координат с одной стороны позволяет получить обобщенные зависимости для различных видов биологических объектов и, с другой стороны, используя универсальные зависимости и дополнительную информацию можно выполнить межвидовую экстраполяцию от одного биологического объекта к другому.

#### Библиографический список

1. Даренская Н.Г., Ушаков И.Б., Иванов И.В., Иванченко А.В., Насонова Т.А. От эксперимента на животных к человеку: поиски и решения. - Воронеж: «Научная книга», 2010. - 236 с.
2. От радиобиологического эксперимента к человеку. (под ред. Ю.И. Москалева) - М.: Атомиздат, 1976. - 280 с.
3. Калистратова В.С., Булдаков Л.А., Нисимов П.Г. Проблема порога при действии ионизирующего излучения на организм животных и человека. - М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2010. - 214 с.
4. Акифьев А.П., Потапенко А.И., Рудаковская Е.Г. Ионизирующие излучения и 5-бром-2'-дезоксигуанидин как инструменты анализа фундаментального механизма сращения животных // Радиационная биология. Радиоэкология, 1997. Т. 37, вып. 4. С. 613-620.
5. Осовец С.В. Количественные характеристики и задача идентификации границ детерминированных эффектов // Медицинская радиология и радиационная безопасность, 2010, Т. 55, №4. С. 13-19.
6. Осовец С.В. Факторы мощности дозы в оценке и моделировании детерминированных эффектов при внешнем облучении // Медицинская радиология и радиационная безопасность, 2005, Т.50, №3. С.37-46.
7. Osovets S.V., Azizova T.V., Day R.D., Wald N. and Moseeva M.B. Direct and indirect tasks on assessment of dose and time distributions and thresholds of acute radiation exposure // Health Phys., 2012, V.102, №2, p. 182-195.

УДК 577.34

### БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОЗИМЕТРИЯ ВНЕШНЕГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ У РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК».

Синельщикова О. А., Сотник Н. В.

*Южно-Уральский институт биофизики  
г. Озёрск, Челябинская область*

clinic@subi.su

Показано, что биологическая доза, рассчитанная на основании частоты транслокаций (стабильных хромосомных aberrаций), статистически значимо зависела от суммарной поглощенной дозы внешнего гамма-излучения и поглощенной дозы внешнего гамма-излучения в красном костном мозге (ККМ). Биологические дозы, рассчитанные на основании частоты транслокаций, согласуются с расчетными оценками поглощенных доз в ККМ, на основании измерений пленочных дозиметров.

*Ключевые слова:* поглощенная доза, частота транслокаций, биологическая дозиметрия, красный костный мозг, пленочные дозиметры.



## BIOLOGICAL DOSIMETRY OF EXTERNAL GAMMA-IRRADIATION OF PA “MAYAK” WORKERS.

Sinelshchikova O. A., Sotnic N. V.

*Southern Urals Biophysics Institute, Ozersk*

It has been indicated that biological dose estimated on the base of translocations frequency (stable aberration) statistically significantly depended on the absorbed dose of external gamma-irradiation of the whole body and red bone marrow.

Biological doses calculated on the base of translocations frequencies are agreed with estimations of doses absorbed by red bone marrow based on the film dosimeters measurements.

**Keywords:** absorbed dose, translocations frequency, biological dosimetry, red bone marrow, film dosimeters.

*Введение.* Для того чтобы предсказать тяжесть радиационного поражения организма, вовремя оказать эффективную помощь, а также оценить возможные последствия облучения, необходимо иметь достоверную информацию о полученной дозе ионизирующего излучения. Кроме того, может возникнуть необходимость проверки (уточнения) дозы облучения, имевшего место в прошлом. В этих случаях важное значение приобретают методы биологической индикации и/или дозиметрии. Главной целью биологической индикации является установление факта облучения, а биологической дозиметрии – определение дозы облучения на основе биологических параметров (характеристик). На сегодняшний день общепризнанно, что наиболее информативными и чувствительными являются цитогенетические показатели, а именно хромосомные aberrации в лимфоцитах периферической крови.

*Цель работы.* Целью исследования являлась оценка возможности использования цитогенетических показателей для биологической дозиметрии при пролонгированном внешнем гамма-облучении человека.

*Материалы и методы.* Исследование проводилось на базе ФГУП Южно-Уральский институт биофизики (г. Озёрск). Изучаемой когортой являлась когорта работников ПО «Маяк», нанятых на один из основных заводов (реакторный, радиохимический и плутониевый заводы) в период с 1948 по 1978 гг. [1, 2].

Работа проходила в несколько этапов:

- получение письменного согласия индивида на добровольное участие в исследовании;
- взятие образцов крови;
- культивирование лимфоцитов периферической крови согласно стандартному протоколу, утвержденному в ЮУрИБФ;
- подготовка хромосомных препаратов;
- захват изображений метафазных разбросов.

Характеристика изучаемой группы работников ПО «Маяк» представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика работников ПО «Маяк»

	Мужчины	Женщины	Оба пола
Возраст на момент обследования $\pm$ СО, лет	$72,1 \pm 5,6$	$76,6 \pm 4,0$	$73,4 \pm 5,6$
Суммарная поглощенная доза внешнего $\gamma$ -излучения на весь организм $\pm$ СО, Гр Медиана (min; max)	$1,47 \pm 0,92$ $1,19 (0,32; 3,88)$	$1,60 \pm 0,70$ $1,46 (0,52; 3,60)$	$1,51 \pm 0,88$ $1,23 (0,32; 3,88)$
Суммарная поглощенная доза внешнего гамма-излучения в ККМ $\pm$ СО, Гр Медиана (min; max)	$1,13 \pm 0,72$ $0,43 (0,19; 3,35)$	$1,26 \pm 0,72$ $0,99 (0,32; 3,05)$	$1,17 \pm 0,72$ $0,93 (0,19; 3,35)$
Период найма на ПО «Маяк»			
1947-1953	26 (29,9 %)	19 (21,8 %)	45 (51,7 %)
1954-1958	19 (21,8 %)	3 (3,5 %)	22 (25,3 %)
после 1958	19 (21,8 %)	1 (1,2 %)	20 (23 %)
Продолжительность работы на ПО «Маяк» $\pm$ СО, лет	$31,4 \pm 16,1$	$18,4 \pm 13,2$	$30,0 \pm 16,4$

Примечание: СО-стандартное отклонение.

В настоящем исследовании был использован модифицированный метод подсчета транслокаций, описанный в работе Edwards и др. (2005 г.).

Всего в изучаемой группе было проанализировано 267779 метафазных разбросов. Частота транслокаций на геном-эквивалентную (ГЭ) клетку в исследуемой группе составила ( $\pm$ стандартная ошибка среднего)  $0,030 \pm 0,001$ .

Влияние возраста на частоту хромосомных aberrаций в лимфоцитах человека [3] компенсировалось тем, что лица в исследуемой группе имели приблизительно одинаковый возраст, в среднем –  $73,4 \pm 5,6$  лет.

*Результаты исследования.* С помощью стандартной калибровочной кривой для хронического излучения с низкой линейной проводимостью энергии (ЛПЭ) и учетом частоты транслокаций, обусловленной возрастом обследованных лиц, для каждого участника исследования была рассчитана «биологическая» доза внешнего гамма-излучения в ККМ с оценками стандартных отклонений (СО), далее по тексту – «биологическая» доза.

На рисунках 1 и 2 представлена зависимость частоты транслокаций от суммарной поглощенной дозы внешнего гамма-излучения и поглощенной дозы внешнего гамма-излучения в ККМ.

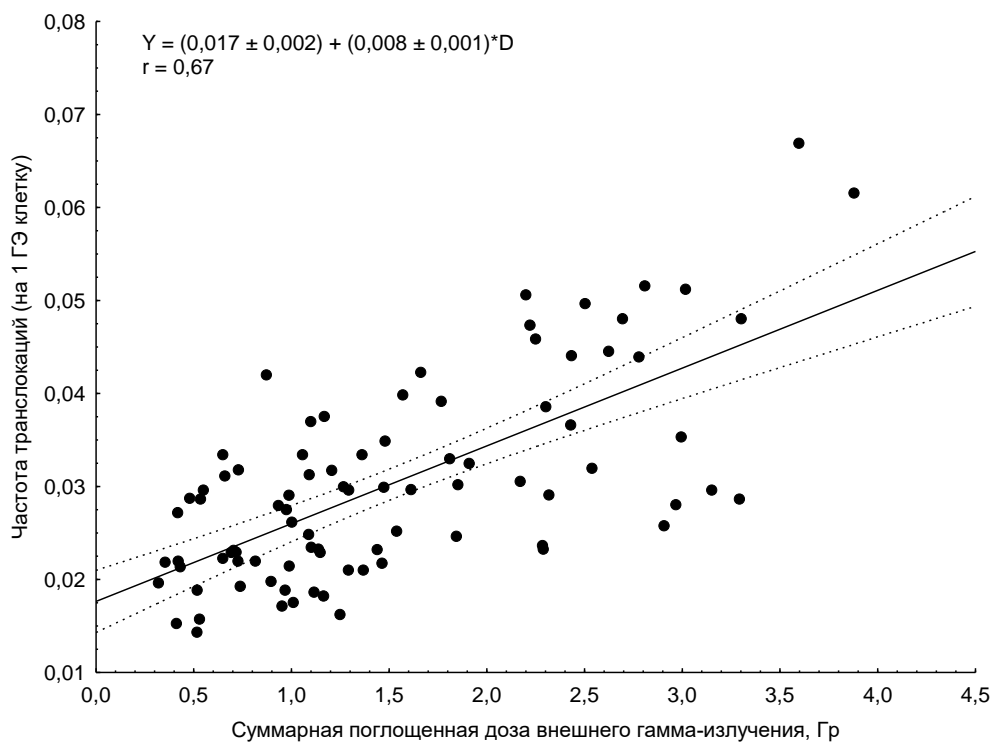


Рисунок 1 – Зависимость частоты транслокаций от суммарной поглощенной дозы внешнего гамма-излучения

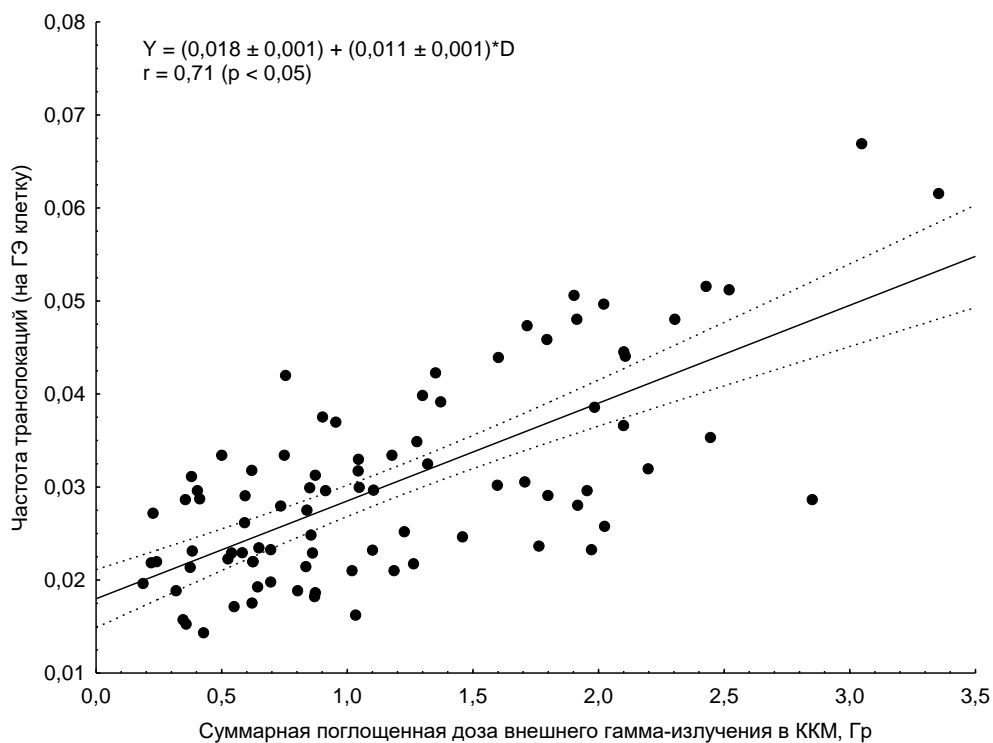


Рисунок 2 – Зависимость частоты транслокаций от поглощенной дозы внешнего гамма-излучения в ККМ

Линейные регрессионные модели были статистически значимы по F-критерию и имели высокий коэффициент корреляции ( $r = 0,7$ ).

Полученные кривые можно использовать в целях биологической индикации и дозиметрии, как в индивидуальном, так и в групповом варианте. Такой вариант расчетов доз, методом биологической дозиметрии, был приведен в работе [4].

Сравнение суммарных поглощенных доз внешнего гамма-излучения в ККМ, рассчитанных на основе частоты транслокаций и доз, восстановленных на основе измерений пленочных дозиметров, описывалось с помощью следующей линейной зависимости:

$$D_{\text{биол}} = (0,287 \pm 0,108) + (0,615 \pm 0,078) \cdot D_{\text{физ}}, \quad (1)$$

Зависимость (1) демонстрирует соответствие между физической и биологической дозами, коэффициент линейной корреляции составил 0,65.

*Заключение.* Таким образом, результаты настоящего исследования подтвердили возможность использования частоты транслокаций для оценки доз внешнего гамма-облучения независимо от оценок доз облучения, установленных физическими методами при пролонгированном внешнем гамма-облучении. По нашему мнению, «физическая» и «биологическая» дозиметрия являются взаимодополняющими методическими подходами, обеспечивающими максимально достоверный результат в оценке доз облучения при совместном использовании [5].

#### Библиографический список

1. Azizova TV, Day RD, Wald N, Muirhead CR, O'Hagan JA, Sumina MV, Belyaeva ZD, Druzhinina MB, Teplyakov II, Semenikhina NG, Stetsenko LA, Grigoryeva ES, Krupenina LN, Vlasenko EV (2008) The "Clinic" medical-dosimetric database of Mayak Production Association workers: Structure, characteristics and prospects of utilization. Health Phys 94:449-458.
2. Edwards AA, Lindholm C, Darroudi F, Stephan G, Romm H, Barquinero J, Barrios L, Caballin MR, Roy L, Whitehouse CA, Tawn EJ, Moquet J, Lloyd DC, Voisin P (2005) Review of translocations detected by FISH for retrospective biological dosimetry applications. Radiat Prot Dosim 113:396-402.
3. A. Sigurdson, M. Ha, M. Hauptmann et al. (2008) International study of factors affecting human chromosome translocations. Mutat Res 652: 112-121.
4. Осовец С.В., Сотник Н.В., Азизова Т.В., Майнеке В., Шертан Г., Дёпп Х. Возможности и ограничения биологической индикации и дозиметрии хронического облучения. // Вопросы радиационной безопасности, 2015, №1, с. 37-46.
5. Sotnik N.V., Azizova T.V., Darroudi F., Ainsbury E.A., Moquet J.E., Fomina J, Lloyd D.C., Hone P.A., Edwards A.A. (2015) Verification by the FISH translocation assay of historic doses to Mayak workers from external gamma radiation. Radiat Environ Biophys 54(4):445-51.

УДК 614.87: 616.36

**ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПЕЧЕНИ У РАБОТНИКОВ  
АТОМНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ РАНЕВОМ ПОСТУПЛЕНИИ  
РАДИОНУКЛИДОВ.**

Сокольникова С. С., Поволоцкая С. В.

*Южно-Уральский институт биофизики,  
г. Озёрск, Челябинская область*

sokolnikova\_s@subi.su; povolotskaja@subi.su.

Представлены результаты обследования функционального состояния печени у работников плутониевого и радиохимического производств ПО «Маяк» с раневым поступлением трансурановых нуклидов с помощью серологических тестов и рассчитанных на их основе количественных индексов с целью ранней диагностики фиброза (цирроза) печени.

*Ключевые слова:* раневое поступление, изотопы плутония, органы депонирования, биомаркеры

**LIVER FUNCTIONAL STATUS ASSESSMENT OF ATOMIC ENTERPRISE WORKERS  
IN CASE OF WOUND INCORPORATION OF RADIONUCLIDES.**

Sokolnikova S. S., Povolotskaya S. V.

*Southern Urals Biophysics Institute, Russia, Ozersk*

The results of examination of the functional state of the liver of Mayak PA radiochemical and plutonium facilities workers with wound incorporation of transuranium radionuclides are presented. The examination was performed using serological tests and quantitative indices in order to provide early diagnostics of liver fibrosis (cirrhosis).

*Keywords:* wound incorporation, transuranium radionuclide, plutonium isotopes, organs of depositing, biomarkers

Поступление радионуклидов в организм через поврежденную кожу является важным фактором формирования дозы внутреннего облучения в условиях современного производства по переработке облученного ядерного топлива и изготовлению изделий, содержащих изотопы плутония. Опасность для здоровья работников обусловлена способностью трансурановых нуклидов избирательно накапливаться в определенных органах и вызывать их облучение на протяжении длительного периода времени. Известно, что при поступлении Pu-239 через раны достижение предельной дозы (20 мЗв), происходит при инкорпорации даже незначительных количеств нуклида [1]. В случаях трансдермального поступления радионуклидов органами преимущественного депонирования изотопов плутония являются печень и скелет [2,3]. Ответной реакцией на повреждение клеток печени, независимо от этиологического фактора является активизация процесса фиброгенеза, дисбаланс с фибролизом приводит к фиброзу печени (ФП), завершающей стадией которого является цирроз, во многом предопределяющий неблагоприятный исход.

Имеются многочисленные экспериментальные данные, выполненные на разных видах животных, описывающие морфологические изменения в гепатоцитах при поступлении изотопов плутония. Развитие фиброза сопровождается накоплением и отложением коллагена и других биологически активных соединений в экстрацеллюлярном матриксе печени. При прогрессировании фибротических изменений происходит перестройка архитектоники печеночной ткани с развитием цирроза печени [3, 4]. При острой форме поражения <sup>239</sup>Pu в



печени развивается некротический гепатит с гибелью гепатоцитов, при хроническом поступлении нуклида наблюдается картина морфологической перестройки печени по типу хронического токсического гепатита с развитием фиброзных предцирротических и цирротических изменений. Изучение морфологических изменений в печени людей вследствие инкорпорации радионуклидов ограничено случаями применения торотраста (20% раствор торий-содержащего контрастного вещества) при рентгенодиагностике, который преимущественно откладывается в печени, селезенке, лимфатических узлах. Через 10-20 лет после введения торотраста у людей развивались циррозы печени и различные доброкачественные и злокачественные опухоли [5, 6]. При интратрахеальном поступлении различных химических соединений плутония в производственных условиях в гепатоцитах наблюдались атрофические изменения разной направленности, жировое перерождение клеток [7].

Ранняя диагностика и мониторинг фиброзных изменений позволяет своевременно начать адекватную терапию и предупредить трансформацию ФП в цирроз. Задачей настоящего исследования была оценка возможных фиброзных изменений печени у работников ПО «Маяк» с раневым поступлением трансураниевых элементов. Для проведения обследования были сформированы 2 группы из работников химико-металлургического и радиохимического заводов, одна из них из работников с нештатным раневым поступлением радионуклидов, преимущественно, в результате наколов (**основная группа**, 27 чел.). Почти во всех случаях в местах повреждения кожных покровов отмечалось присутствие трансураниевых радиоизотопов: Pu-238, 239, 240 и Am-241. Срок, прошедший от момента поступления изотопа в организм до проведения обследования, составлял от 5 до 17. Диапазон содержания изотопов плутония и америция при поступлении (суммарно) в организме по результатам биофизического обследования составлял от 0,4 до 1100 Бк. Дозы внутреннего облучения (ОЭД<sub>50</sub>) в группе составляли от 0,1 до 570 мЗв. У большей части работников (около 80%) дозы облучения были существенно ниже пределов, нормируемых НРБ-99/09. Вторая группа (**группа сравнения**, 48 чел.) состояла из работников химико-металлургического завода, не вовлеченных в ситуации с поступлением радионуклидов, и была сопоставима по полу и возрасту с основной группой.

Обследование начиналось с письменного информированного согласия участников и включало сбор демографических, анамнестических данных, сведений о профессиональных химических и радиационных вредностях. Для оценки степени тяжести фиброза использовались количественные показатели (индексы), учитывающие значения комплекса биохимических показателей состояния печени (биомаркеров). Используемый количественный неинвазивный метод диагностики ФП с помощью индексов разрабатывался как альтернатива биопсии печени, имеющей целый ряд существенных ограничений и недостатков [8].

Лабораторное тестирование включало традиционные сывороточные биомаркеры, характеризующие функции печени, которые считаются непрямыми маркерами фиброза. К ним относят аланинаминотрансферазу (АлАТ), аспартатаминотрансферазу (АсАТ), гамма-глутамилтранспептидазу (ГГТП), щелочную фосфатазу (ЩФ), общий холестерин (ОХ). В клинической практике уровни ферментативной активности АлАТ и АсАТ отражают повреждение гепатоцитов (воспаление и некроз), уровни активности ГГТП и ЩФ – состояние желчевыводящей системы печени (маркеры холестаза), ОХ – синтетическую функцию печени. При расчетах кроме биохимических маркеров учитывали уровень тромбоцитов в крови и возраст участника на момент взятия крови. По результатам лабораторного обследования среднegrupповые уровни активности всех изученных ферментов, концентрация ОХ в основной и группе сравнения были примерно одинаковы. Показатели активности АлАТ, АсАТ и ЩФ не выходили за пределы референтного диапазона. Средние значения активности ГГТП в 1,25 раза превышали верхний предел референтного диапазона за счет высокой частоты индивидуальных отклонений в сторону повышения, составляющей 63% и 50% в основной и контрольной группах соответственно. Нельзя исключить влияние на уровень ГГТП

химических токсикантов техногенного происхождения [9], поскольку 87% участников контактировали с разными классами органических соединений в процессе профессиональной деятельности. Среднее количество тромбоцитов в основной группе и группе сравнения было примерно одинаковым.

Кроме того, у каждого работника основной и группы сравнения были рассчитаны следующие фиброзные индексы: AAR (отношение АсАТ/АлАТ), APRI (отношение АсАТ к содержанию тромбоцитов), FIB-4 (учитывает уровни активности АлАТ, АсАТ, количество тромбоцитов и возраст пациента), FORNS (включает показатели ГГТП, холестерина, тромбоцитов и возраст). Индексы рассчитывались по специальным формулам, в которые вводятся значения тестируемых маркеров. Используемые индексы характеризовались высокой прогностической ценностью положительного результата (93-100% для AAR, APRI), или отрицательного результата прогноза (90-96% для FIB-4, FORNS – 90-96%) [10-15].

Результаты тестирования показали, что индивидуальные уровни отдельных серологических маркеров и многокомпонентные расчетные индексы на текущий момент практически в 90% исключили наличие значимого фиброзного процесса в печени в обеих обследованных группах. «Положительные» индексы выявлены в 15% случаев в основной группе и в 17% – в группе сравнения, это случаи, в которых некоторые индексы превышали диагностические пороги, что может являться прогностическим признаком возможного развития фиброзного процесса. Пристального внимания также заслуживает случай с существенным повышением индекса FORNS, что было выявлено у одного работника основной группы с высоким поступлением плутония и америция и ОЭД<sub>50</sub>, составляющим 330 мЗв. Для уточнения полученных выводов будет проведена оценка результатов по панелям индексов, включающим прямые маркеры фиброизирования печени, прогностическая эффективность которых существенно выше [16].

#### Библиографический список

1. International Commission on Radiological Protection. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides, Part 2. ICRP Publication 67, Oxford: Pergamon Press., 1993. – 167p.
2. Плутоний. Радиационная безопасность / Под ред. Л.А. Ильина. – М.: ИздАТ, 2005. – 416с.
3. Проблемы токсикологии плутония / Л.А. Булдаков, Э.Р. Любчанский, Ю.И. Москалев, А.П. Нифатов; М.: Атомиздат, 1969. – 367с.
4. Павлов Ч.С., Золотаревский В.Б., Томкевич М.С., Коган Е.А., Ивашкин В.Т. Возможность обратимости цирроза печени (клинические и патогенетические предпосылки). // РЖГГК. – 2006. – №1. – С. 20-29.
5. Horta j.de Silva. Late lesions in man caused by colloidal thorium dioxide (thorotrast); a new case of sarcoma of liver twenty-two years after the in jection / Arch. Pathol., 1956. – С. 403-418.
6. Suckow E.E., Henegar G.C., Baserga R. Tumors of the liver following administration of thorotrast / Amer. J. Pathol., 1961. С. 663-667.
7. Нифатов А.П. Гистопатология печени при поражении плутонием-239 (гистоауторадиографическое и морфологическое исследование): Дис...канд. мед. наук / ФИБ-1, 1964– 213с.
8. Bravo A.A., Sheth S.G., Chopra S. Liver biopsy // N. Engl. J. Med. – 2001. – V.344. – P. 495-500.
9. Кудяева И.В., Бударина Л.А., Дьякович О.А. Изменение уровня ферментов печени в ходе динамического обследования лиц, экспонированных винилхлоридом // РЖГГК. – 2015. – №4. – С. 46-52.
10. Gianini E., Risso D., Botta F. et al. Validity and clinical utility of the aspartate aminotransferase-alanine aminotransferase ratio in assessing disease severity and prognosis in patients with hepatitis C virus- related chronic liver disease // Arch. Int. med. – 2003. – V. 163. – P.218-224.
11. Williams A.L., Hoofnagle J.H. Ratio of serum aspartate to alanine aminotransferase in chronic hepatitis. Relationship to cirrosis // Gastroenterology. – 1988. – V. 95. – P. 734-739.

12. Carvalho-Filho R.J., Schiavon L.L., Narciso- Schiavon J.L. et al. Optimized cutoff improve performance of the aspartate aminotransferase to platelet ratio index for predicting significant liver fibrosis in human immunodeficiency virus/hepatitis C virus co-infection // *Liver. Int.* – 2008. – V. 28. – P. 486-493.
13. Lin Z.H., Xin Y.N., Dong Q.J. et al. Performance of the aspartate aminotransferase to platelet ratio index for the staging of hepatitis C-related fibrosis: an updated meta-analysis // *Hepatology.* – 2011. – V. 53. – P. 726-736.
14. Vallet- Pichard A., Mallet V., Nalpas B. et al. FIB-4 an inexpensive and accurate marker of fibrosis in HCV infection, comparison with liver biopsy and fibrotest // *Hepatology.* – 2007 – V. 46. – P. 32-36.
15. Forns X., Ampurdan Ps S., Llovet J.M. et al. Identification of chronic hepatitis C patients without hepatic fibrosis by a simple predictive model // *Hepatology.* – 2002 – V. 36 (4 Pt 1). – P. 986-992.
16. Вельков В.В. Сывороточные биомаркеры фиброза печени: до свидания биопсия. – М.: Lomonosoff Print, 2009. – 40с.

**УДК 504.65 + 351.8:614.8**

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ПРИМОРЬЯ**

Фагиева В. В., Тананаев И. Г.

*Дальневосточный федеральный университет  
г. Владивосток*

geokhi@mail.ru

Представлена информация о радиационной обстановке на территории Приморского Края с указанием основных источников загрязнения (локальные участки бухты Чажма; береговые пункты хранения ОЯТ и РАО; места базирования АПЛ в заливе Петра Великого; последствия аварии на АЭС «Фукусима-1») и мер обеспечения его радиационной безопасности.

Ключевые слова: радиационная обстановка, радионуклиды, мониторинг, безопасность

## **ENSURING RADIATION SAFETY OF PRIMORYE TERRITORY**

Fazieva V. V., Tananaev I. G.

*Far Eastern Federal University, Vladivostok*

geokhi@mail.ru

Information is provided on the radiation situation in the Primorsky Krai with the indication of the main sources of pollution (local parts of the Chazhma Bay, onshore SNF and radioactive waste storage sites, the locations of the nuclear submarine in Peter the Great Bay, the consequences of the accident at the Fukushima-1 NPP) and measures to ensure its radiation security.

Keywords: radiation situation, radionuclides, monitoring, safety

Дальний Восток познакомился с ядерными технологиями в середине XX века. «Холодная война» на Тихоокеанском побережье привела к размещению ударной группировки атомных подводных лодок (АПЛ) СССР. К 60-х гг XX в. были созданы береговые технические базы (БТБ) ВМФ для временного хранения ОЯТ и РАО после перезарядки реакторов АПЛ. После завершения эксплуатации данные объекты оказались заброшенными, из-за нарушения

защитных барьеров хранилищ отдельные участки территории подверглись радиоактивному загрязнению. В 2000 г. бывшие БТБ были переданы в ведение ГК «Росатом», на базе которых был создан Дальневосточный центр по обращению с радиоактивными отходами (ДВЦ «ДальРАО» – филиал ФГУП «РосРАО» в составе БТБ в бух. Крашенинникова и Сысоева, а также площадка долговременного хранения реакторных отсеков в бух. Разбойник. Для энергопитания маяков в труднодоступных районах вдоль береговой линии начали устанавливать радиоизотопные термоэлектрические генераторы. В начале 70-ых для энергоснабжения горнорудных и золотодобывающих предприятий в районе пос. Билибино (Чукотка) была построена Билибинская АЭС. Получив экономический рост и обороноспособность региона, государство столкнулось с авариями, приведшие к серьезным радиоэкологическим последствиям. До настоящего времени на радиационную обстановку г. Владивостока и территории Приморского края оказывают отдельные локальные участки загрязненных радионуклидами зон, появившихся вследствие аварии АПЛ в бух. Чажма (1985 г.). С 2011 г. в атмосфере появились техногенные радионуклиды, поступившие с воздушными массами после аварии на АЭС «Фукусима-1». Наконец, с 2013 г. был поднят вопрос безусловного контроля радиационной обстановки на территории Приморского Края по результатам проведения ядерных испытаний, осуществляемых КНДР. Это требует обеспечения радиационной безопасности территории ДФО и Приморского края, которую осуществляют различные организации, ведущие свою базу данных. Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Примгидромет) Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды осуществляет наблюдения за загрязнением окружающей среды на территории Приморского края. В структуру организации входит Центр мониторинга загрязнения окружающей среды (ЦМС). ЦМС проводит мониторинг по радиоактивному загрязнению и химическому составу атмосферных осадков по ДФО, обеспечивая информацией о загрязнении окружающей среды органы государственной власти, природоохранные и хозяйственные организации. Выполнение этих задач возложено на лаборатории: региональная лаборатория мониторинга радиоактивного загрязнения; лаборатория мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и почв; лаборатория мониторинга загрязнения поверхностных вод суши; лаборатория мониторинга загрязнения морских вод; лаборатория физико-химических методов анализа, и группа экологической информации.

Основные задачи ЦМС: организация мониторинга загрязнения объектов окружающей среды - проведение по определенным программам наблюдений за изменениями во времени и пространстве в природных средах и экосистемах, антропогенным воздействием на них, оценка их состояния и прогноз изменения; информационное обеспечение управления качеством окружающей среды, ведение государственного фонда данных о состоянии окружающей среды; участие в оперативном выявлении фактов и причин экстремально-высокого (в том числе аварийного) загрязнения окружающей среды: контроль за перемещением зон загрязнения и изменением в них концентраций загрязняющих веществ; оперативное прогнозирование перемещения зон экстремально-высокого загрязнения; экстренное уведомление Администрации края, органов управления, природоохранных организаций о фактах экстремально-высокого (в том числе аварийного) загрязнения окружающей среды; организационно-методическое руководство сетевыми организациями Приморского УГМС, выполняющими работы по мониторингу загрязнения окружающей среды на территории деятельности управления; организация разработки и внедрение в практику специализированных форм обслуживания информацией о состоянии и загрязнении окружающей среды на договорной основе по заказам потребителей, с учетом специфики региональных потребностей органов власти и управления; и выполнение работ по отбору проб и количественному химическому анализу объектов в соответствии с областью аккредитации на договорной основе по заказам потребителей. Примгидромет располагает пунктами Государственной наблюдательной сети Приморского УГМС, на которых в течение года

проводятся следующие виды наблюдений: ежедневный отбор проб радиоактивных аэрозолей (1 пост); ежедневный отбор проб атмосферных выпадений (2 поста) и измерение мощности экспозиционной дозы (МЭД)  $\gamma$ -излучения на местности в 30 пунктах. При этом, на 20 станциях МЭД измеряется с помощью автоматических датчиков, входящих в состав автоматических метеорологических комплексов, на 10 станциях измерения проводились с помощью дозиметров различной модификации; отбор проб поверхностных вод (1 пост).

Территориальный отдел межрегионального управления № 99 ФМБА РФ, обеспечивает радиационную безопасность по территориям ЗАТО Приморского и Камчатского Края гг. Большой Камень, Фокино и Вилучинск. Упомянутый отдел активно взаимодействует с ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА РФ, которые в рамках ФЦП «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011-2015 гг. и на период до 2020 г.» выполнили комплекс исследований по изучению радиоактивного, химического загрязнения объектов окружающей среды, оценке состояния природной среды в районе расположения предприятия ДВЦ «ДальРАО» (пункт временного хранения бух. Сысоева) методами биологического мониторинга.

Управление Роспотребнадзора по Приморскому Краю, который осуществляет надзор за обеспечением радиационной безопасности населения при облучении природными источниками ионизирующего излучения в коммунальных и производственных условиях. Для предотвращения использования на объектах социальной инфраструктуры строительных материалов, не соответствующих установленным санитарно-эпидемиологическим требованиям, в планы надзорных мероприятий включаются исследования мощности дозы и ЭРОА радона и торона в производственных зданиях, а также исследования строительных материалов по радиологическим показателям.

Дальневосточный региональный центр по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ДВРЦ МЧС России) и МЧС России по Приморскому краю, обладающего 30 пунктов автоматизированных постов контроля радиационной обстановки (АСКРО).

Итого, по данным, полученным в Администрации, всего на территории Приморского Края радиационный контроль ведётся силами 66 стационарных постов: от Примгидромета – 33 поста; от ГК «Росатом» – 3 поста; от МЧС России – 30 постов АСКРО (отображаются на аппаратном-комплексе ЦУКС в ОДС), а также 2 передвижных радиационных лабораторий. Ежедневный мониторинг радиационной обстановки по всей территории ДФО ведётся силами 264 стационарных постов: от Росгидромета (186 постов), из которых 18 автоматизированные ПРК; от ГК «Росатом» (4 поста); и от МЧС РФ (74 поста, из которых 14 в ОДС, и 60 – автоматизированных постов радиационного контроля автоматической системы контроля радиационной обстановки АСКРО). Вся информация в суммарном виде на период календарного года представляются в Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Приморского края при Администрации Приморского края для формирования годичного отчета радиоэкологической обстановки территории, который представляется ежегодно на сайте ([www.primorsky.ru](http://www.primorsky.ru)).

Исследование радиационной обстановки в 2014-2015 гг. на радиоактивном следе, образовавшемся в 1985 г. в результате аварии с АПЛ, показало следующее: площадь следа с достоверным превышением фоновых значений по мощности дозы гамма излучения, характерных для данной местности, составляет 0,31 км<sup>2</sup>. На локальных участках, площадью несколько десятков квадратных метров, мощность дозы гамма-излучения превышает 0,3 мкЗв/ч, достигая максимальных значений 0,55 мкЗв/ч. В соответствии с российскими нормативными документами почва по содержанию радионуклидов не относится к радиоактивным отходам [1,3].

Радиоактивность морской воды, донных отложений, фауны и флоры зал. Петра Великого зависит от содержания в них природных и искусственных радионуклидов, поступающих в виде глобальных выпадений и образующихся в результате эксплуатации



атомных кораблей флота [2,4]. Природная радиоактивность морской воды на 98-99 % определяется излучением  $^{40}\text{K}$ , а так как соединения калия вместе с другими элементами обуславливают соленость морской воды, степень ее выраженности тесно связана с уровнем природного радиационного фона. Принято считать, что изменение солености на 1% приводит к изменению радиоактивности морской воды по  $^{40}\text{K}$  на  $370 \text{ Бк/м}^3$ . Вариации солености морской воды в течение года на акватории зал. Петра Великого могут составлять 10-20 %. Соответственно в таких же пределах изменяется и природная радиоактивность морской воды. Весной и осенью в вершине Амурского залива соленость составляет 28‰, в Уссурийском - 32,5‰, летом - 20 и 26 ‰, соответственно. В открытых районах зал. Петра Великого на поверхности соленость в течение всего года находится в пределах 32-33‰. Зимой соленость достигает максимума и составляет 32-34 ‰. Формирование природного поля радиоактивности в акватории зал. Петра Великого происходит также в результате выноса реками большого количества пресной воды, которая хотя и снижает содержание радиоактивности морской воды по  $^{40}\text{K}$ , но одновременно за счет привнесения почвы увеличивает концентрацию природных радионуклидов ураново-ториевого типа. Они поступают не только с речной водой, но и воздушным путем в виде пыли. В результате опресняющего влияния р. Раздольная и Шкотовка радиоактивность поверхностного слоя морской воды в Амурском и Уссурийском зал. на 5-10 % ниже, чем в открытой части зал. Петра Великого. В нижележащих слоях (5-7 м от поверхности) за счет выноса почвы она увеличивается на 3-5 %. В период интенсивных атмосферных выпадений эта величина достигает 10-15 %. Постоянные пылевые выносы в прибрежной полосе (10-15 км) залива повышают на 5-10 % радиоактивность морской воды по сравнению с открытыми районами Японского моря, а во время активной циклонической деятельности приводят к образованию аномальных зон и на большем удалении от побережья. При этом мощность МЭД на морской акватории всегда меньше, чем на берегу, и составляет 0,04-0,06 мкГр/ч (4-6 мкР/ч). Вследствие глобальных выпадений в донных отложениях зал. Петра Великого обнаруживаются долгоживущие радионуклиды:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239,240}\text{Pu}$ . Их концентрации по мере удаления от береговой черты линейно уменьшаются с увеличением глубины моря. При переходе от 30 до 3300 м содержание  $^{137}\text{Cs}$  снижается с 4-5 до 0,3-0,8 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  с 1,4-1,8 до 0,1-0,3 Бк/кг,  $^{239,240}\text{Pu}$  с 1,0-1,2 до 0,03-0,06 Бк/кг. Распределение этих радионуклидов по акватории зал. Петра Великого столь же неравномерно, как и по глубине. Наибольшие концентрации, к примеру  $^{137}\text{Cs}$  (8-11 Бк/кг), отмечаются в вершинах заливов, наименьшие - на открытых акваториях. По мере удаления от материковой части побережья в направлении с запада на восток его содержание понижается в 2-3 раза. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  в различных слоях отложений в Амурском зал. практически одинаково до глубины 15 см. Это свидетельствует о том, что поступление радиоактивных веществ происходит непрерывно в течение длительного времени. В морской воде зал. Петра Великого содержание искусственных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  находится в пределах 1,7-5,7 Бк/м<sup>3</sup>. В среднем по заливу отношение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  к  $^{90}\text{Sr}$  составляет  $1,54 \pm 0,3$ , что хорошо согласуется с отношением этих изотопов при загрязнении морей продуктами глобальных выпадений.

Результаты независимых исследований позволяют сделать заключение, что сброс радиоактивных отходов ТОФ в северо-западную часть Японского моря не привел к глобальному и региональному загрязнению этих районов и не оказывает заметного влияния на изменение радиоэкологической обстановки в зал. Петра Великого. Не изменилась радиоэкологическая обстановка и в результате длительной эксплуатации кораблей ТОФ, оснащенных атомными энергетическими установками. Радиоактивность объектов внешней среды залива на 98-99 % определяется излучением природных радионуклидов, продуктами глобальных выпадений и не более 1-2 % приходится на искусственные радионуклиды, образовавшиеся в результате эксплуатации атомных кораблей флота. В результате в 2017 г. на территории г. Владивостока МЭД в течение года находилась в пределах 0,12-0,14 мкЗв/час. Среднегодовая концентрация  $\Sigma\beta$  - активности в приземном слое атмосферы составила  $4 \cdot 10^{-4}$  Бк/м<sup>3</sup>. Максимальная концентрация составила  $2 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup>. Из радионуклидов техногенного

происхождения в пробах атмосферных аэрозолей присутствовал  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . В течение 2016 г среднегодовая концентрация  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  составила  $2 \cdot 10^{-7}$  Бк/м<sup>2</sup>, соответственно. Объемная активность техногенных радионуклидов, выявленных на территории края в 2017 г. в пробах атмосферных аэрозолей, не превышала допустимую норму для населения, НРБ-99/2009.

#### Библиографический список

1. Ахромеев С.В. Радиоэкологический мониторинг в районе расположения объектов ядерного наследия в Дальневосточном регионе России // Седьмая Российская молодежная школа по радиохимии и ядерным технологиям: Тезисы докладов. Озерск, 12-16 сентября 2016 г. – Озерск: РИЦ ВРБ ФГУП «ПО «Маяк», 2016. – С. 22
2. Исаев Д.В., Титов А.В., Киселев С.М., Шлыгин В.В., Новикова Н.Я., Старинская Р.А. Радиационная обстановка на территории радиоактивного следа, образовавшегося после аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма // Седьмая Российская молодежная школа по радиохимии и ядерным технологиям: Тезисы докладов. Озерск, 12-16 сентября 2016 г. – Озерск: РИЦ ВРБ ФГУП «ПО «Маяк», 2016. – С. 48
3. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л. и др. Техногенные радионуклиды в морях омывающих Россию. М.: ИздАТ, 2005. – 624 с.
4. Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В. Анализ точности определения концентрации долгоживущих радионуклидов в морской среде. // Атомная энергия -1997.- Т. 83, № 4 - С.276-290.

# МЕХАНИКА, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.923.9

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ЦИКЛОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Акинцева А. В.

*Южно-Уральский государственный университет  
г. Челябинск*

akintseva\_av@mail.ru

Раскрыта проблема проектирования оптимальных циклов механической обработки в условиях современного автоматизированного производства. Рассмотрены основные аспекты применения метода динамического программирования для оптимизации по быстродействию циклов шлифования в условиях современного автоматизированного производства.

*Ключевые слова:* метод динамического программирования, цикл, режимы резания, внутренне и наружное шлифование

## THE APPLICATION OF THE DYNAMIC PROGRAMMING METHOD FOR DESIGNING OPTIMAL CYCLES OF MACHINING OPERATIONS IN THE CONDITIONS OF MODERN AUTOMATED PRODUCTION

Akintseva A. V.

*South Ural State University, Chelyabinsk*

The problem of design of optimal cycles of machining in the conditions of the modern automated production is revealed. The main aspects of application of a method of dynamic programming for optimization on speed of cycles of grinding in the conditions of the modern automated production are considered.

*Keywords:* dynamic programming method, cycle, cutting modes, internal grinding, external grinding

Появление современных станков с ЧПУ, проводящих обработку на повышенных режимах резания и по заданным циклам, выявило проблему отсутствия систем автоматизированного проектирования, позволяющих проектировать оптимальные по производительности циклы. Основой системы автоматизированного проектирования чаще всего является нормативно-справочная литература, разработанная на основе накопленных статических данных и для менее мощных универсальных станков. Полученные в результате использования систем автоматизированного проектирования циклы являются стартовыми и требуют адаптации к реальным условиям производства, что ведет к дополнительным затратам по времени и производственным ресурсам. При этом мощности станков с ЧПУ нового поколения используются не полностью, и зачастую производительность универсальных станков оказывается выше, чем у станков с ЧПУ.

Отметим, что вопросам теории проектирования оптимальных циклов обработки для станков с ЧПУ уделяется недостаточное внимание. Подавляющее число исследователей

изучают частные стороны проблемы проектирования оптимальных управляющих траекторий. Наибольшее внимание уделено моделированию силы резания и моделированию технологических ограничений (по точности, шероховатости, дефектному слою, износу и стойкости инструмента), влияющих на производительность операций. Итогом таких исследований являются частные рекомендации по режимам резания для лимитированного числа ограничений в узком диапазоне их варьирования [1-2].

Решением выше описанной проблемы является разработка методики проектирования оптимальных по производительности циклов шлифования. А также создание с помощью данной методологии нормативной справочной базы и программного обеспечения.

Из-за наличия упругих перемещений в технологической системе и инерционности перемещающихся масс фактическая радиальная подача не равна программному значению. При ступенчатом переключении программной подачи фактическая радиальная подача асимптотически приближается к программной подаче по экспоненциальному закону. На протяжении всего цикла текущее значение фактической радиальной подачи ограничивается комплексом технологических ограничений, включающим в себя такие основные ограничения, как требуемая точность получаемого размера, шероховатость, микротвердость поверхности, стойкость режущего инструмента, мощность привода станка и др. Для обеспечения максимальной производительности операции необходимо стремиться к тому, чтобы текущее значение фактической радиальной подачи на протяжении всего пути снятия припуска максимально приближалась к области ограничений. В результате величина фактически снятого припуска будет максимально допустимой тем или иным ограничением, а цикл производительней. Управление траекторией фактически снятого припуска осуществляется путем ступенчатого изменения программной подачи.

Нахождение оптимальной траектории изменения программной радиальной подачи, обеспечивающих выполнение требований чертежа по точности и качеству, является сложной научно-технической задачей, решение которой представляется возможным с помощью методов теории оптимального управления. Анализ методов теории оптимального управления показал, что задачу отыскания детерминированных параметров управления циклов при нестабильных условиях обработки и целом ряде других технологических ограничений, можно решить методом динамического программирования (МДП) [3]. МДП относится к методам нелинейного программирования и не зависит от дифференцируемости целевой функции и ее ограничений. С целью повышения производительности операций в качестве целевой функции минимальное время обработки, т.к. из-за наличия упругих деформаций фактическая радиальная подача в значительной мере отличается от программной, а значит и время обработки для нескольких допустимых вариантов сочетаний параметров управления может существенно отличаться.

Рассмотрим применение МДП для оптимизации цикла управления одним параметром – радиальной подачей на примере внутреннего шлифования (рисунок 1). По аналогии с классической транспортной задачей, описывающей применение МДП для нахождения кратчайшего расстояния между начальной станцией А и конечной станцией В [3], найдем оптимальную траекторию изменения радиальной подачи в зависимости от оставшейся части припуска. Только в нашем случае начальной станцией А будет является исходное состояние технологического процесса (параметры заготовки, оборудования, останки, инструмента и др.), а конечной станцией В будет является готовая деталь, удовлетворяющая требованиям чертежу по точности и качеству. В классической транспортной задачи между начальной и конечной станциями хаотично расположены промежуточные станции. В нашей задаче это будут информационные клетки, но в отличие от транспортной задачи информационные клетки расположим упорядоченно в зависимости от радиальной подачи и припуска.

МДП относится к методам дискретной оптимизации. Поэтому вертикальную ось радиальной подачи разобьем на  $m$  частей с максимальным возможным значением  $M$ . Аналогично поступим с горизонтальной осью припуска, разбив ее на  $n$  частей, где  $N$  является

максимально возможным количество дискрет припуска. Недостатком метода динамического программирования является то, что в силу необходимости применения дискретных значений управляющих параметров глобальный минимум целевой функции находится с определенной погрешностью, зависящей от величины их дискретности. Поэтому чем больше дискрет выделим, тем более точные будут расчеты, но с увеличением количества рассматриваемых информационных клеток увеличивается и время расчетов.

Промежуточные станции между собой соединяют дороги, а информационные клетки – возможные варианты переключения (изменения) радиальной подачи (назовем их конкурирующими ходами). Отметим, что с целью сделать рисунок 1 более понятным количество конкурирующих ходов сокращаем из условия, что возможны ходы только на понижения уровня программной подачи (уровня  $M$ ). В транспортной задаче заранее известны время прохождения дороги (назовем время хода и обозначим  $\tau$ ) и ее доступность, т.е. возможно ли проехать по данной дороге. В нашей задаче в отличие от транспортной задачи данные параметры необходимо определить. Это можно сделать путем моделирования процесса съема металла в случае внутреннего и наружного шлифования на протяжении всей длины заготовки, т.к. обработка входного и выходного сечений в отличие от среднего сечения имеет ряд существенных особенностей: наличие зоны реверса и перебега круга, многоэтапность процесса и др. [4-5]. Модель съема металла учитывает кинематику и особенности обработки рассматриваемого вида шлифования и позволяет рассчитывать фактическую радиальную подачу, силы резания, текущие значения радиусов, значение накопленного припуска и др. В результате становится возможным наложения ограничения не только диаметральных размеров, но отклонения формы и расположения поверхностей. Более подробно с моделью съема металла для процесса внутреннего шлифования можно ознакомиться в следующих статьях [4-5].

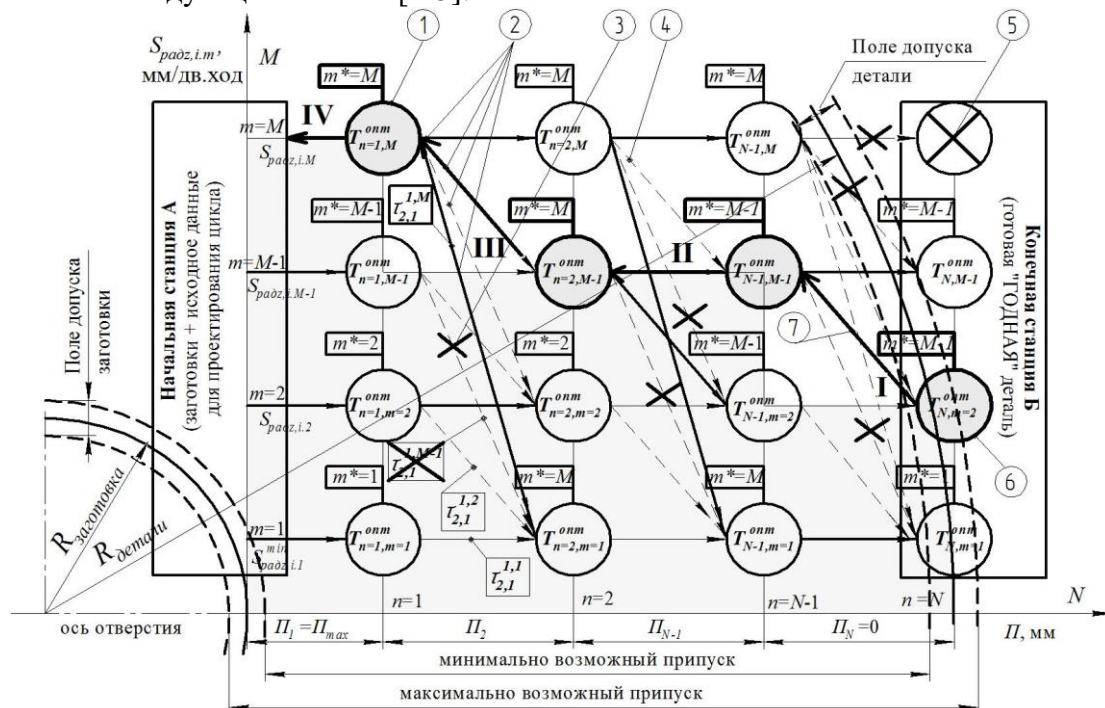


Рисунок 1 – Применение МДП для оптимизации цикла управления радиальной подачи в зависимости от оставшейся части припуска на примере внутреннего шлифования:

- 1 – промежуточные станции (информационная клетка);
- 2 – дороги между станциями (возможные варианты переключения радиальной подачи внутри цикла);
- 3 – «непроходная» дорога между станциями (недопустимый по каким-либо ограничениям вариант переключения радиальной подачи);
- 4 – оптимальная дорога (оптимальный вариант переключения радиальной подачи);
- 5 – недопустимые станции;
- 6 – победитель на  $n$ -ом уровне;
- 7 – процедура обратного хода;



Согласно принципу оптимальности, из конкурирующих ходов необходимо выбрать оптимальный ход, имеющего минимальное время достижения состояния. Конкурирующий ход участвует в выборе оптимального хода, если в достигнутом состоянии выполняются все ограничения целевой функции, т.е. ход является допустимым. Определение допустимости хода в случае переключения радиальной подачи осуществляется по средствам наложения двух групп ограничений, действующих в начале цикла (по осыпаемости круга, мощности привода, допустимости диапазона подач и т.д.) и на протяжении всего цикла (точность, неприжоговость, шероховатость обрабатываемой поверхности). После моделирование съема металла для рассматриваемой информационной клетки с координатами  $[m, n]$  производится аналогичное моделирование съема оставшейся части припуска на минимально допустимой по станку радиальной подачи – координаты  $[m_{\max}, n_{\min}]$ . После того как для информационной клетки из ряда конкурирующих ходов определяется оптимальный, в нее записывается и сохраняется координата «от куда был сделан оптимальный ход» –  $m^*$ .

С целью повышения устойчивости показателей точности и качества обработанной поверхности к воздействию переменных технологических факторов проверку ограничений целевой функции МДП позволяет производить по двум группам предельных сочетаний значений технологических условий обработки. Наложение ограничений целевой функции для каждого конкурирующего хода производится в двух вариантах с использованием как величин благоприятных (минимальные значения степени затупления круга, исходного радиального биения заготовки, припуска, максимальный диаметра круга), так и неблагоприятных факторов (максимальная степень затупления круга, минимальные значения исходного радиального биения заготовки, припуска, диаметра круга).

После того как на последней дискреты припуска выбирается информационная клетка, имеющая оптимальное (минимальное) время обработки, процедурой обратного хода по координатам  $m^*$  восстанавливается оптимальная траектория изменения радиальной подачи в зависимости от оставшейся части припуска. В результате оптимизации можно получить оптимальный «бесступенчатый цикл» (условное название), который в силу дискретности МДП будет иметь множество мелких ступеней. В данном случае количество ступеней ограничено только числом узлов координатной сетки, на которых возможно переключение. Поэтому с целью получения траектории оптимального цикла с заданным количеством ступеней необходимо ввести ограничение целевой функции по количеству допустимых ступеней цикла, т.е. по количеству допустимых переключений, осуществляемых прибором активного контроля. В этом случае состояние процесса будем определять не только координатами  $[n, m]$ , но и дополнительной координатой  $z$  – номером ступени цикла (по-прежнему для удобства понимания рассматриваем на примере оптимизации одного управляющего параметра – радиальной подачи). Более подробно с методикой проектирования оптимальных циклов на примере внутреннего шлифования можно ознакомиться в статье [6-7].

Выводы: применение МДП для оптимизации циклов шлифования позволяет с математической точностью рассчитывать оптимальные значения режимов резания (например, радиальной подачи) в зависимости от величины снимаемого припуска, а также осуществляет оптимальное распределение снимаемого припуска по ступеням цикла, при которых обеспечивается минимальное время цикла с учетом заданных технологических ограничений целевой функции и переменных технологических условий.

#### Библиографический список

1. Переверзев П.П., Акинцева А.В. Теория проектирования оптимальных циклов для металлорежущих станков с ЧПУ – 1 часть // СТИН. – №1, 2017. – С. 11-18.
2. Переверзев П.П., Акинцева А.В. Теория проектирования оптимальных циклов для металлорежущих станков с ЧПУ – 2 часть // СТИН. – №2, 2017. – С. 13-18.
3. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: издательство иностранной литературы, 1960. – 400 с.

4. Переверзев П.П., Акинцева А.В. Моделирование процесса съема металла при внутреннем шлифовании с учетом особенностей кинематики резания // СТИН. – 2016. – № 4. – С. 23–27.
5. Pereverzev P.P., Akintseva A.V. Modeling of metal removal during an internal grinding in view of kinematics cutting features // Russian Engineering Research. – vol. 36 (no. 10), 2016. – P. 888–893.
6. Переверзев П.П., Акинцева А.В. Методика проектирования оптимальных циклов внутреннего шлифования в многомерном пространстве управляющих параметров // СТИН. – 2016. – № 5. – С. 26–31.
7. Pereverzev P.P., Akintseva A.V. Automatic cycles' multiparametric optimization of internal grinding // Procedia Engineering. – Vol. 129, 2015. – P. 121–126.

**УДК 621.5**

## **ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

Ахлюстина В. В., Логунова Э. Р.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ*

*г. Озёрск, Челябинская область*

ahlustina@mail.ru, elv7863@mail.ru

В статье рассмотрен вопрос о проблемах, возникающих при обработке заготовок из титановых сплавов и способах их предотвращения.

*Ключевые слова:* титан, обработка, резание.

## **TREATMENT OF TITANIUM ALLOYS BLANKS**

Akhlyustina V. V., Logunova E. R.

*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

The article deals with the problems arising during the processing of blanks from titanium alloys and methods for their prevention.

*Keywords:* titanium, machining, cutting.

Изготовление деталей из титана приобрело широкое распространение в настоящее время в разных отраслях промышленности. Титан – тугоплавкий металл с невысокой плотностью. Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей, поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40%. Для получения сплавов с улучшенными свойствами его легируют алюминием, хромом, молибденом.

Важнейшее преимущество титана и титановых сплавов перед другими конструкционными материалами – это высокая удельная прочность, жаропрочность при температурах эксплуатации до 500–600 °С в сочетании с хорошей коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, немагнитность, практическое отсутствие хладноломкости. Кроме того, титан и его сплавы, несмотря на плохую обрабатываемость резанием, хорошо свариваются, обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии, термически упрочняются, что имеет важное значение для их применения в ряде отраслей техники: в авиа-, ракетно- и судостроении, в медицине.

Пониженная пластичность приводит к тому, что при обработке титановых сплавов сила  $P_Z$  примерно на 20 % ниже, чем при обработке сталей, а силы  $P_y$  и  $P_x$  – выше. Это различие указывает на характерную особенность титановых сплавов — силы резания на задней поверхности при их обработке относительно больше, чем при обработке сталей.

Высокая активность титана по отношению к кислороду и азоту воздуха в 2-3 раза снижает площадь контакта стружки с передней поверхностью инструмента, что не наблюдается при обработке конструкционных сталей. Вместе с тем окисление контактного слоя стружки повышает ее твердость, увеличивает контактные напряжения и температуру резания, а также повышает интенсивность изнашивания инструмента.

Титановые сплавы имеют чрезвычайно плохую теплопроводность, более низкую, чем у жаропрочных сталей и сплавов. Как следствие, при резании возникает температура, более чем в 2 раза превышающая уровень температур при обработке стали 45. Высокая температура в зоне резания вызывает интенсивное наростообразование, схватывание обрабатываемого материала с материалом инструмента и появление задиrow на обработанной поверхности.

Эффекты налипания и задиrow титана обусловлены его высоким коэффициентом трения. Способами, которые устраняют этот негативный эффект, выступают азотирование и оксидирование титана.

При азотировании и оксидировании титана на поверхностях изделия образуется пленка из нитрида титана, обладающая большей твердостью, а также большим сопротивлением к стиранию и общая прочность изделия возрастает в 15-100 раз.

Вследствие содержания в титановых сплавах нитридов и карбидов материал режущего инструмента в сильной степени подвержен абразивному воздействию. При повышении температуры титановые сплавы сильнее снижают свою прочность, чем нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы.

Обработка резанием по корке многих кованных, прессованных или литых заготовок из титановых сплавов затруднена дополнительным абразивным воздействием на режущие кромки инструмента неметаллических включений, оксидов, сульфидов, силикатов и многочисленных пор, образующихся в поверхностном слое.

Неоднородность структуры снижает виброустойчивость процесса обработки титановых сплавов. Эти обстоятельства, а также концентрация значительного количества теплоты в пределах небольшой площадки контакта на передней поверхности приводят к преобладанию хрупкого изнашивания с периодическим скалыванием по передней и задней поверхностям и выкрашиванию режущей кромки.

При высоких скоростях резания интенсифицируется тепловое изнашивание, на передней поверхности резца развивается лунка, но лимитирующим является износ его задней поверхности.

Уровень скорости резания  $V_T$  при обработке титановых сплавов в 2,5-5 раз ниже, чем при обработке стали 45.

Из-за низкой теплопроводности при обработке титана и его сплавов также необходимо использовать режущие инструменты с высокой красностойкостью, способные выдерживать экстремально высокие температуры. Даже при использовании соответствующего оборудования скорость обработки должна быть в 3-4 раза ниже, чем скорость обработки стали (особенно важно соблюдать это требование при использовании высокотехнологичных станков с ЧПУ).

Первостепенное значение при обработке титана приобретает снижение уровня вибрации – главной причины быстрого износа оборудования. В ходе обработки деталь из титана должна быть надежно зафиксирована на станке. Наиболее оптимальным выбором для работы с титаном и сплавами являются станки, имеющие шпиндель с конусом ISO 50 с укороченным вылетом.

Резание рекомендуется производить инструментом с твердосплавными пластинками из сплавов типа ВК3, ВК4, ВК8. Из-за химической активности титановых сплавов для их обработки не используют титаносодержащие твердые сплавы марок Т5К10, Т15К6 и т. д.

В настоящее время наиболее широко на практике используется сплав ВК8, так как сплавы ВК3 и ВК4 при выкрашивании не улавливаются магнитными сепараторами. В тоже время известно, что непрерывное чистовое точение лучше вести сплавом ВК3, у которого на этих операциях стойкость в два раза выше, чем у ВК8. Хорошо зарекомендовавшим себя материалом режущей кромки являются твердые мелкозернистые сплавы и режущие инструменты с покрытием PVD.

Общие режимы резания определяются свойствами титана. При обработке титана наблюдается значительно меньше площадь контакта между стружкой и инструментом, чем при обработке сталей. В результате контактное давление увеличивается, и теплота трения скольжения стружки по резцу концентрируется на меньшей площади. Поскольку титан имеет очень низкую теплопроводность, это приводит к чрезвычайно высоким температурам инструмента, особенно в области контакта со стружкой. Если при резании стали в контактной области температура достигает 300–350 °С, то при резании титановых сплавов в тех же условиях температура превышает 1100–1200 °С. С повышением скорости резания температура в контактной области может повыситься еще выше. Это приводит к перегреву стружки, ее сильному окислению, иногда воспламенению. Поэтому для титана используют относительно невысокие скорости резания от 5 до 80 м/мин.

Радикальным средством является небольшое повышение температуры металла до 300–400 °С. При этом у большинства титановых сплавов сопротивление сдвигу снижается почти в 2 раза при незначительном окислении, вязкость становится несколько ниже, чем при комнатной температуре, и сопротивление резанию резко уменьшается, что позволяет повысить скорость резания в несколько раз. Нагрев поверхности металла на глубину, необходимую для резания, осуществляется от индуктора, перемещающегося впереди резца.

Применение подогрева зоны резания ограничено условием получения неокисленной стружки, которая возвращается в шихту для выплавки слитков. Такая стружка загрязняет выплавляемый металл кислородом и существенно влияет на его свойства, снижая пластичность.

Другой путь снижения температуры в очаге резания – интенсификация отвода тепла или охлаждение резца. В качестве смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) используют сульфуризованные и растворимые масла, уголекислоту (сухой лед), а также аэрозоли воды и масел, имеющих высокую охлаждающую способность.

Однако загрязнение стружки охлаждающими составами ограничивает ее применение в качестве шихты или вызывает необходимость использования травления или обезжиривания. Поэтому часто при резании используют охлаждение воздухом или аэрозолями воды.

При обработке титановых сплавов особое внимание необходимо уделять вопросам техники безопасности, так как образование тонкой стружки и тем более пыли может привести к ее самовоспламенению и интенсивному горению. Кроме того, пылеобразная стружка вредна для здоровья, поэтому не допускается работа с подачами менее 0,08 мм/об, использование затупленного инструмента с износом более 0,8...1,0 мм и со скоростями резания более 100 м/мин, а также скопление стружки в большом объеме (исключение делается для сплава ВТ1, обработка которого разрешается при скоростях резания до 150 м/мин).

Инструмент с небольшим отрицательным передним углом может вести обработку при более высоких подачах, которые могут достигать 0,5 мм на зуб. В этом случае очень важна жесткость станка и надежность закрепления заготовки.

Геометрические параметры резцов с пластинками из твердого сплава ВК8, рекомендованные для черновой обработки по корке: передний угол  $\gamma = 0^\circ$ , задний угол  $\alpha = 12^\circ$ , главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 = 14^\circ$ . Режимы: скорость резания  $v = 25\text{--}35$  м/мин, подача  $S = 0,5\text{--}0,8$  мм/об, глубина резания  $t$  не менее 2 мм.

Если инструмент и режимы резания выбраны правильно, а также при хорошей жесткости станка и надежности закрепления заготовки, процесс обработки титана будет высокоэффективным.

#### Библиографический список

1. Илларионов А. Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие / А. Г. Илларионов, А. А. Попов. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. – 137

**УДК 62-253**

### **ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ НА ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ**

Бельшева К. С.

*Трёхгорный технологический институт НИЯУ МИФИ  
г. Трёхгорный, Челябинская область*

В данной статье рассматриваются возможности замены металлических деталей на полиуретановые. Для этого был проведён сравнительный анализ физико-химических свойств полиуретана с другими материалами. В результате были выявлены очевидные преимущества использования полиуретановых деталей, несмотря на необходимость приобретения специального оборудования. В работе приведены экономические расчеты, которые позволяют считать это конструкторское решение обоснованным.

*Ключевые слова:* полиуретан, насосное оборудование, изготовление деталей, экономическая эффективность.

### **THE POSSIBILITY OF REPLACING METAL PARTS WITH POLYURETHANE ONES**

Belysheva K. S.

*TTI NRNU MEPhI, Trekhgorny*

In this article we discuss the possibility of replacing metal parts with polyurethane ones. For this, a comparative analysis of the physicochemical properties of polyurethane with other materials was carried out. As a result, the obvious advantages of using polyurethane parts were revealed, despite the necessity of special equipment. In this paper, the calculations which make it possible to consider this design decision justified are given.

*Key words:* polyurethane, pumping equipment, manufacturing of parts, economic efficiency.

Полиуретан – полимер, который обладает свойствами, позволяющими зачастую использовать его при изготовлении деталей, в том числе и для экстремальных условий эксплуатации.

Полиуретан имеет важные для машиностроения физико-химические качества:

Высокая степень абразивной устойчивости. Такой уровень способствует широкому применению полиуретана в машиностроении. Детали из этого полимера в несколько раз долговечнее, чем пластические и резинотехнические элементы. В зависимости от назначения деталей в машинах – даже цветных и чёрных металлов. К одним из основных составляющих



успеха полиуретана относят небольшую материалоемкость, дешёвый ремонт и обслуживание, что обеспечивает его экономическую эффективность.

Полиуретан является жёстким, абразивно-стойким эластомером, если добавить определённые компоненты. Этот полимер не будет хрупким, даже при высокой твёрдости.

Повышенная степень разрывоустойчивости. Помимо этого отмечают, что полиуретан устойчив к усталостным типам износа, порезам, царапинам.

Большой диапазон температур при эксплуатации деталей из полиуретана (от  $-40$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ ). Опытным путём была доказана устойчивость полиуретановых деталей при кратковременном воздействии до  $+100^{\circ}\text{C}$ . Полиуретан не утрачивает своей гибкости под действием низких температур, переносит тепловой удар.

Повышенная вероятность удлинений (до 350%). Это очень важное качество деталей машин.

Полиуретан имеет высокую степень адгезии с армирующими материалами, что позволяет упрочнять детали и повышает возможности их использования.

Полиуретановые детали имеют высокий уровень устойчивости к химическим соединениям (масло, нефтепродукты, растворители различных типов).

Некоторые виды полиуретана имеют электроизоляционные свойства.

При использовании этих свойств возможно смоделировать данный полимер для решения конструкторских или технологических задач на большинстве машиностроительных предприятиях России.

Для экспериментальной площадки использования этого полимера выбрали предприятие, которое производит насосное оборудование.

Изготовление комплектующих для насосов из полиуретана изучили с конструкторской точки зрения. Эти детали возможно испытать на песковых насосах, в химических насосах перекачиваемая среда слишком агрессивная, и полиуретан может не выдержать. Необходимы дополнительные опыты, которые будут проведены в дальнейшем.

Изготовление полиуретана считается сложным технологическим процессом, поэтому необходимо специальное оборудование.

Средние цены на необходимое техническое оборудование и сроки амортизации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Стоимость оборудования и норма амортизации

Наименование оборудования	Цена с НДС, руб.	Срок амортизации, лет	Сумма амортизации в первый год, руб.
Станок-пресс	22 000,00	5	4 400,00
Фрезеровальный станок	44 000,00	5	8 800,00
Печь на газу	57 000,00	10	5 700,00
Сверлильный станок	25 000,00	5	5 000,00
Устройство для резки	20 000,00	5	4 000,00
Стол для сортировки	12 000,00	5	2 400,00
Набор инструментов	4 000,00	1	4000,00
ИТОГО	184 000,00		34 300,00

Технология изготовления деталей из полиуретана содержит следующие этапы:

- подготовка оснастки под изделие, сбор арматуры;
- растопка форполимера;
- перемешивание и заливка формы;
- термообработка в печи;
- разборка конструкции;
- обработка готового изделия.

При изготовлении деталей из этого полимера для комплектующих насосного оборудования необходимы два компонента: форполимер и отвердитель.

Было принято обоснованное конструкторское решение замены металлических деталей на полимерные у следующих компонентов производимых насосов: колесо рабочее (насос ПРВП 63/22,5), колесо рабочее (насос П12,5/12,5), диск футеровочный (насос П12,5/12,5).

Следовательно, данное конструкторское решение по отношению к вышеназванным деталям машин является примером повышения качества производимых агрегатов при довольно высоком уровне экономической эффективности.

#### Библиографический список

1. Лобанов В.С., Вышегородцева Ю.В. Возможности замены металлических деталей на полиуретановые // Новые задачи технических наук и пути их решения: Сборник статей международной научно-практической конференции, 2016 г. – Пермь, 2016. – С. 99-101.
2. Полиуретан - что это такое? Производство полиуретана, изделия из него. Статья. URL: <http://fb.ru/article/131732/poliuretan---chto-eto-takoe-proizvodstvo-poliuretana-izdeliya-iz-nego>
3. Производство полиуретановых изделий как бизнес. Статья URL: [http://melnicabiz.ru/ideas\\_new2/767\\_business\\_proizvodstvo-poliuretanovyh-izdelij.html](http://melnicabiz.ru/ideas_new2/767_business_proizvodstvo-poliuretanovyh-izdelij.html)

**УДК 621.757**

### **СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И СБОРКЕ**

Глазунов А. С.

*Арзамасский политехнический институт НГТУ  
г. Арзамас*

arz-andreika.glazunov@yandex.ru

Представлены основные способы повышения качества сборочного процесса и производимых комплектующих узлов.

*Ключевые слова:* качество, разрушение, поверхностный слой, ультразвуковые колебания, сборка.

### **METHODS OF HARDENING THE SURFACES OF MACHINE PARTS IN THE PROCESS OF MANUFACTURE AND ASSEMBLY**

Glazunov A. S.

*Arzamas Polytechnic Institute, Arzamas*

The main ways to improve the quality of the assembly process and produced components are presented.

*Keywords:* quality, destruction of the surface layer, ultrasonic vibrations, assembly.

Изготовление комплектующих узлов и их сборка оказывают значительное влияние на эксплуатационные свойства машин и агрегатов. А качество деталей напрямую влияет на долговечность различных изделий машиностроительной отрасли. Необходимо разрабатывать научные основы создания технологических процессов на заданный ресурс в агрегатостроении. На это есть несколько причин:

1. В силовых элементах конструкций, агрегаты которых имеют высокие нагрузки, потеря работоспособности влечёт за собой изнашивание и усталостное разрушение.

2. Чтобы у деталей машин был высокий ресурс, нужны практичные модели долговечности, разрабатываемые с помощью математической статистики, термодинамики, технологической теплофизики и т.д. Для этого существуют методы современного проектирования, статистического анализа и кинетических моделей прочности. Благодаря которым появляются новые возможности для отображения реакции поверхностного слоя деталей на внешнюю среду при производстве и эксплуатации.

3. Для базовых маршрутов изготовления деталей агрегатов нужно больше опыта применения моделей теплофизики. Нужны дополнительные исследования структурных и энергетических характеристик. Необходимо обновить нормативно-технологическую документацию.

4. В условиях динамического механо-термического воздействия взаимосвязь между переменными состояниями моделей усталостного разрушения и образованием качества поверхностного слоя деталей является сложной в связи с различными подходами к определению целевых функций.

Существуют различные методы повышения качества изготавливаемых изделий, чтобы улучшить эксплуатационные свойства объектов машиностроения.

Газотермическое напыление для упрочнения и восстановления деталей машин широко распространено в промышленности. Комбинация напыления и обкатывания повышает качество покрытия. В твёрдых покрытиях при обкатывании в горячем состоянии (в мягких - в холодном состоянии) снижается их пористость, увеличивается прочность на разрыв и уменьшается шероховатость поверхности. Для деталей из сплавов алюминия существует традиционный способ поверхностного упрочнения - твёрдое анодирование и МДО (микродуговое оксидирование). С помощью МДО в различных сферах промышленности создают некоторые покрытия: износостойкие, коррозионностойкие, диэлектрические, теплостойкие и декоративные. Также благодаря замене цветных сплавов, нержавеющей и жаростойких сталей и других дефицитных материалов.

Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии всё чаще используются среди методов поверхностного упрочнения конструкционных материалов. В их числе магнетронная обработка, благодаря которой получают тонкие плёнки (0,2...0,3 мкм) и увеличивают микротвёрдость покрытий. Кроме того, данным методом повышают долговечность деталей машин, эксплуатация которых происходит в галогеносодержащих средах с высокими температурами.

Как говорилось ранее, сам сборочный процесс играет немалую роль в формировании качества изготовления машин и агрегатов. Для увеличения интенсификации традиционных сборочных процессов существует перспективное направление. Его суть заключается в использовании ультразвуковых колебаний в зоне контакта поверхностей деталей. Следовательно, помимо основных движений, предусмотренных технологической схемой сборки, деталям сообщают ультразвуковые колебания определенной частоты.

Особенность ультразвука заключается в том, что возможно получить направленное, хорошо сфокусированное излучение высокой интенсивности. В связи с этим, ультразвук получил широкое применение в различных сферах науки и техники.

Ультразвуковые колебания оказывают положительное влияние на процесс пластической деформации (воздействуют на контактные условия, структуру и свойства деформируемого материала).

Как и нагрев, ультразвуковые колебания влекут за собой снижение статического напряжения текучести. Но чтобы получить одинаковый эффект, при воздействии ультразвуком необходимо значительно меньше энергии. Происходит это в связи с тем, что поглощение ультразвуковой энергии происходит в местах кристаллической решётки,

являющихся носителями механизма пластической деформации (дислокации, границы зёрен и т.д.). А в свободных от дефектов зонах кристаллов поглощения почти не происходит.

Ультразвук в зоне обработки значительно снижает силы резания, что показывает общую закономерность влияния ультразвука на процессы пластического формообразования (уменьшается сопротивление пластической деформации, изменяются условия контактного взаимодействия детали и инструмента).

Исследованиями были показаны следующие положительные результаты применения ультразвука в сборочных процессах:

1. При сборке прессовых соединений, благодаря ультразвуковым колебаниям, увеличивается фактическая площадь контакта сопрягаемых поверхностей. В результате повышается прочность узлов и значительно снижается усилие запрессовки.

2. Ультразвуковые колебания снижают силу трения при сборке резьбовых соединений. В результате уменьшается усилие затяжки и момент, необходимый для отвинчивания.

3. В клёпанных соединениях ультразвук создаёт больше прочности (примерно на 10 %), чем прессовая клёпка. И значительно улучшает эксплуатационные свойства соединений.

Воздействие ультразвука на контактные связи даёт возможность интенсифицировать технологии конверсионных программ (при разборке взрывателей и утилизации боеприпасов). Кроме того, увеличивать точность соединений при сборке (посадка с натягом тонкостенных колец подшипников).

#### Библиографический список

1. Абрамов О.В. Ультразвуковая обработка материалов. - М.: Машиностроение, 2011. - 280 с.
2. Бойко Н.И. Ресурсосберегающие технологии повышения качества поверхностных слоев деталей машин. - М.: Машиностроение, 2006. - 198 с.

#### УДК 54.03

### РАЗРАБОТКА СПОСОБА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВВ-ТТ

Батьков М. Ю., Липенкова Л. И.

*ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»*

*Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ*

*г. Саров*

lipenkova95@yandex.ru

С целью разработки методов неразрушающего контроля для предварительного определения детонационной способности ВВ-ТТ проведено исследование по установлению взаимосвязи между микроструктурой гексогена-ТТ и его детонационной способностью. Показано, что удельная длина границ раздела кристаллов гексогена-ТТ коррелирует с его детонационной способностью и может использоваться для неразрушающего контроля ВВ-ТТ.

*Ключевые слова:* термовакуумная технология, взрывчатое вещество, гексоген, граница раздела, кристалл, электронный микроскоп, детонационная способность, микроструктура

## NONDESTRUCTIVE TESTING AS A METHOD FOR DETERMINATION OF DETONATION PROPERTIES OF THIN-LAYER NANOSTRUCTURED EXPLOSIVES OBTAINED BY THERMAL VACUUM SUBLIMATION

Bat'kov M. Yu., Lipenkova L. I.

*RFNC-VNIIEF, Sarov*

*NRNU MEPhI, Sarov*

The authors conducted research to find methods of nondestructive testing for preliminary determination of detonation of thin-layer nanostructured explosives obtained by thermal vacuum sublimation (TT). It was necessary for detecting the relationship between the microstructure of RDX-TT and its detonation. It is shown that the specific length of RDX-TT crystals correlates with its detonation and can be used for nondestructive testing of thin-layer nanostructured explosives obtained by thermal vacuum sublimation.

**Keywords:** thermal vacuum technology, explosive substance, hexogen, demarcation, crystal, electron microscope, detonation ability, microstructure

Известно, что физико-механические свойства твердых веществ в определенной степени зависят от их микроструктуры. В этом смысле взрывчатые вещества (ВВ) не являются исключением. Хорошо известно, что детонационная способность индивидуальных ВВ сильно зависит от дисперсности частиц – чем меньше частицы ВВ, тем лучше их детонационная способность [1, с.319].

Результаты последних исследований в этом направлении показали, что в зависимости от микроструктуры детонационная способность гексогена, перекристаллизованного по термовакuumной технологии (гексогена-ТТ), и взрывчатых смесей (ВС), на его основе, различаются [2, с.111]. Это обстоятельство показывает, что для обеспечения стабильности и предсказания свойств деталей из ВВ-ТТ необходима разработка способа контроля микроструктуры ВВ-ТТ и установление взаимосвязи между микроструктурой и детонационной способностью ВВ-ТТ.

Анализ доступных методов контроля свойств ВВ показал, что наибольшей перспективой для решения поставленной задачи, в первую очередь, с точки зрения практической реализации, обладает способ подсчета удельной длины границ раздела кристаллов ВВ по снимкам микроструктуры, получаемым с помощью электронного микроскопа.

Целью настоящей работы является разработка способа подсчета удельной длины границ раздела кристаллов гексогена-ТТ и установление количественной взаимосвязи между микроструктурой и детонационной способностью гексогена-ТТ.

Существуют различные способы повышения детонационной способности ВС, один из которых связан с повышением дефектности частиц наполнителя. Наиболее перспективным путем повышения дефектности частиц наполнителя, с точки зрения достижения целевых свойств и разработки промышленной технологии, является термовакuumная перекристаллизация ВВ [3], позволяющая получать ВВ и ВС, на их основе, с высоким уровнем детонационной способности, недостижимым для стандартной технологии растворительной перекристаллизации [4].

Для проведения исследований на термовакuumных установках ВУ-700 и ВУП-4, предназначенных для напыления ВВ-ТТ, были изготовлены образцы гексогена-ТТ по штатной технологии (образец 1), способом направленного напыления (образец 2) и способом суперпозиционного напыления (образец 3).

Микроструктуру изготовленных образцов, не удаляя с подложки, контролировали с помощью растрового электронного микроскопа с возможностью увеличения до 100 000 раз.

На первом шаге обработки фотографии были подвергнуты цветовой коррекции с помощью графического редактора. Целью коррекции было улучшение качества изображений



(экспозиция, контрастность, подбор цветового тона, улучшение четкости и резкости). Корректировка проводилась субъективно.

После корректировки изображение импортировалось в систему трехмерного моделирования Компас-3D, позволяющую рисовать и проводить геометрические измерения объекта.

Обработку изображений в Компас-3D проводили в следующем порядке:

1. выделили область измерений (функции «прямоугольник», «окружность»);
2. измерили площадь выделенной области (функция «площадь»);
3. обвели все видимые границы раздела зерен ВВ (функция «ломанная кривая»);
4. измерили длину кривых (функция «длина кривой»);

На рисунке 1 показан пример выделенных областей с обведенными границами кристаллов.

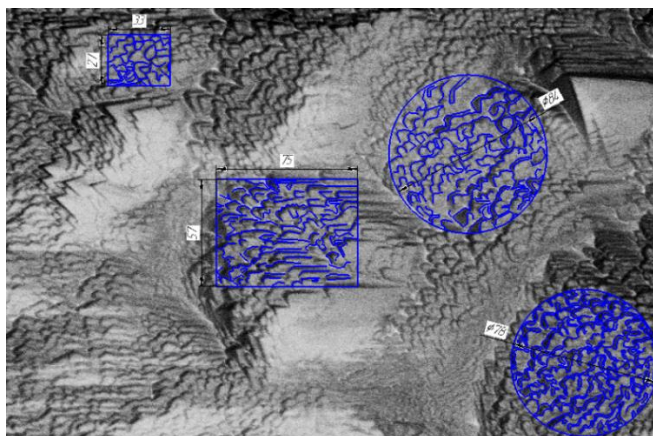


Рисунок 1 – Пример выделенных областей

После проведения измерений, полученные данные о площади выделенной области и длине границ раздела зерен ВВ обработали в программе Microsoft Excel и построили графики зависимости длины границ раздела от площади исследуемой области, из которых видно, что для каждого образца выполняется линейная зависимость. На рисунке 2 показан график для образца №1.

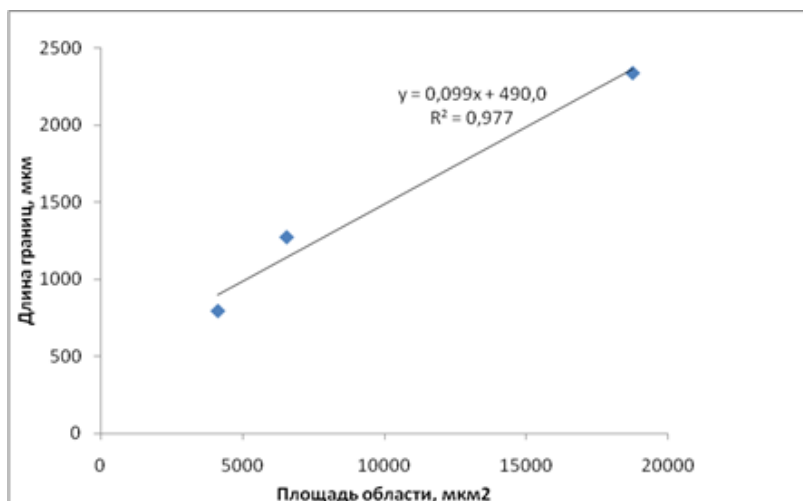


Рисунок 2 – Зависимость длины границ раздела от площади исследуемой области для образца №1.

Для установления взаимосвязи между микроструктурой и детонационной способностью гексогена-ТТ использовали данные о детонационной способности гексогена-ТТ, полученного разными способами напыления, и ВС на их основе [5, с.96]. В таблице 1

показана зависимость детонационной способности гексогена-ТТ от количества границ раздела.

Таблица 1 – Зависимость детонационной способности гексогена-ТТ от количества границ раздела

№ образца	Среднее число границ раздела, мкм/мкм <sup>2</sup>	Критическая толщина детонации гексогена-ТТ, мм	Критическая толщина детонации ВС на гексогене-ТТ, мм
1	0,17	0,3	1,5
2	2,87	0,1	0,27

На рисунке 3 данные таблицы 1 представлены в виде зависимости детонационной способности гексогена-ТТ от количества границ раздела гексогена-ТТ.

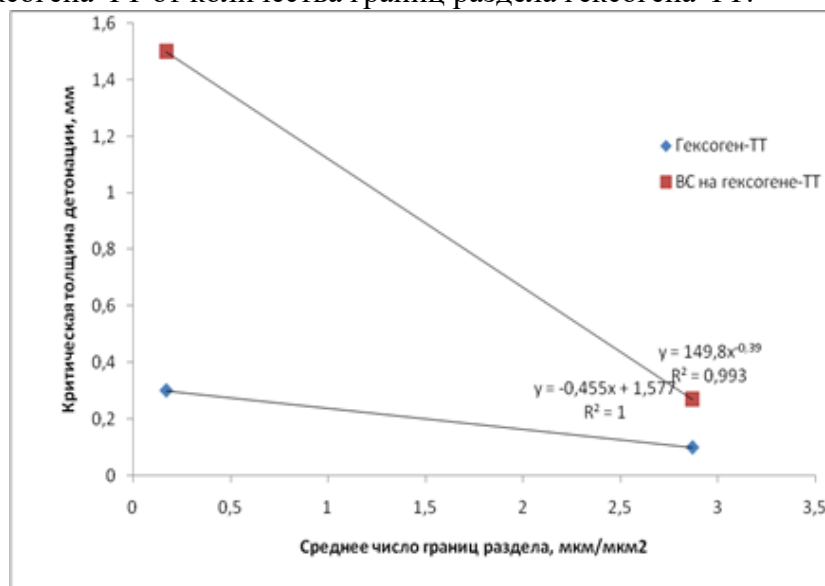


Рисунок 3 – Зависимость детонационной способности гексогена-ТТ от количества границ раздела

Из графика рисунка 3 видно, что с увеличением числа границ раздела критическая толщина гексогена-ТТ и ВС на его основе уменьшается. Полученные данные свидетельствуют о наличии количественной взаимосвязи между микроструктурой ВВ-ТТ и его детонационной способностью. Контроль микроструктуры ВВ-ТТ, по всей видимости, при надлежащем уровне отработки, может использоваться для неразрушающего контроля детонационных свойств ВВ-ТТ.

#### Библиографический список

1. Физика взрыва. Под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е, испр. - В 2 т. Т.1 - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 832 с.
2. Мильченко Д.В., Губачев В.А., Михайлов А.Л., Вахмистров С.А., Титова Н.Н., Халдеев Е.В., Пятойкина А.И., Бурнашов В.А. Термовакuumная сублимация как способ управления структурой и детонационной способностью ВВ. Сборник тезисов докладов. XVII Харитоновские чтения, 2015. – 447 с.
3. Мильченко Д.В., Губачев В.А., Михайлов А.Л., Вахмистров С.А., Титова Н.Н., Пятойкина А.И., Бессонова А.В., Герман В.Н., Андреевских Л.А.. Способ получения тонкослойных зарядов взрывчатых веществ. Патент РФ № 2582705, приоритет от 16.01.2015 г, опубликовано 27.04.2016.
4. Мильченко Д.В., Михайлов А.Л., Вахмистров С.А., Титова Н.Н., Пятойкина А.И., Бессонова А.В., Журавлев С.С.. Способ получения смешанного пластичного взрывчатого вещества. Патент РФ № 2616729, приоритет от 28.01.2016 г, опубликовано 18.04.2017.
5. Мильченко Д. В., Губачев В. А., Андреевских Л. А, Вахмистров С. А., Михайлов А. Л., Бурнашов В. А., Халдеев Е. В., Пятойкина А. И., Журавлев С. С., Герман В. Н. Наноструктурированные ВВ, получаемые методом осаждения из газовой фазы. Особенности структуры и взрывчатых свойств. Физика горения и взрыва, 2015, т.51, №1.

## УДК 62.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СРЕЗАНИЯ ПРИПУСКОВ ЗЕНКЕРОМ С МНП**

Донцова Ю. Д., Токарева О. А.

*Трёхгорный технологический институт НИЯУ МИФИ  
г. Трёхгорный, Челябинская область*

dontsova2010god@yandex.ru; olesya.tok96@mail.ru

Целью данной работы является разработка математических и графических моделей формообразования отверстий зенкером с диссимметрично расположенными твердосплавными пластинами. В основу моделей положен расчёт траекторий движения зенкера под действием радиальных составляющих сил резания, приводящих к поперечным смещениям инструмента. В работе произведён анализ причин возникновения погрешностей при обработке отверстий, построены графические модели и произведен расчет площадей срезаемых слоев, выведена математическая модель. Дальнейшая цель – выведение формулы для учета увода оси на всю глубину отверстия.

*Ключевые слова:* зенкер, срезаемый слой, математическая модель, многогранные неперетачиваемые пластины.

**RESEARCH OF PROCESSES OF CUTTING EXCESS METAL WITH A CORE DRILL WITH REVERSIBLE DISPOSABLE PLATES.**

Dontsova Yu. D., Tokareva O. A.

*TTI NRNU MEPhI, Trekhgorny.*

The purpose of this work is the development of mathematical and graphic models of openings shaping with a core drill with dissymmetrically located hard-alloy plates. Models contain calculation of trajectories of the movement of a core drill under the influence of radial components of cutting forces leading to cross shifts of the tool. In the work the analysis of the causes of errors when processing openings is made, graphic models are constructed, calculation of the areas of the cut-off layers is made and the mathematical model is deduced. The further purpose is derivation of a formula for calculation an axis withdrawal in all the depth of an opening.

*Keywords:* core drill, cut-off layer, mathematical model, reversible disposable plates.

Обработка отверстий – это целый ряд технологических операций, целью которых является доведение геометрических параметров, а также степени шероховатости внутренней поверхности предварительно выполненных отверстий до требуемых значений. Отверстия, которые обрабатываются при помощи таких технологических операций, могут быть предварительно получены в сплошном материале не только при помощи сверления, но также методом литья, продавливания и другими способами. [2, с.2]

При обработке точных отверстий концевым мерным инструментом (КМИ) применяется несколько переходов: сверление, зенкерование, развертывание. При такой многопереходной обработке необходимо учитывать наследование погрешностей. Наибольшие трудности при такой обработке возникают в обеспечении точности расположения отверстий. Особенно это актуально для станков с ЧПУ и обрабатывающих центров (ОЦ), где невозможно применение кондукторных втулок, которые являются основным методом снижения увода оси отверстия. [3, с.56]

*Измерение основных параметров зенкера с МНП*

В современных условиях для измерения основных параметров осевого инструмента целесообразно использовать координатно-измерительные машины.

В нашей работе измерения производились на КИМ «Zoller – Smile 600/4».

В данной работе требовалось измерить исследуемый инструмент на наличие погрешностей расположения пластин, так как это непосредственно влияет на обработку детали.

Измерения показали, что погрешность расположения пластин ( $\tau$ ) на данном инструменте равна 0,02 мм, т.е. первое лезвие «отстает» от второго и третьего лезвия в осевом направлении на величину  $\tau$ . Результаты измерений показаны на рисунке 1.

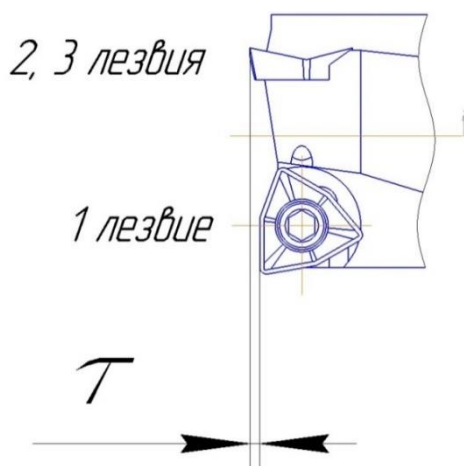


Рисунок 1 – Результаты измерений

Таким образом расположение пластин на инструменте является диссимметричным, в следствии этого распределение сил резания по режущим кромкам будет неравномерным это будет влиять на точность формообразования отверстий. [1, с.220]

#### *Расчет масштабной модели*

Рассмотрим первый случай формообразования отверстия исследуемым зенкером. Для этого в среде Компас 3D V16 построим схемы формообразования и масштабные модели площадей срезаемых слоев. На схеме условно изображены три лезвия исследуемого инструмента, показаны вершины радиус-векторов, подача на оборот и главные углы в плане, также показана погрешность расположения пластин.

Условное изображение отверстия показано на рисунке 2.

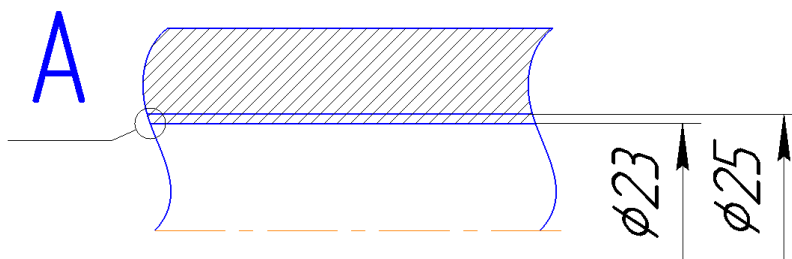


Рисунок 2 – Отверстие

Схема формообразования срезаемых слоев вынесена как выносной элемент и показана на рисунке 3.

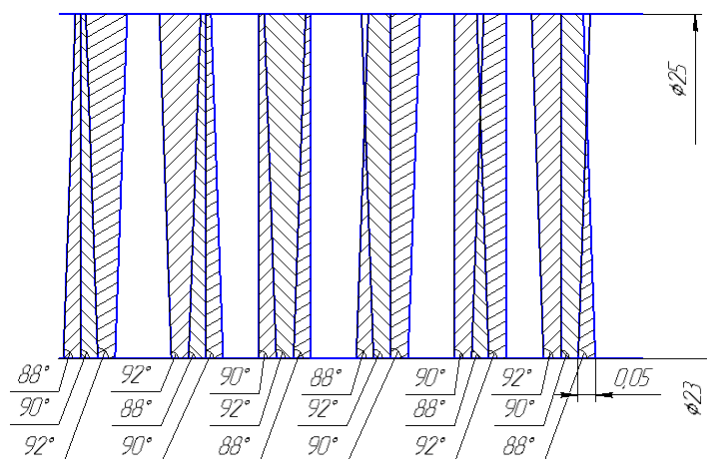


Рисунок 3 – Схема формообразования

Площади срезаемых слоев представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Слои при повороте на 120 градусов

	88-90-92	92-88-90	90-92-88	88-92-90	90-88-92	92-90-88
S1	0,03254	0,084921	0,03254	0,017898	0,064642	0,067460
S2	0,03254	0,03254	0,084921	0,064642	0,017898	0,064642
S3	0,084921	0,03254	0,03254	0,068460	0,064642	0,017898
$\Sigma S$	0,1500	0,1500	0,1500	0,1500	0,147182	0,1500

При условии отставания пластин  $\tau = 0,02$  мм:

2 отстает от 1 на 0,02;

2 отстает от 3 на 0,01;

3 отстает от 1 на 0,01.

Следовательно, из условий отставания большая сила резания приходится на первое лезвие. Под это условие подходят 2 варианта комбинаций: 92-88-90 и 92-90-88. И при условии, что силы резания должны быть распределены равномерно между вторым и третьим лезвиями.

Из полученных данных наиболее предпочтительным вариантом является комбинация углов пластин 92-88-90. Именно это сочетание углов используется для дальнейших расчетов и составления математических моделей, а также для вывода формулы увода оси на всю глубину отверстия.

#### Библиографический список

1. Драгун, А. П., Режущий инструмент. – Лениздат, 1986. – 273с.
2. Дерябин, И.П. Моделирование обработки отверстий для формирования новых баз знаний в интеллектуальных системах / И.П. Дерябин, Я.М. Хилькевич // 29 международная конференция по металлообработке: сб. докладов. – Хайфа (Израиль): Технион, 2003. – 12 с.
3. Дерябин, И.П. Исследование процессов формообразования отверстий мерными инструментами. Монография. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 281с.



УДК 621.825.038

**РАСЧЕТ СИЛЫ СДВИГА ТОНКИХ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ИЗ СПЛАВОВ КС-25ДЦ И Ч36Р В МАГНИТНЫХ СИСТЕМАХ И МАГНИТНЫХ МУФТАХ**

Красильников А. Я., Красильников А. А., Таранов Д. В.

*Уральский федеральный университет имени, г. Екатеринбург**ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ», г. Полевской, Свердловская обл.**ООО «ПОЗ-Прогресс», г. Верхняя Пышма, Свердловская обл.*

Krasilnikov1951@yandex.ru

В статье рассмотрена возможность применения стандартной методики расчета силы сдвига тонких высококоэрцитивных постоянных магнитов КС-25ДЦ и Ч36Р в магнитных системах и магнитных муфтах. Результаты исследований позволили внести поправочные коэффициенты в методику расчета силы сдвига в магнитных системах и магнитных муфтах с тонкими магнитами.

*Ключевые слова:* магнитная система; магнитная муфта; постоянный магнит.

**A SHEAR FORCE CALCULATION FOR THE THIN HIGHLY COERCIVE KS-25DC AND CH36R ALLOYS PERMANENT MAGNETS IN MAGNETIC SYSTEMS AND MAGNETIC COUPLINGS**

Krasil'nikov A. Ya., Krasil'nikov A. A., Taranov D. V.

*UrFU, Yekaterinburg**OAO "URALGIDROMED", Polevskoy**ООО "POZ-Progress", Verkhnyaya Pyshma*

The paper considers the possibility of a standard methodology application for a shear force (SF) calculating of highly coercive KS-25DC and Ch36R thin permanent magnets in magnetic systems and magnetic couplings. The results of the research allowed to introduce the correction coefficients in the standard SF determination methodology for magnetic systems and magnetic couplings with thin magnets.

*Keywords:* magnetic system; magnetic coupling; permanent magnet.

В настоящее время в герметичных машинах и аппаратах (транспортерах, насосах, пылесосах, перемешивающих устройствах и т. д.) широко применяются магнитные системы и магнитные муфты с высококоэрцитивными постоянными магнитами. Для безотказной работы таких машин постоянные магниты выполняются в виде прямоугольных призм, толщина магнита между магнитными полюсами 8...10 мм. В герметичном оборудовании зарубежного производства часто используются постоянные магниты толщиной 4 мм, что позволяет уменьшить стоимость изготовления оборудования, но надежность работы при этом снижается (при нагреве магнитной системы или муфты выше температуры термостабилизации высококоэрцитивного постоянного магнита происходит размагничивание магнита, и магнитная система или муфта выходит из строя). При замене вышедшей из строя магнитной системы или муфты необходимо рассчитать тяговое усилие (силу сдвига) между секциями магнитной системы или полумуфтами магнитной муфты [1]. Разработанные ранее методики расчета силы сдвига применимы для постоянных высококоэрцитивных магнитов толщиной 8...10 мм [2].

Рассмотрим расчет силы сдвига для тонких высококоэрцитивных постоянных магнитов из сплавов редкоземельных элементов: *самарий – кобальт* (КС-25ДЦ) и *неодим – железо – бор* (ЧЗ6Р) толщиной 4 мм. На рисунке 1 представлена схема измерений сил сдвига.

Размеры магнита  $20 \times 40 \times 4$  мм (ширина  $A$   $\times$  длина  $B$   $\times$  толщина  $H$ ). При сдвиге верхней секции магнитной системы относительно нижней на половину ширины магнита ( $A/2$ ) сила сдвига  $F_x$  максимальна. Воздушный зазор  $\delta$  между секциями магнитной системы при проведении измерений изменялся от 2 до 10 мм. Рисунок 2, *а* иллюстрирует изменение удельной силы сдвига  $f_{\text{уд.с.}}$  в зависимости от величины воздушного зазора  $\delta$  между секциями магнитной системы для четырех групп постоянных магнитов из сплава КС-25ДЦ (ТУ 48-4/0531-6-92), рисунок 2, *б* – для пяти групп постоянных магнитов из сплава ЧЗ6Р (ТУ 6391-002-55177547-2005).

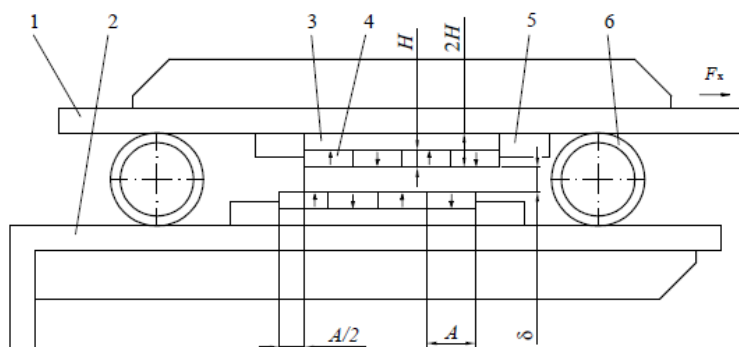


Рисунок 1 – Приспособление для измерения силы сдвига в магнитной системе:  
1, 2 – верхняя и нижняя секции магнитной системы; 3 – магнитопровод; 4 – магнит;  
5 – фиксатор; 6 – трубка немагнитная (каток)

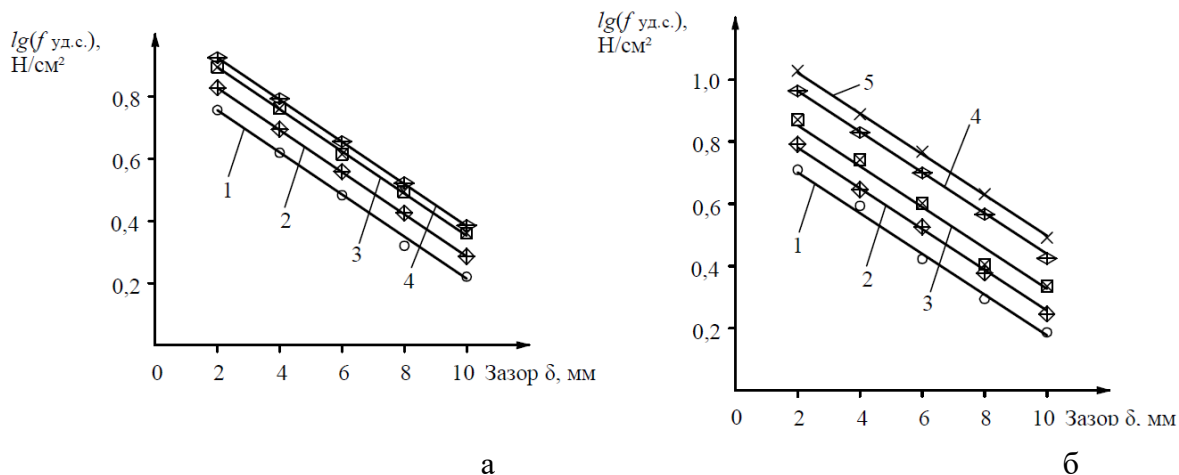


Рисунок 2 – Зависимость удельной силы сдвига  $f_{\text{уд.с.}}$  от воздушного зазора  $\delta$  для высококоэрцитивных постоянных магнитов из сплава: а – КС-25ДЦ: 1 – 1-я группа,  $B_{r1} = 0,82$  Тл; 2 – 2-я группа,  $B_{r2} = 0,92$  Тл; 3 – 3-я группа,  $B_{r3} = 1,01$  Тл; 4 – 4-я группа,  $B_{r4} = 1,07$  Тл; б – ЧЗ6Р: 1 – 2-я группа,  $B'_{r2} = 0,82$  Тл; 2 – 3-я группа,  $B'_{r3} = 0,92$  Тл; 3 – 4-я группа,  $B'_{r4} = 1,0$  Тл; 4 – 5-я группа,  $B'_{r5} = 1,1$  Тл; 5 – 6-я группа,  $B'_{r6} = 1,15$  Тл

Для удобства анализа графические зависимости построены в логарифмических координатах для удельной силы  $f_{\text{уд.с.}}$  и в линейных координатах – для воздушного зазора  $\delta$  (рисунок 2).

Изменения удельной силы сдвига (см. рисунок 2 *а*, *б*) носят линейный характер. Расчетные и экспериментальные зависимости удельной силы сдвига от воздушного зазора для

1-й группы постоянных магнитов КС-25ДЦ ( $B_{r1} = 0,82$  Тл) в относительных единицах приведены на рисунке 3, а, для 2-й группы постоянных магнитов ЧЗ6Р ( $B'_{r2} = 0,82$  Тл) – на рисунке 3, б.

Относительный воздушный зазор рассчитывается по формуле

$$\delta^\circ = \delta / \Delta,$$

где  $\Delta = 8$  мм – интервал изменения воздушного зазора  $\delta$  (зазор  $\delta$  изменяли от 2 до 10 мм).

Относительная удельная сила сдвига

$$f^\circ_{\text{уд.с}} = f_{\text{уд.с}} / f_0,$$

где  $f_0 = 1$  Н/см<sup>2</sup> – базовая удельная сила сдвига.

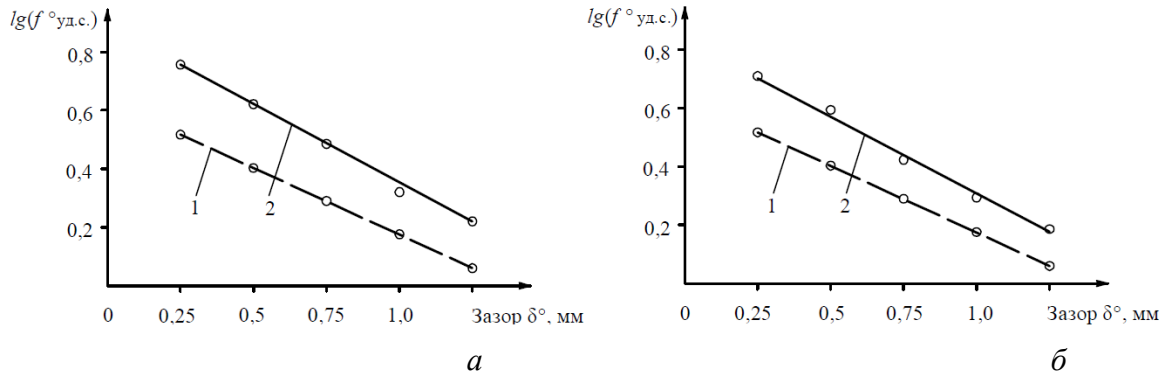


Рисунок 3 – Зависимость относительной удельной силы сдвига  $\lg(f^\circ_{\text{уд.с}})$  от относительного воздушного зазора  $\delta^\circ$  для высококоэрцитивных постоянных магнитов:

а – КС-25ДЦ, 1-я группа; б – ЧЗ6Р, 2-я группа; 1 – расчет; 2 – эксперимент

#### Расчет силы сдвига для магнитов КС-25ДЦ

Из анализа результатов, показанных на рисунках 2, а и 3, а, получено математическое выражение

$$F_{\text{сд}} = F_x = 0,694 F_p \cdot 10^{-0,154(\delta/\Delta)} \cdot m, \quad (1)$$

где  $F_{\text{сд}}$  – уточненная расчетная сила сдвига, Н;  $F_p$  – расчетная сила сдвига, Н;  $m$  – число магнитов в секции магнитной системы.

Расчетная сила сдвига  $F_p$  магнитов складывается из четырех сил взаимодействия полюсов [2]:

$$F_p = f_x(x, z) + f_x(x, z + 4H) - 2f_x(x, z + 2H), \quad (2)$$

где  $x, y, z$  – смещение (или координаты) центра нижнего полюса верхнего магнита, м (при расчете максимальной силы сдвига  $x = A/2, y = 0, z = \delta$ ).

В магнитных системах магниты расположены на общем магнитопроводе (верхний и нижний магнитопроводы), исходя из этого приняты допущения: вся энергия магнитов сосредоточена на полюсах, обращённых к рабочему зазору  $\delta$  между магнитами; влияние наружных полюсов на магнитопроводы незначительно из-за малого рассеивания магнитных полей; силы  $f_x(x, z + 4H)$  и  $f_x(x, z + 2H)$  не учитываются.

Тогда выражение (2) примет вид:

$$F_p = f_x(x, z) = f_x. \quad (3)$$

Уравнение расчета силы взаимодействия двух противоположащих магнитов в форме прямоугольных призм с учетом магнитопроводов:

$$f_x = \frac{B_{r1}^2}{8\pi\mu_0} \sum_{i=1}^8 \left[ t_i u_i \arctg \left( \frac{s_i t_i}{u_i q_i} \right) - s_i t_i \operatorname{Arth} \left( \frac{t_i}{q_i} \right) - \frac{1}{2} (t_i^2 - u_i^2) \operatorname{Arth} \left( \frac{s_i}{q_i} \right) + \frac{1}{2} s_i q_i \right], \quad (4)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная; значения  $s_i, t_i, u_i$  приведены в [3, с. 18, таблица 1];

$$q_i = \sqrt{s_i^2 + t_i^2 + u_i^2}.$$

Уравнения (2) и (3) справедливы для постоянных магнитов 1-й группы с остаточной магнитной индукцией постоянного магнита  $B_{r1} = 0,82$  Тл.

При расчете силы сдвига для магнитной системы с магнитами других групп ( $B_{r2} = 0,92$  Тл,  $B_{r3} = 1,01$  Тл,  $B_{r4} = 1,07$  Тл) уравнение (1) примет вид (с учетом поправочного коэффициента 0,95):

$$\text{для 1-й группы} \quad F_{сд} = F_x = 0,95 \cdot 0,694 \cdot F_p \cdot 10^{-0,154(\delta/\Delta)} \cdot m; \quad (5)$$

$$\text{для 2-й группы} \quad F_{сд} = F_x = 0,95 \cdot 0,659 \cdot F_p \cdot 10^{-0,154(\delta/\Delta)} \cdot m; \quad (5)$$

$$\text{для 3-й группы} \quad F_{сд} = F_x = 0,95 \cdot 0,631 \cdot F_p \cdot 10^{-0,154(\delta/\Delta)} \cdot m; \quad (6)$$

$$\text{для 4-й группы} \quad F_{сд} = F_x = 0,95 \cdot 0,613 \cdot F_p \cdot 10^{-0,154(\delta/\Delta)} \cdot m. \quad (7)$$

При расчете силы сдвига по уравнениям (5)–(7) в уравнение (4) подставляется вместо  $B_{r1}$  соответственно  $B_{r2}$ ,  $B_{r3}$  или  $B_{r4}$ .

#### *Расчет силы сдвига для магнитов ЧЗ6Р*

Аналогично получены уравнения для расчета силы сдвига с магнитами ЧЗ6Р (с учетом поправочного коэффициента 0,95):

для магнитов 2-й, 3-й и 4-й групп

$$F_{сд} = F_x = 0,95 \cdot 0,6067 \cdot (B_m / B'_{r2})^2 \cdot F_p \cdot 10^{-0,1419(\delta/\Delta)} \cdot m;$$

для магнитов 5-й и 6-й групп (поправочный коэффициент равен единице)

$$F_{сд} = F_x = 0,6067 \cdot (B_m / B'_{r2})^2 \cdot F_p \cdot 10^{-0,1419(\delta/\Delta)} \cdot m,$$

где  $B_{rn}$  – остаточная магнитная индукция постоянного магнита  $n$ -й группы (3-й, 4-й, 5-й или 6-й группы), Тл;  $B'_{r2}$  – остаточная магнитная индукция постоянного магнита 2-й группы, Тл.

Расчетная сила сдвига  $F_p$  магнитов складывается из четырех сил взаимодействия полюсов (уравнения (2) и (3) т.е.  $F_p = f_x(x, z) = f_x$ ).

$$f_x = \frac{B'_{r22}}{8\pi\mu_0} \sum_{i=1}^8 \left[ t_i u_i \arctg \left( \frac{s_i t_i}{u_i q_i} \right) - s_i t_i \operatorname{Arth} \left( \frac{t_i}{q_i} \right) - \frac{1}{2} (t_i^2 - u_i^2) \operatorname{Arth} \left( \frac{s_i}{q_i} \right) + \frac{1}{2} s_i q_i \right].$$

#### *Заключение*

Результаты расчетов хорошо совпадают с опытными данными.

Полученные математические выражения дают возможность на стадии конструкторской разработки герметичного оборудования рассчитать силу сдвига постоянных магнитов в магнитной системе или магнитной муфте при использовании тонких магнитов.

#### *Библиографический список*

1. Красильников А.Я. К вопросу определения сил сдвига в магнитных системах // Труды СвердловНИИхиммаша. Сер. «Оборудование для оснащения технологических производств». – Екатеринбург, 1997. Вып. 4 (68). – С. 124-127.
2. Красильников А.Я. Особенности использования магнитной муфты в конструкциях герметичных машин. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2017. – 280 с.
3. Красильников А.Я., Красильников А.А., Таранов Д.В. Определение силы сдвига тонких высококоэрцитивных постоянных магнитов из сплава редкоземельных элементов самарий-кобальт в магнитных системах и магнитных муфтах // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2017. – № 11. – С. 15–20.

УДК 621.825

**РАЗРАБОТКА ЛЕГКОРАЗЪЕМНОЙ УПРУГОЙ МУФТЫ С САМОРАЗРУШАЮЩИМСЯ ВКЛАДЫШЕМ**

Паршукова Н. Ю., Лушина Ю. Ю., Жарков В. В.

*Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ  
г. Снежинск, Челябинская область*

p.i.e@yandex.ru

Предложены несколько вариантов упругих муфт с вкладышем, обеспечивающих легкость сборки-разборки, технологичность и возможность работы в качестве предохранительного устройства. Для подтверждения технических свойств муфт проведены расчеты (аналитические и в программе ANSYS) ряда компенсирующих и прочностных характеристик.

*Ключевые слова:* упругая муфта, вкладыш, прочность, компенсирующие характеристики, расчет, ANSYS.

**ENGINEERING OF EASILY DETACHABLE RESILIENT SLEEVE WITH SELF-DESTRUCTIVE BUSH**

Parshukova N. Yu., Lushina Yu. Yu., Zharkov V. V.

*SPhTI NRNU MEPhI, Snezhinsk*

Some variants of resilient sleeves with the brush are offered, they provide ease of assembly-disassembly, manufacturability and possibility of work as a safety device. Calculations (analytical and in ANSYS program) of some compensating and strength characteristics are carried out for confirmation of sleeve technical properties.

*Keywords:* resilient sleeve, brush, strength, compensating characteristics, calculation, ANSYS.

Для соединения концов валов и передачи крутящего момента применяются различные муфты [1, с. 417]. Недостатками существующих муфт являются: необходимость значительного увеличения габаритов при повышении величины крутящего момента, неудобство сборки-разборки конструкции, а также невозможность срабатывания как предохранительной муфты.

В связи с этим, актуальной является задача создания муфты, имеющей малый вес, обеспечивающей легкость сборки и разборки, способной передавать высокие величины крутящего момента и работающей как предохранительная.

В соответствии с поставленной задачей была разработана легкоразъемная упругая муфта с улучшенными технологическими характеристиками (см. рисунок 1).

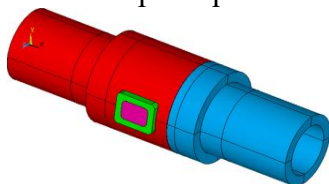


Рисунок 1 – Легкоразъемная муфта с перпендикулярным упругим вкладышем



В конструкции муфты [2, с. 175–177] упругий вкладыш расположен перпендикулярно оси вала, благодаря чему обеспечивается легкость сборки и разборки конструкции по сравнению с существующими упругими муфтами. Кроме того, за счет особенностей формы снижается вес изделия. Так как упругий вкладыш имеет повышенную компенсирующую способность, то за счет использования различных материалов для его изготовления можно существенно увеличить величину крутящего момента и демпфирующую способность разработанной муфты, а также рекомендовать муфту к работе как предохранительную. С этой целью предлагается три варианта исполнения:

- упругая муфта с вкладышем из рессорно-пружинной стали;
- упругая муфта с обрезиненным вкладышем из рессорно-пружинной стали;
- упругая муфта с саморазрушающимся вкладышем.

В ходе работы были выполнены аналитические расчеты, позволившие оценить прочность вкладыша на срез и компенсирующие возможности при заданных нагрузках.

При проведении расчета на срез необходимо определить максимальное касательное напряжение  $\tau_{\max}$  по формуле [3, с. 219]:

$$\tau_{\max} = \frac{F}{b \cdot h} \cdot \eta \leq [\tau_{cp}] \quad (1)$$

где  $b$  – ширина вкладыша,  $b = 48$  мм;

$h$  – высота вкладыша  $h = 20$  мм;

$\eta$  – коэффициент неравномерности ( $\eta \approx 1,2$ );

$F$  – нагрузка на вкладыш, определяется по формуле:

$$F = T/d_I, \quad (2)$$

где  $T$  – крутящий момент;

$d_I$  – внутренний диаметр в сечении муфты.

Величину крутящего момента определим из условия прочности для вала [3, с. 231]:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_p} \leq [\tau], \quad (3)$$

где  $W_p$  – момент сопротивления сечения вала кручению, определяется по следующей формуле:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}, \quad (4)$$

где  $d$  – посадочный диаметр.

Кроме аналитических расчетов, для оценки работоспособности муфт были выполнены численные расчеты в программе ANSYS [4, с. 33].

### 1 Упругая муфта с вкладышем из рессорно-пружинной стали

Поперечное сечение вкладыша – прямоугольник  $16 \times 20$  мм со скруглениями радиусом 6 мм. Материал вкладыша – рессорно-пружинная сталь 50ХФА ГОСТ 14959-79, предел текучести  $\sigma_m = 1080$  МПа, допустимое касательное напряжение  $[\tau]_{cm} = 648$  МПа, предел прочности на разрыв  $\sigma_{Bp} = 1270$  МПа. Материал полумуфт – сталь 40Х,  $\sigma_m = 657$  МПа.

Расчеты проводились для посадочных диаметров 25 мм и 28 мм. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения момента сопротивления, крутящего момента, нагрузки на стальной вкладыш и максимального касательного напряжения

Посадочный диаметр $d$ , мм	Момент сопротивления $W_p$ , м <sup>3</sup>	Крутящий момент $T$ , Н·м	Нагрузка на вкладыш $F$ , Н	Максимальное касательное напряжение $\tau_{\max}$ , МПа
25	$3,066 \cdot 10^{-6}$	1986,77	79470,8	124,17
28	$4,308 \cdot 10^{-6}$	2791,58	99699,3	155,78

Допустимый предел прочности на срез составил  $[\tau_{cp}]_{ст} = 381$  МПа. Максимальные касательные напряжения меньше этого значения, то есть стальной вкладыш обеспечивает прочность на срез с коэффициентом запаса 2,4.

## 2 Упругая муфта с обрезиненным вкладышем из рессорно-пружинной стали

Рассмотренная муфта со стальным вкладышем способна передавать высокие крутящие моменты, но не рекомендуется к использованию в случаях, когда требуется постоянно разбирать и собирать конструкцию. В соответствии с этим возникла необходимость создания варианта, который позволяет работать при частой сборке-разборке и при высоких значениях крутящего момента.

С этой целью была разработана муфта с обрезиненным вкладышем из рессорно-пружинной стали. Размеры полумуфт аналогичны размерам полумуфт из предыдущего случая, схема вкладыша приведена на рисунке 2.

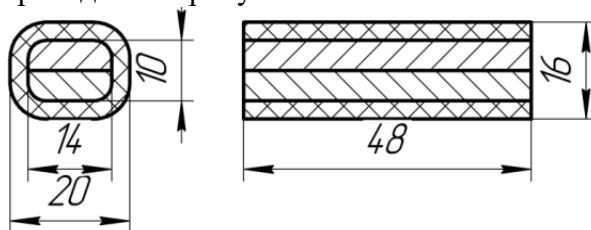


Рисунок 2 – Схема стального обрезиненного вкладыша

Стальной вкладыш из материала сталь 50ХФА ГОСТ 14959-79 ( $\sigma_m = 1080$  МПа,  $[\tau]_{ст} = 648$  МПа,  $\sigma_{Bp} = 1270$  МПа) с поперечным сечением 10×14 покрыт слоем вулканизированной прослойочной резины ГОСТ 270-75 ( $\sigma_{Bp} = 20$  МПа,  $[\tau]_p = 20$  МПа) толщиной 3 мм.

Результаты аналитических расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения момента сопротивления, крутящего момента, нагрузки на обрезиненный стальной вкладыш и максимального касательного напряжения

Посадочный диаметр $d$ , мм	Момент сопротивления $W_p$ , м <sup>3</sup>	Крутящий момент $T$ , Н·м	Нагрузка на вкладыш $F$ , Н	Максимальное касательное напряжение $\tau_{\max}$ , МПа
25	$3,066 \cdot 10^{-6}$	1024,04	40961,6	64
28	$4,308 \cdot 10^{-6}$	1438,87	51388,21	80,29

Приведенный допустимый предел прочности на срез составил  $[\tau_{cp}]_{прив} = 195,5$  МПа, что больше чем максимальные касательные напряжения. Обрезиненный стальной вкладыш обеспечивает прочность на срез с коэффициентом запаса 2,4, то есть показатели муфты с обрезиненным стальным вкладышем не уступают показателям муфты со стальным вкладышем.

Для подтверждения надежности работы конструкции муфты со стальным и с обрезиненным стальным вкладышами были проведены расчеты в программе ANSYS при значении крутящего момента 1024,04 Н·м.

Результаты расчетов показали, что для муфты со стальным вкладышем максимальные эквивалентные напряжения на полумуфтах составляют 465 МПа, а для муфты с обрезиненным стальным вкладышем – 507 МПа, что меньше предела текучести материала муфты (для стали  $40X \sigma_m = 657$  МПа), то есть прочность полумуфт обеспечивается с коэффициентом запаса не менее 1,3. При этом прочность стального вкладыша обеспечивается с коэффициентом запаса 2,4 (см. рисунок 3, а), а прочность обрезиненного стального вкладыша с коэффициентом запаса не менее 10 (см. рисунок 3, б).

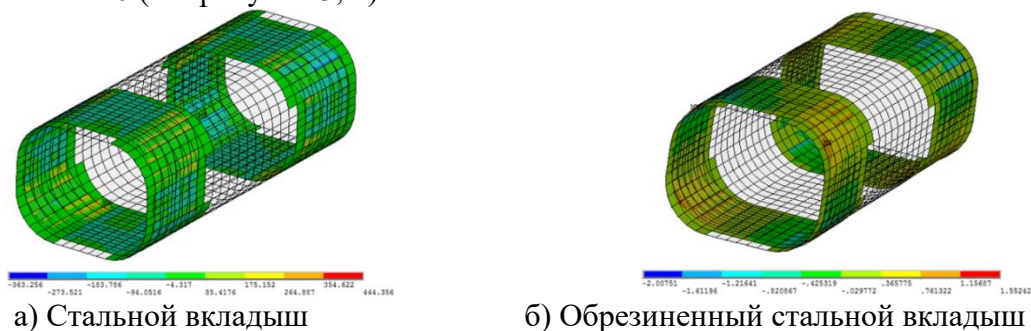


Рисунок 3 – Контактные напряжения между вкладышем и полумуфтами

Кроме статического нагружения было рассмотрено действие внезапно приложенного крутящего момента 1024,04 Н·м, по результатам которого получено, что прочность вкладыша обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса 1,8.

### 3 Упругая муфта с саморазрушающимся вкладышем

Для предотвращения возникающих больших перегрузок и гашения вибраций был разработан третий вариант упругой муфты с саморазрушающимся вкладышем, работающей как предохранительная. Размеры полумуфт и вкладыша аналогичны первому варианту исполнения муфты.

При эксплуатации муфты за счет возникновения предельного крутящего момента стальной вкладыш разрушается, и конструкция перестает работать.

С целью определения предельного крутящего момента, а также конкретного материала для вкладыша был выполнен расчет в программе ANSYS, по результатам которого получено, что наибольший крутящий момент, который может выдержать предохранительная муфта, составляет 3072 Н·м. Возникающие при этом максимальные эквивалентные напряжения на вкладыше составляют 256,5 МПа (см. рисунок 4). То есть для изготовления вкладыша можно использовать материалы, предел текучести которых не превосходит рассчитанное максимальное напряжение (сталь 10, сталь 20).

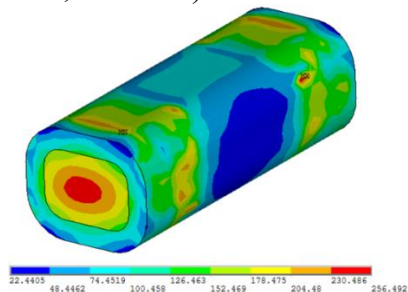


Рисунок 4 – Эквивалентные напряжения на вкладыше

Таким образом, результаты аналитических расчетов и расчетов в программе ANSYS показали, что все рассмотренные варианты исполнения муфты обеспечивают легкую сборку и разборку конструкции, а также способны работать в условиях высоких крутящих моментов как упругие и предохранительные. При этом муфта с обрезиненным стальным вкладышем может применяться в конструкциях, требующих частую сборку и разборку, в то время как для

муфты со стальным вкладышем такое применение недопустимо. Прочность таких муфт обеспечивается с коэффициентом запаса 1,3 при статическом нагружении, а в условиях действия внезапно приложенного крутящего момента коэффициент запаса составляет 1,8.

Для предотвращения возникающих больших перегрузок может применяться муфта с вкладышем из стали 10 (или стали 20), которая способна работать как предохранительная от высоких крутящих моментов (предельный момент 3072 Н·м).

#### Библиографический список

1. Решетов Д.Н. Детали машин. - М.: Машиностроение, 1989.
2. Паршукова Н.Ю., Коробейников К.А., Гончарова Н.А. Увеличение компенсирующей способности облегченной муфты с резиновым вкладышем. - XIV научно-практическая конференция «Дни науки-2014». Тезисы докладов. Озерск, 25-26 апреля 2014 г. – Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2014. – с.175-177.
3. Сопротивление материалов/ Под ред. Писаренко Г.С. – Киев: Высшая школа, 1986
4. Практикум по курсу вычислительной механики на базе современных программных средств численного анализа (ANSYS): Учебно - метод. пособие / Маслов Л.Б., Сабанеев Н.А – Иваново, 2009 г.

УДК 621.31

### ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ МАЛЫХ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ

Сосюрко В. Г.

*Озёрский технологический институт МИФИ*

*г. Озёрск, Челябинская область*

vsosyurko@gmail.com

Диапазон регулирования вращения электродвигателя ограничен при низких угловых скоростях из-за нагрева и небольшой точности. С целью устранения этих недостатков предлагается использовать дифференциальный электропривод.

*Ключевые слова:* электропривод, дифференциальный, угловая скорость, регулирование, погрешность.

### ACTUATORS FOR SMALL ANGULAR VELOCITIES

Sosyurko V. G.

*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

Motor rotation adjustment range is limited at low angular velocities due to heating and small accuracy. In order to eliminate these drawbacks it is proposed to use a differential actuator.

*Keywords:* actuator, differential, rotational speed, regulation, accuracy.

Для оптимизации технологических процессов и уменьшения потребления электрической энергии, применяется регулирование скорости движения механизмов.

Регулирование скорости движения рабочего органа осуществляют, в основном, двумя способами: изменением угловой скорости двигателя и изменением передаточного числа механических передач, установленных между двигателем и механизмом.

При регулировании скорости механическим способом отсутствует плавность регулирования, да и техническая реализация регулирования относительно сложна. В

настоящее время в подавляющем большинстве случаев регулирование скорости рабочего органа производится путем изменения скорости электродвигателей, работающих в регулируемом электроприводе. Но существуют проблемы регулирования при малых угловых скоростях вращения двигателей.

Абсолютная ошибка одинакова для всех механических характеристик, т.е. постоянна во всем диапазоне регулирования. Поэтому относительная величина ошибки переменная, различна для всех механических характеристик. Она находится как отношение абсолютной ошибки к заданной скорости, поэтому, чем меньше скорость, тем больше ошибка регулирования. При скоростях близких к нулю стремится к бесконечности.

Кроме того, допустимая нагрузка двигателя определяется нагревом обмоток двигателя. При малых скоростях вращения ротора значительно ухудшаются условия обдува обмоток двигателя, поэтому длительная работа на малых скоростях и большой нагрузке невозможна. Условием полного использования электродвигателя является равенство тока двигателя номинальному току, при номинальной скорости вращения ротора.

Можно повысить угловую скорость вращения электродвигателя, передавая вращение к механизму через редуктор с большим передаточным отношением. Тогда небольшая скорость механизма будет обеспечена при удовлетворительных условиях работы электродвигателя, но уменьшится диапазон регулирования скорости. Кроме того, значительно уменьшится коэффициент полезного действия.

С целью устранения выше перечисленных недостатков можно использовать дифференциальный электропривод.

Такой привод представляет собой два механически соединённых электродвигателя.

Первый электродвигатель обычный, с неподвижным статором, приводит во вращение ротор с обмотками возбуждения второго электродвигателя. Второй двигатель имеет два ротора установленных соосно. На одном роторе закрепляются и вращаются вместе с ним обмотки возбуждения, а второй ротор – якорь, вращающийся в пространстве между обмотками возбуждения [1, 2]. Если задать якорю второго двигателя вращение в направлении противоположном вращению первого двигателя с угловой скоростью равной по модулю угловой скорости первого двигателя, то якорь второго двигателя остановится. Оба двигателя при этом могут вращаться с номинальными частотами вращения, и будут хорошо обдуваться своими вентиляторами. К валу якоря второго двигателя (он будет являться выходным валом дифференциального электродвигателя) в это время может быть приложен номинальный крутящий момент, но вал будет оставаться неподвижным.

При изменении частоты вращения одного из двигателей выходной вал начнёт вращаться. Частоту вращения выходного вала можно задать как угодно малой. Токи якорей при этом будут в пределах номинальных, а условия охлаждения двигателей будут нормальными.

Крутящий момент на выходном валу будет равен моменту второго двигателя.

Достоинства дифференциального электропривода:

- возможность работы при любой, какой угодно малой угловой скорости вращения двигателя (вплоть до нулевой);
- высокая точность регулирования угловой скорости выходного вала при малых скоростях вращения;
- поддержание крутящего момента при неподвижном выходном валу;
- большой диапазон регулирования угловой скорости.

#### Библиографический список

1. Сосюрко В.Г. Бироторная электрическая машина. Озёрск: ОТИ МИФИ, тезисы докладов научно-практической конференции «Дни науки-2001», том 2, 2001,- 28 с.
2. Авторское свидетельство СССР №1274141, H02P 7/747, 1986.



# МАТЕМАТИКА. ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 517.977

## НАИЛУЧШЕЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ КЛАССА ХАРДИ ДРУГИМ КЛАССОМ ХАРДИ

Акопян Р. Р.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Озёрск;  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург;  
Институт математики и механики УрО РАН г. Екатеринбург.*

RRAkopyan@mephi.ru

Рассматривается задача наилучшего приближения множества производных функций класса Харди, аналитических в круге, другим классом Харди функций, аналитических в круге большего радиуса.

*Ключевые слова:* аналитические функции, класс Харди, наилучшее приближение.

## THE BEST APPROXIMATION OF THE DERIVATIVES OF THE HARDY CLASS BY ANOTHER HARDY CLASS

Akopyan R. R.

*OTI NRNU MEPHI;  
Ural Federal University;  
Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of RAS*

We consider the problem of the best approximation of the set of derivatives of functions of the Hardy class analytic in the disc by another Hardy class of functions analytic in a disc of a larger radius.

*Keywords:* analytic functions, Hardy class, best approximation.

Пусть  $D_R := \{z \in \mathbb{C} : |z| < R\}$  – круг с центром в нуле радиуса  $R$ . Обозначим через  $A(D_R)$  множество аналитических в круге  $D_R$  функций. Для функций  $f \in A(D_R)$  и числа  $\rho$ ,  $0 < \rho < R$ , определим  $p$ -средние функции  $f$  на окружности  $\Gamma_\rho := \{z \in \mathbb{C} : |z| = \rho\}$  равенством

$$M^p(f, \rho) := \|f\|_{L_p(\Gamma_\rho)}, \quad 1 \leq p \leq \infty.$$

Пусть  $H^p(D_R)$  – пространство Харди функций  $f \in A(D_R)$  таких, что

$$\sup \{M^p(f, \rho) : 0 < \rho < R\} < +\infty.$$

Известно, что для произвольной функции  $f \in H^p(D_R)$  почти всюду на границе  $\Gamma_R$  существуют некасательные предельные граничные значения, составляющие функцию из пространства  $L_p(\Gamma_R)$ .

В пространстве  $H^p(D_R)$  выделим класс Харди  $NH^p(D_R)$ ,  $N > 0$ , функций, удовлетворяющих неравенству  $M^p(f, R) \leq N$ . Будем использовать обозначения:  $H^p(D_R)$ , при  $N=1$ , и  $D = D_1$ , при  $R = 1$ .

В настоящей работе рассмотрим следующую экстремальную задачу. Пусть пара чисел  $r, \rho$  связана неравенством  $0 < r < \rho < 1$ . Величина

$$E(NH^p(D_\rho), H^p(D_\rho)) := \inf \{ U(f) : f \in NH^p(D_\rho) \},$$

в которой

$$U(f, H^p(D_\rho)) := \sup \{ M^p(g'f, r) : g \in H^p(D_\rho) \},$$

есть наилучшее приближение класса производных функций из  $H^p(D_\rho)$  классом Харди  $NH^p(D_\rho)$  по норме пространства  $L_p(\Gamma_\rho)$ . Аналогичная задача, в которой  $f = Lg$  и нижняя грань берется по  $L \in \Lambda(N)$ , где  $\Lambda(N)$  – множество линейных операторов с нормой не превосходящей  $N$ , является задачей наилучшего линейного приближения класса производных функций из  $H^p(D_\rho)$  классом Харди  $NH^p(D_\rho)$ . В рассматриваемом случае величины наилучшего линейного приближения и наилучшего приближения равны. Именно оптимальный линейный метод приближения будет выписан ниже.

Задача наилучшего приближения одного класса Харди аналитических в круге функций другим классом Харди функций, аналитических в круге большего радиуса изучались ранее в работах [4], [1].

Задачи наилучшего приближения и наилучшего линейного приближения одного класса элементов другим (двойственно) взаимосвязаны с задачами вычисления модуля непрерывности и задачей Стечкина для некоторого оператора, см., например, [3] и приведенную там литературу. Задача, рассматриваемая в настоящей работе, связана с экстремальными задачами, которые исследовались в работе автора [2]. Результаты, которые будут приведены здесь, так же не трудно получить не взаимосвязь, основываясь на свойствах приближающего оператора, изученных в [2].

Рассмотрим оператор (свертки)  $V_n$ , определяемый формулой

$$(V_n g)(z) := 1/(2\pi z) \int_{[0, 2\pi]} v_n(x-t) g(\rho e^{it}) dt, \quad z = e^{it},$$

с ядром

$$v_n(t) = e^{-int} \mu_n(t), \quad \mu_n(t) = \mu_{0,n} + 2 \sum_{k=1, \infty} \mu_{k,n} \cos kt,$$

$$\mu_{0,n} = 1/(\rho^{n+1} \ln r) (n \ln(\rho/r) - 1), \quad \mu_{k,n} = 1/\rho^{n+1} ((n+k)(r/\rho)^k - (n-k)(r/\rho)^{-k}) / (r^{-k} - r^k).$$

Оператор  $V_n$  сопоставляет функциям класса  $H^p(D_\rho)$  функции класса  $NH^p(D_\rho)$ .

Теорема. Пусть параметр  $N$  имеет представление

$$N = 1/\rho^{n+1} |n \ln \rho/r + 1|/|\ln r|,$$

где  $n \in \mathbb{N}$  удовлетворяет неравенству

$$n > \pi / \ln^2 r \sin^{-1}(\pi \ln \rho / \ln r).$$

Тогда справедливо равенство

$$E(NH^p(D_\rho), H^p(D_\rho)) = r^n / \rho^{n+1} |n \ln \rho - 1|/|\ln r|.$$

При этом оператор  $V_n$  является наилучшим линейным методом приближения.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-01-00336) и Программы повышения конкурентоспособности УрФУ (постановление №211 Правительства РФ от 16.03.2013, контракт №02.А03.21.0006 от 27.08.2013).*

## Библиографический список

1. Р.Р. Акопян, Наилучшее приближение оператора аналитического продолжения на классе аналитических в кольце функций, Тр. ИММ УрО РАН, 2012, Т. 18, № 4, С. 3–13.
2. Roman R. Akopyan, Approximation of the differentiation operator on the class of functions analytic in an annulus, Ural Math. J., 2017, V. 3, Issue 2, С. 6–13.
3. В.В. Арестов, Приближение неограниченных операторов ограниченными и родственные экстремальные задачи, Успехи мат. наук, 1996, Т. 51, вып. 6(312), С. 89–124.
4. Л.В. Тайков, Аналитическое продолжение функций с ошибкой, Тр. МИАН СССР, 1971, Т. 109, С. 61–64.

УДК 517.53

# **НЕРАВЕНСТВО ПЛАНШЕРЕЛЯ – ПОЛИА ДЛЯ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ТИПА**

Берестова Е. В.

*Уральский федеральный университет имени первого президента Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург*

e.v.berestova@urfu.ru

Изучается точная константа  $c_2(\sigma)$  и экстремальные функции в неравенстве Планшереля – Полиа  $\sum_{k \in \mathbb{Z}} |f(k)|^p \leq c_p(\sigma) \|f\|_p^p$  на множестве целых функций  $f$  экспоненциального типа  $\leq \sigma$ , сужение которых на вещественную ось принадлежит  $L^2$ . В работе доказано, что  $c_2(\sigma) = \lceil \sigma / \pi \rceil$  для  $\sigma > 0$ , и получен класс экстремальных функций.

*Ключевые слова:* неравенство Планшереля-Полиа, пространство Пэли-Винера, целая функция экспоненциального типа, преобразование Фурье.

# **THE PLANCHEREL-PÓLYA INEQUALITY FOR ENTIRE FUNCTIONS OF EXPONENTIAL TYPE**

Berestova E. V.

UrFU, Ekaterinburg

We investigate the Plancherel-Pòlya inequality  $\sum_{k \in \mathbb{Z}} |f(k)|^p \leq c_p(\sigma) \|f\|_p^p$ , on the set of entire functions  $f$  of exponential type  $\leq \sigma$  which restrictions to the real line belong to the space  $L^2$  on the real line. We prove that  $c_2(\sigma) = \lceil \sigma / \pi \rceil$  for  $\sigma > 0$  and describe the extremal functions.

*Keywords:* Plancherel-Pòlya inequality, Paley-Wiener space, entire function of exponential type, Fourier transform.

Для  $0 < p < \infty$  обозначим через  $E_\sigma^p$  множество целых функций  $f$  экспоненциального типа  $\leq \sigma$  со свойством  $\|f\|_p^p = \int_{\mathbb{R}} |f(x)|^p dx < \infty$ . Неравенство

$$\sum_{k \in \mathbb{Z}} |f(k)|^p \leq c_p(\sigma) \|f\|_p^p, \quad f \in E_\sigma^p \quad (1)$$

известно как неравенство Планшереля – Полия. Нас интересует наименьшее возможное значение  $c_2(\sigma)$  и экстремальные функции в неравенстве (1) при  $p = 2$ :

$$\sum_{k \in \mathbb{Y}} |f(k)|^2 \leq c_2(\sigma) \|f\|_2^2, \quad f \in E_\sigma^2. \quad (2)$$

Классическая теорема отсчетов Уиттекера – Котельникова – Шеннона [1, р. 150, § 20.2, Theorem 1; 2, р. 116, н° 24, (52)] утверждает, что для всех  $0 < \sigma \leq \pi$  и всякой функции  $f \in E_\sigma^2$ ,

$$\sum_{k \in \mathbb{Y}} |f(k)|^2 = \int_{\mathbb{Y}} |f(x)|^2 dx. \quad (3)$$

Следовательно, если  $p = 2$ , то

$$c_2(\sigma) = 1 \quad \text{для } 0 < \sigma \leq \pi$$

и неравенство (2) обращается в равенство для функции  $f \in E_\sigma^2$ . Таким образом, мы должны изучить случай  $\sigma > \pi$ .

М. Планшерель и Г. Полия [2, р. 126, н° 31, (76), (77), pp. 139-140, н° 41] установили конечность величины  $c_p(\sigma)$  при всех  $p > 0$ , при  $p > 1$ ,  $\sigma \leq \pi$  они также получили интерполяционную формулу

$$f(z) = \sum_{k \in \mathbb{Y}} (-1)^k f(k) \frac{\sin(\pi z)}{\pi(z-k)}; \quad (4)$$

ряд сходится к функции  $f$  в пространстве  $L^p(\mathbb{Y})$ .

Планшерель и Полия [2, р. 126, н° 31], Р.П. Боас, Д.Л. Донохо и Б.Ф. Логан, С. Норвидас и некоторые другие авторы изучали более общую проблему [3;4]. Вместо последовательности  $\{f(k)\}_{k \in \mathbb{Y}}$  значений функции в целых точках, они рассматривали  $\{f(\lambda_k)\}_{k \in \mathbb{Y}}$ , где последовательность  $\{\lambda_k\}_{k \in \mathbb{Y}}$  есть равномерно дискретная, т. е.  $\inf_{k \neq m} |\lambda_k - \lambda_m| > 0$ . Как следствие для  $\lambda_k = k$  Планшерель и Полия получили следующую оценку:

$$c_p(\sigma) \leq \frac{8}{\pi} \frac{e^{p\sigma/2} - 1}{p\sigma}, \quad p > 0.$$

Обозначим  $[x]$  – наибольшее целое число не превосходящее  $x$ ,  $\lceil x \rceil$  – наименьшее целое число, которое больше или равно  $x$ . Отметим, что  $[x] \leq x \leq \lceil x \rceil$ . Недавний результат Норвидаса [4, р. 474, Theorem 1] для  $\lambda_k = k$  может быть записан в виде

$$c_p(\sigma) \leq \frac{[\delta] + 1}{2\delta \|\cos(\sigma\delta \cdot)\|_{L^p[0,1/2]}^p}, \quad 1 \leq p \leq 2, \quad (5)$$

где  $\sigma > 0$  и  $\delta \in (0, \pi/\sigma)$  – произвольное число. Если  $p = 1$  или  $p = 2$ , то

$$\|\cos(\sigma\delta \cdot)\|_{L^1[0,1/2]} = \frac{\sin(\sigma\delta/2)}{\sigma\delta}, \quad \|\cos(\sigma\delta \cdot)\|_{L^2[0,1/2]}^2 = \frac{1}{4} \left( 1 + \frac{\sin(\sigma\delta)}{\sigma\delta} \right),$$

и оценки (5) принимают вид

$$c_2(\sigma) \leq \frac{2\sigma([\delta] + 1)}{\sigma\delta + \sin(\sigma\delta)}, \quad c_1(\sigma) \leq \frac{\sigma([\delta] + 1)}{2\sin(\sigma\delta/2)}. \quad (6)$$

Неравенства (6) также следуют из работы Донохо и Логана [3, pp. 581-583, Theorem 4, Theorem 7].

Отметим также оценку С.М. Никольского [5, с. 246-254, § 1; 6, с. 122-130, Глава 3.3]:

$$c_p(\sigma) \leq (1 + \sigma)^p, \quad 1 \leq p < \infty,$$

и работу Д.С. Любинского [7], который изучал связь между неравенством (1) и неравенством Маркушевича – Зигмунда для алгебраических полиномов.

Найдем инфимум оценки (5) по  $\delta$  при  $p=2$  и  $\sigma > \pi$ . В соответствии с предположениями  $0 < \delta < \pi/\sigma < 1$ ; следовательно,  $[\delta] = 0$ . Функция  $x + \sin x$  растёт; отсюда,

$$c_2(\sigma) \leq \lim_{\delta \rightarrow (\pi/\sigma)^-} \frac{2\sigma}{\sigma\delta + \sin(\sigma\delta)} = \lim_{\delta \rightarrow (\pi/\sigma)^-} \frac{2}{\delta \left(1 + \frac{\sin(\sigma\delta)}{\sigma\delta}\right)} = \frac{2\sigma}{\pi}.$$

Отметим что, если функция  $f \in E_0^p$ , тогда  $f$  тождественно равна нулю [6, с. 114-116, Глава 3.2.2; 8]. Потому, естественно рассматривать только  $\sigma > 0$ .

Определим преобразование Фурье функции  $g \in L^1(\mathbb{Y})$  формулой

$$Fg(z) = \int_{\mathbb{Y}} g(x) e^{-2\pi i x z} dx.$$

Оператор преобразования Фурье в пространствах  $L^1(\mathbb{Y})$  и  $L^2(\mathbb{Y})$  обозначим  $F$ . Для  $m \in \mathbb{Y}$ , оператор сдвига  $\tau_m$  определим по формуле  $\tau_m g(\cdot) = g(\cdot - m)$ .

Основные результаты работы заключаются в следующих теоремах.

**Теорема 1.** Для всех  $\sigma > 0$ , справедливо неравенство

$$\sum_{k \in \mathbb{Y}} |f(k)|^2 \leq \lceil \sigma / \pi \rceil \|f\|_2^2, \quad f \in E_\sigma^2. \quad (7)$$

Неравенство (7) обращается в равенство тогда и только тогда, когда  $f = Fg$ , где  $\nu = \frac{1}{2}(1 - (\lceil \sigma / \pi \rceil - \sigma / \pi))$ ,  $h \in L^2[-\nu, \nu]$ ,

$$g(x) = \begin{cases} \sum_{m=-s}^s h(x-m), & \lceil \sigma / \pi \rceil = 2s+1, s \in \mathbb{Y}_+; \\ \sum_{m=-s}^{s-1} h\left(x-m-\frac{1}{2}\right), & \lceil \sigma / \pi \rceil = 2s, s \in \Gamma. \end{cases} \quad (8)$$

Наряду с неравенством (2), мы изучаем неравенство

$$\left| \sum_{k \in \mathbb{Y}} (g * g)(k) \right| \leq d_2(\sigma) \|g\|_2^2, \quad g \in L^2[-\sigma/(2\pi), \sigma/(2\pi)], \quad (9)$$

с наилучшей константой  $d_2(\sigma)$ . Используя хорошо известные свойства преобразования Фурье, нетрудно показать, что  $d_2(\sigma) \leq c_2(\sigma)$ . По этой причине, мы называем неравенство (9) двойственной задачей для (2).

**Теорема 2.** Для всех  $\sigma > 0$ ,  $d_2(\sigma) = c_2(\sigma)$ . Неравенство (9) обращается в равенство тогда и только тогда, когда функция  $g$  удовлетворяет условию (8) и, для некоторого  $\theta \in \mathbb{Y}$ , соответствующая функция  $h$  обладает свойством  $h(x) = \overline{h(-x)} e^{i\theta}$  для почти всех  $x \in [-\nu, \nu]$ .

*Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности УрФУ (Постановление Правительства РФ № 211 от 16 марта 2013, соглашение № 02.A03.21.0006 от 27 августа 2013) и гранта РФФИ № 18-01-00336.*

#### Библиографический список

1. Никольский С.М. Неравенства для целых функций конечной степени и их применение в теории дифференцируемых функций многих переменных. // Труды мат. института им. В. А. Стеклова – 1951. – (38). – С. 244-278.



2. Никольский С.М. Приближение функций многих переменных и теоремы вложения. М: Наука, 1977. С. 456.
3. Donoho D.L. and B.F. Logan. Signal recovery and the large sieve. // SIAM J. Appl. Math. 1992. – №2(52). – Pp. 577-591.
4. Levin B. Ya.. Lectures on entire functions, Transl. Math. Mon., Providence, RI: Amer. Math. Soc., 1996. P. 248.
5. Lubinsky D.S. On sharp constants in Marcinkiewicz-Zygmund and Plancherel-Polya inequalities. // Amer. Math. Soc. – 2014. – №10 (142). – Pp. 3575-3584.
6. Norvidas S. Concentration of  $L^p$ -bandlimited functions on discrete sets. // Lith. Math. J. – 2014. – №4(54). – Pp. 471-481.
7. Plancherel M. and G. Pòlya. Fontions entières et intégrales de Fourier multiples. // Commentarii Mathematici Helvetici. – 1937-1938. – (10). – Pp. 110-163.
8. Pòlya G. Über ganze Funktionen vom Minimaltypus der Ordnung 1. // Jahr. Deutsch. Math. Vereinigung. – 1931. – 40:9-12. – P. 80.

УДК 517.5

## ОЦЕНКА СВЕРХУ ТОЧНОЙ КОНСТАНТЫ В НЕРАВЕНСТВЕ ТУРАНА ДЛЯ ОДНОСВЯЗНОЙ КОМПАКТНОЙ ОБЛАСТИ

Горячева Ю. С.

*Уральский федеральный университет имени Б. Н. Ельцина  
г. Екатеринбург*

yuly.goryacheva@yandex.ru

В работе исследуется неравенство Турана для  $L^q$ -нормы  $c_n^q(K)\|p\|_q \leq \|p'\|_q$  на множестве многочленов  $p$  степени  $n$  все нули которых лежат в компактной области  $K$ . Получена оценка сверху константы  $c_n^q(K)$ , выраженная через  $n$ , ширину и диаметр множества  $K$ .

*Ключевые слова:* неравенство Маркова,  $L^q$ -норма, диаметр, ширина, компакт, оценка сверху.

## AN UPPER ESTIMATE OF THE BEST CONSTANT IN THE TURAN-TYPE INEQUALITY FOR A COMPACT SIMPLY CONNECTED DOMAIN

Goryacheva Yu. S.

*Ural Federal University, Yekaterinburg*

The Turán-type inequality  $c_n^q(K)\|p\|_q \leq \|p'\|_q$  for the  $L^q$ -norm on the set of polynomials  $p$  of degree  $n$  and all zeros  $p$  lie in the compact simply connected domain  $K$  is investigated. We obtain an upper bound for the constant  $c_n^q(K)$ .

*Keywords:* Markov inequality, Turan-type inequality, polynomial,  $L^q$ -norm, diameter, width, compact.

Рассмотрим компактное подмножество  $K$  комплексной плоскости. Обозначим через  $d = \max_{z', z'' \in K} |z' - z''|$  - диаметр, а через  $w = \min_{\gamma \in [-\pi, \pi]} (\max_{z \in K} \operatorname{Re}(ze^{-i\gamma}) - \min_{z \in K} \operatorname{Re}(ze^{i\gamma}))$  - ширину компакта  $K$ . Пусть  $\mathcal{P}_n(K)$  есть множество полиномов  $p$  степени точно  $n$ , все нули которых лежат в  $K$ .

В 1889 году А.А. Марков доказал, что для произвольного полинома  $p$  степени  $n$  справедливо неравенство

$$\|p'\|_{C[-1,1]} \leq n^2 \|p\|_{C[-1,1]}$$

для равномерной нормы на отрезке  $I = [-1, 1]$ . Полвека спустя Р. Turán заинтересовался обратным неравенством  $c_n(K) \|p\|_{C(K)} \leq \|p'\|_{C(K)}$ ,  $p \in \mathcal{P}_n(K)$ . Нетрудно видеть, что на множестве всех полиномов степени  $n$  это неравенство не выполняется. Поэтому Turán накладывал дополнительное условие, что все  $n$  нулей полинома лежат во множестве  $K$ . В 1939 г. Turán получил точную по порядку оценку  $c_n(I) \geq \frac{\sqrt{n}}{6}$  для отрезка  $I$  и нашел точную константу  $c_n(D) = \frac{n}{2}$  для единичного круга  $D = \{z \in \mathbb{C}: |z| \leq 1\}$ . В 2006 году Sz.Gy. Révész получил наиболее общий результат для компактного выпуклого множества  $K$  [1, с. 165]. Он доказал, что для всех натуральных  $n$  справедлива оценка снизу  $c_n(K) \geq 0.0003 \frac{w}{d^2} n$  и для  $n > \frac{d^2}{128w^2} \ln \frac{d}{16w}$  выполняется оценка сверху  $c_n(K) \leq 600 \frac{w}{d^2} n$ . Заметим, что обе оценки имеют вид произведения положительной константы на отношение ширины к квадрату диаметра множества  $K$  и на степень полинома.

Целью нашей работы является распространение оценки сверху для величины  $c_n(K)$  на норму  $L^q$ .

Предположим, что множество  $K$  является замыканием ограниченной односвязной области и имеет спрямляемую границу  $\partial K$ . В этом случае можно определить норму полинома  $p$  следующим образом:  $\|p\|_q = (\int_{\partial K} |p(z)|^q |dz|)^{\frac{1}{q}}$ ,  $q \geq 1$ . Обозначим через  $c_n^q(K)$  точную константу в неравенстве

$$c_n^q(K) \|p\|_q \leq \|p'\|_q, \quad p \in \mathcal{P}_n(K).$$

Получен следующий результат.

**Теорема.** Пусть  $K$  есть замыкание ограниченной односвязной области комплексной плоскости со спрямляемой границей, диаметром  $d$  и шириной  $w \in (0, \frac{2}{7}]$ . Тогда для любого  $n > n_0 = \frac{4d^2}{w^2} \ln \frac{d}{2w}$  существует полином  $p^* \in \mathcal{P}_n(K)$ , для которого выполняется неравенство

$$c_n^q(K) \leq \frac{\|(p^*)'\|_q}{\|p^*\|_q} \leq 24 \left(1 + \frac{|\partial K|}{d} 2^{q+1}\right)^{\frac{1}{q}} \frac{w}{d^2} n.$$

Более того, если  $K$  – выпукло, то

$$c_n^q(K) \leq \frac{\|(p^*)'\|_q}{\|p^*\|_q} \leq 24(1 + 3 \cdot 2^q)^{\frac{1}{q}} \frac{w}{d^2} n.$$

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы государственной поддержки ведущих университетов РФ (соглашение № 02.A03.21.0006 от 27.08.2013) и гранта РФФИ № 18-01-00336.*

#### Библиографический список

1. Révész Sz.Gy. Turán type reverse Markov inequalities for compact convex sets. // J. Approximation Theory. – 2006. - №141. – P.162-173.

УДК 004.896

## УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ

Еремин В. Е., Мякушко Э. В.

*Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ**г. Снежинск, Челябинская область*

79512432025@yandex.ru

Рассмотрены вопросы контроля движения по направлению робота с исправлением пути на нечеткой логике.

*Ключевые слова:* боковое уклонение, линейной боковое уклонение, нечеткий логический вывод

## CONTROL OF ROBOTIC SYSTEM USING FUZZY LOGIC

Eremin V. E., Myakushko E. V.

*SPhTI NRNU MEPhI, Snezhinsk*

The issues of traffic control in the robot direction with the correction of the path using fuzzy logic are considered.

*Keywords:* cross-track deviation, lineal cross-track deviation, fuzzy inference

Для прохождения робота по линии заданного пути (ЛЗП) необходимо осуществлять контроль движения по направлению. Наиболее сложный вариант, когда движение осуществляется автономно при отсутствии внешних сигналов управления.

При движении робота из начального пункта маршрута (НП) в поворотный пункт маршрута (ПП) под действием вредных внешних факторов происходит отклонение от линии заданного пути (рисунок 1) [2, с. 133]. Это отклонение фиксируется с помощью двух параметров: бокового уклонения (БУ) и линейного бокового уклонения (ЛБУ). Боковое уклонение – это угол, заключенный между линией заданного пути и линией фактического пути следования (ЛФП). Линейное боковое уклонение – это расстояние от линии заданного пути до местоположения робота.

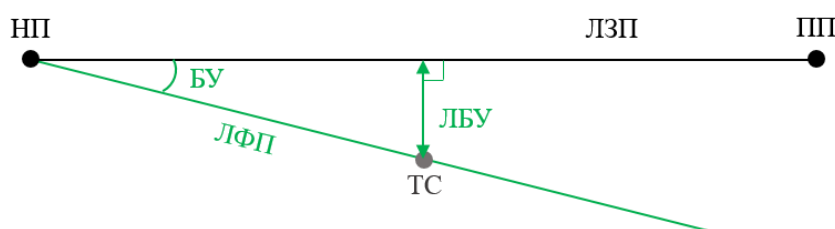


Рисунок 1

Управляющий сигнал формируется на основе нечеткого логического вывода (рисунок 2). Если  $x_{вх1}$  и  $x_{вх2}$ , то  $x_{вых}$  (таблица 1). Графическая интерпретация представлена на рисунке 3.

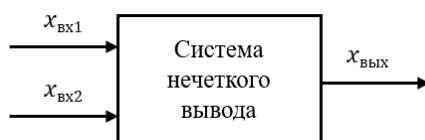


Рисунок 2.

$x_{\text{вх1}}$  – линейное боковое уклонение

$x_{\text{вх2}}$  – скорость изменения линейного бокового уклонения

$$x_{\text{вх2}} = \frac{\Delta x_{\text{вх1}}}{\Delta t} \quad (1)$$

Значения входных переменных формируются на основе фактических данных с использованием нечетких множеств – термов.

Список задействованных термов для определения значений переменных [1, с. 188]:

Z – отклонение отсутствует

PS – положительное маленькое отклонение

PM – положительное среднее отклонение

PB – положительное большое отклонение

NS – отрицательное маленькое отклонение

NM – отрицательное среднее отклонение

NB – отрицательное большое отклонение

Если в результате нечеткого логического вывода получаются два одинаковых терма, то выбирается терм с меньшим весом.

Таблица 1.

$x_{\text{вх2}} \backslash x_{\text{вх1}}$	NB	NS	Z	PS	PB
NS	PB	PM	PS	Z	NS
Z	PM	PS	Z	NS	NM
PS	PS	Z	NS	NM	NB

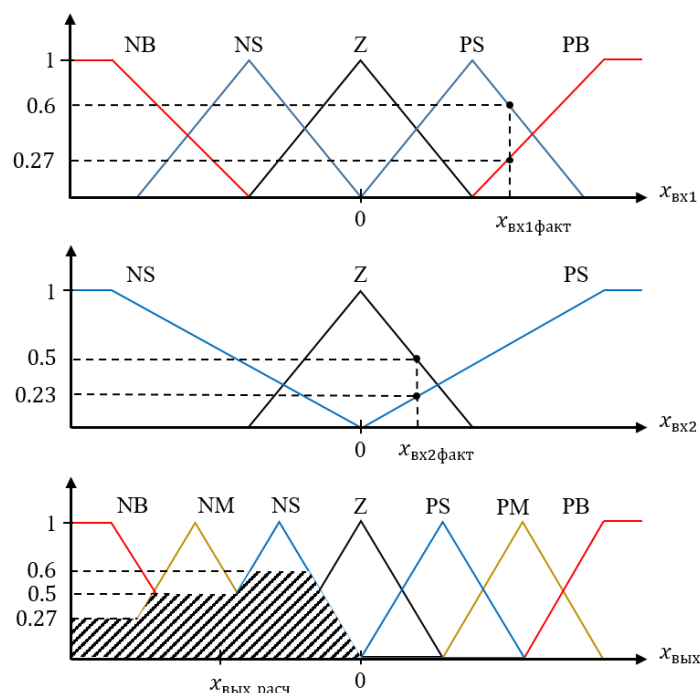


Рисунок 3 – Графическое представление значений функций принадлежности для переменных

Значение управляющего сигнала получаем в результате осреднения значений термов для  $x_{\text{вых}}$  полученных в результате нечеткого логического вывода (формула 2).

$$x_{\text{вых}} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \quad (2)$$

Управляющий сигнал  $x_{\text{вых}}$  подается на систему разворота робота, который исправляет траекторию своего движения и возвращается на линию заданного пути.

#### Библиографический список

1. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.: ил.
2. Черный М. А. Самолетовождение / Черный М. А., Кораблин В. И. – М.: Изд-во КДУ, 2010. – 368 с.

УДК 004.02

### ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Тараканов А. А., Мякушко В. В.

*Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ  
г. Снежинск, Челябинская область*

tarakanovchel@gmail.com

Предложен метод выбора оптимального набора комплекса средств измерения по совокупности их характеристик, на основе математического аппарата нечеткой логики.

*Ключевые слова:* измерительный комплекс, таблица покрытий, критерий оптимальности, нечеткая логика, многокритериальная оптимизация.

### OPTIMIZATION OF A SET OF MEASURING INSTRUMENTS

Tarakanov A. A., Myakushko V. V.

*SPhTI NRNUMEPHI, Snezhinsk*

The method of the choice of optimum set of a complex of gages on the set of their characteristics and on the basis of a mathematical apparatus of fuzzy logic is offered.

*Keywords:* measuring complex, table of coverings, criterion of optimality, fuzzy logic, multicriterion optimization.

При планировании удаленных натурных испытаний возникает задача определения оптимального состава средств, формирующих измерительный комплекс. Подбор измерительного оборудования, с учетом условий проведения испытаний, производится лицом, принимающим решение (ЛПР), на основании следующих факторов:

- количество видов измеряемых параметров (напряжение, ускорение, скорость, перемещение, сила, деформация и т.д.) и их характеристик (погрешность измерения, рабочий диапазон, динамические характеристики и т.д.);



- надежность аппаратуры и достоверность результатов измерения, включающую в себя устойчивость к воздействиям внешней среды (температуре, влажности, давлению), перегрузкам, виброустойчивость, помехоустойчивость и т.д.;
- масса, габариты, стоимость и другие факторы, включая специальные.

Выбор осложняется, когда характеристики средств измерения (СИ) являются комплексными и подбор лучшего варианта становится сложной задачей, которая относится к многокритериальной. На практике, при выборе решения, ЛПР, как правило, руководствуется интуитивными соображениями, что сказывается на качестве принимаемых решений.

Обобщенная постановка задач выбора вариантов при оптимизации состава измерительного комплекса выглядит следующим образом.

Пусть имеется множество вариантов измерительно-регистрирующих средств  $\Pi = \{\pi_1, \dots, \pi_j\}$ , характеризующих совокупностью, т.е. вектором  $U = \{u_1, \dots, u_l\}$ , показателей качества  $u_1, \dots, u_l$ , где число  $l$  может быть значительно больше единицы. Показатели эффективности представлены вектором значений  $A = \{a_{11}, \dots, a_{il}\}$ . Необходимо на множествах исходных вариантов, показателей эффективности и значений показателей эффективности выбрать вариант оптимального соотношения между этими множествами.

Известен ряд способов решения задач многокритериальной оптимизации [1; 2]:

- оптимизация одного признанного наиболее важным критерия, остальные критерии при этом играют роль дополнительных ограничений;
- упорядочение заданного множества критериев и последовательная оптимизация по каждому из них;
- сведение многих критериев к одному введением экспертных весовых коэффициентов для каждого из критериев

Для решения задач многокритериального выбора в последнее время применяют методы решения задач по нечётким данным, область применения которых с каждым годом стремительно расширяется [3; 4]. Основные принципы данных методов могут быть применены для оптимизации состава аппаратного комплекса.

В качестве примера, зададим некоторое множество средств измерений  $\Pi_j$  и измеряемых параметров  $U_l$ . Для минимизации совокупности состава СИ, воспользуемся известным из теории оптимизации алгоритмом диагностирования методом таблиц покрытий.

Таблица 1 – Исходный набор измерительных средств

СИ	Измеряемые параметры ( $U$ )										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1			1	1		
2		1	1	1		1		1	1		
3	1	1	1	1				1			1
4	1	1	1	1			1	1			1
5		1	1		1			1	1	1	
6		1	1	1	1			1	1	1	
7	1		1	1							1
8	1	1	1		1			1	1		
9	1	1	1	1			1	1		1	1

Исходная таблица покрытий, в большинстве случаев содержит избыточный набор средств измерения, и полученная из неё минимальная таблица покрытий ещё не является

оптимальной. Требуется дальнейший выбор по какому-то критерию или, в настоящей постановке задачи, совокупности критериев лишь достаточной части приведенных СИ.

В качестве критерия для построения оптимального покрытия выберем, например, комплекс характеристик - массу  $M$  и быстродействие  $P$  средств измерения. Минимальная таблица покрытий, где количество измеряемых каждой СИ параметров  $N$ , приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Минимальная таблица покрытий

СИ		Измеряемые параметры ( $U$ )								
		1	5	6	7	10	11	N	M [кг]	P [мс]
П	1	1	1					2	16	43
	2			1				1	29	39
	4	1			1		1	3	32	15
	6		1			1		3	25	38
	7	1					1	3	37	34

Очевидно, что для принятия решения по выбору СИ необходимо объединение этих разнородных характеристик в некоторый общий критерий. Предлагается решение этой задачи на основе нечёткой логики.

Критерий, полученный путем выполнения основных этапов нечеткого вывода [5, с. 81], будем называть комплексной единицей  $K$ , а значение его количественной оценки –  $K.e$ .

Условно заданные диапазоны изменения входных, выходных переменных и функции принадлежности переменных представлены в таблице 3.

Для проектирования системы нечеткого вывода воспользуемся программой Fuzzy Logic Toolbox вычислительной среды MATLAB [6].

Полученные функции принадлежности и их графики изображены на рисунках 1-3.

Таблица 3 – Параметры входных и выходных переменных

Параметр	Значение
Масса, кг	[10 40]
Быстродействие, мс	[10 50]
Комплексная единица, к.е.	[0 1]

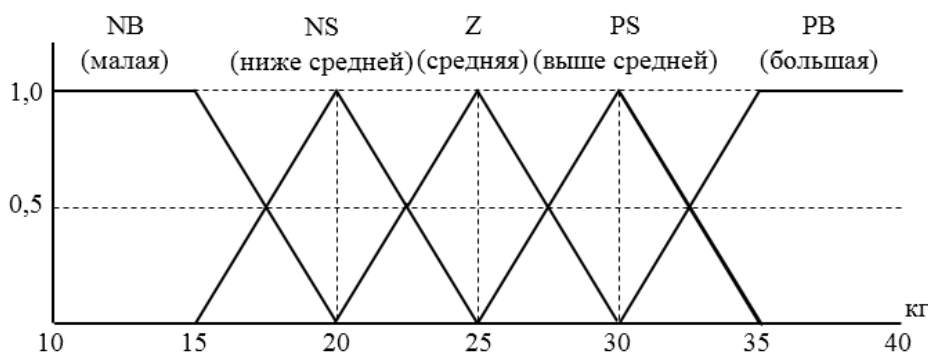


Рисунок 1 – Функция принадлежности для переменной «Масса»

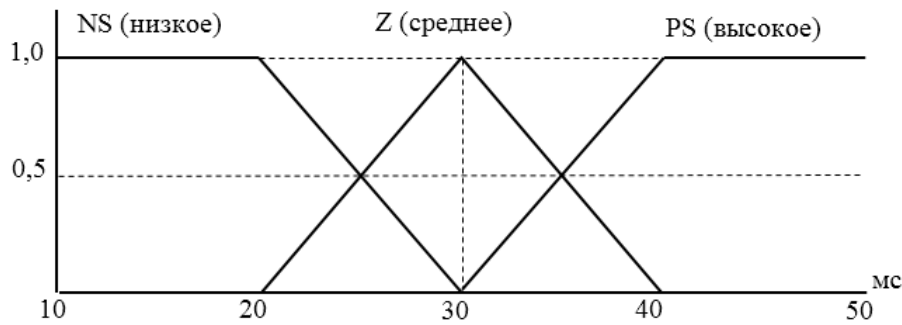


Рисунок 2 – Функция принадлежности для переменной «Быстродействие»

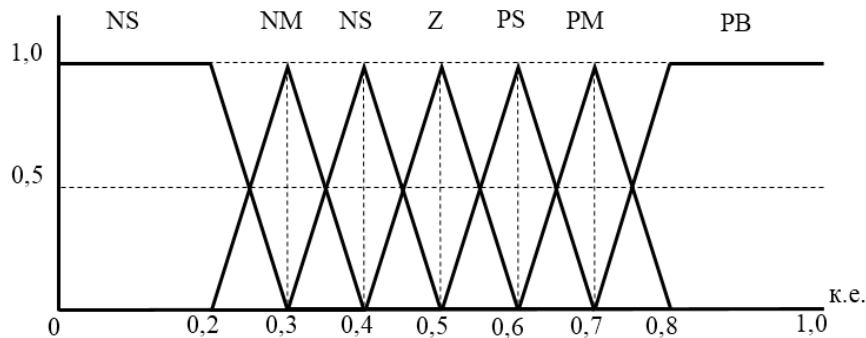


Рисунок 3 – Функция принадлежности для выходной переменной «Комплексная единица»

Сформированная аналитически база правил системы нечеткого вывода приведена в таблице 4.

Таблица 4 – База правил

C/M	NB	NS	Z	PS	PB
NS	PB	PM	PS	Z	NS
Z	PM	PS	Z	NS	NM
PS	PS	Z	NS	NM	NB

В результате дефаззификации базы правил системы нечеткого вывода и получения выходной комплексной переменной, минимальная таблица покрытий и неоптимальный граф решения имеют следующий вид (таблица 5 и рисунок 4 соответственно).

Из таблицы 5 видно, что измерение заданных параметров (покрытие) может быть реализовано лишь частью СИ. Возможные пути поиска решений – полный перебор возможных вариантов или более короткий – обход дерева решений. Однако наибольшее распространение получил метод ветвей и границ, в основе которого лежит идея последовательного разбиения множества допустимых решений [2].

В соответствии с данным методом расположим комплексные единицы  $K$  средств измерения в неубывающем порядке:

$$k_7 \leq k_2 \leq k_4 \leq k_6 \leq k_1 \quad (1)$$

Возьмем первые  $n$  членов ряда, которые удовлетворяют условиям:

$$\sum_{j=1}^n k_j \geq C \quad \text{и} \quad \sum_{j=1}^{n-1} k_j \leq C \quad (2)$$

где  $C$  – число столбцов таблицы покрытий.

Число  $n$  является нижней границей длины нестроеного покрытия таблицы покрытий. Это следует из того, что любые  $n-1$  ее строк не являются покрытием.

Исходя из условия (2), для получения оптимального по комплексной единице покрытия, необходимо взять средства измерения  $\pi_2$ ,  $\pi_6$  и  $\pi_7$ . Граф минимального решения представлен на рисунке 5.

Таблица 5 – Минимальная таблица покрытий

СИ	Измеряемые параметры (U)									
	1	5	6	7	10	11	N	M [кг]	P [мс]	K [к.е.]
1	1	1					2	16	43	0,576
2			1				1	29	39	0,342
4	1			1		1	3	32	15	0,404
6		1		1	1		3	25	38	0,424
7	1	1				1	3	37	34	0,264

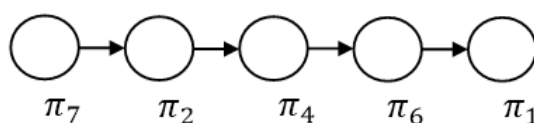


Рисунок 4 – Неоптимальный граф решения

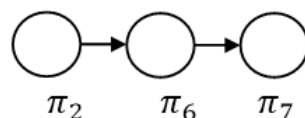


Рисунок 5 – Граф минимального решения

Данный метод позволит оптимизировать количественный состав аппаратных измерительных комплексов и, как следствие, обеспечит требуемое качество измерений при минимальных затратах на СИ.

#### Библиографический список

1. Макаров О.Ю. Методы многокритериальной оценки / О.Ю. Макаров, В.В. Цветков // Вестник ВГУ, 2009. – С.133-135.
2. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. – М.: «Сов. радио», 1975. – 368 с.
3. Семенов, Б. А. Решение задачи многокритериальной оптимизации при нечетких критериях / Б. А. Семенов, Т. М. Леденева // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии, 2007, №2. – С. 50-54.
4. Chen S. J. Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications / S. J. Chen, C. L. Hwang. — N.Y. : Springer-Verlag, 1992.
5. Финаев В.И. Перспективы решения задач управления в условиях неопределённости / В.И. Финаев // Известия ЮФУ. Технические науки, 2014. – С. 79-85.
6. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 706 с.

УДК 004.021

**МИНИМИЗАЦИЯ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ ПО МЕТОДУ БРЖОЗОВСКОГО**

Пономарев В. В.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ,  
г. Озёрск, Челябинская область*

245-59@mail.ru

Рассматривается алгоритм минимизации конечного автомата по методу Бржозовского. Уточняются понятия ДКА и минимального конечного автомата на основе правого и левого языков состояний конечного автомата. Приводится доказательство корректности алгоритма.

*Ключевые слова:* конечный автомат, НКА, ДКА, минимизация конечного автомата, алгоритм Бржозовского, детерминизация НКА.

**BRZOWSKI'S FINITE AUTOMATA MINIMIZATION ALGORITHM**

Ponomarev V. V.

*OTI NRNU MPhI*

We discuss Brzowski's finite automata minimization algorithm. Then we sketchy define the DFA and the minimal finite automation using the conception of the right and left languages of the finite automation's state. The proof of Brzowski's algorithm correctness is provided.

*Keywords:* finite automation, NFA, DFA, minimization of finite automata, Brzowski's algorithm, NFA determinization.

В отечественной литературе по теории автоматов практически не упоминается самый интригующий способ минимизации конечных автоматов – алгоритм польско-канадского ученого в области компьютерных наук (computer scientist) Януша Бржозовского [1].

Конечный автомат (КА), – это пятерка  $M(Q, \Sigma, \delta, I, F)$ , где  $Q$  – множество состояний,  $\Sigma$  – входной алфавит,  $\delta$  – функция переходов,  $I \subseteq Q$  – множество начальных,  $F \subseteq Q$  – множество финальных (допускающих) состояний. Запись перехода  $r \in \delta(q, y)$  предписывает автомату перейти в состояние  $r \in Q$ , если он находится в состоянии  $q \in Q$ , и обозревает символ  $y \in \Sigma$ .

Минимизация конечного автомата, – это устранение таких его состояний, которые являются избыточными для корректной работы. Важность минимизации заключается в том, что при автоматическом построении конечных автоматов на основе регулярных выражений не удастся получить как детерминированный, так и минимизированный конечный автомат, что в конечном итоге влияет на скорость вычисления регулярных выражений.

В английской википедии упоминаются три самых известных метода минимизации: 1) алгоритм Хопкрофта (Hopcroft, 1971) с оценкой сложности  $O(ns \log n)$ , где  $n$  – количество состояний,  $s$  – количество входных символов, 2) алгоритм Мура (Moore, 1956) с оценкой сложности  $O(n^2s)$ , и 3) алгоритм Бржозовского (Brzowski, 1962), сложность которого в худшем случае оценивается как экспоненциальная  $O(2^n)$  [2].

В исследовании [3] алгоритма Бржозовского приведены следующие слова: «Алгоритм Бржозовского и простой, и загадочный. В его основе лежат две понятные базовые операции. Однако действие алгоритма не так очевидно. Его средняя сложность и фактическая эффективность до сих пор неизвестны или необъяснимы.».



Обозначая  $R(A)$  функцию, которая инвертирует автомат  $A$ , а  $D(A)$  – функцию, которая детерминирует  $A$ , алгоритм Бржозовского выражает формула  $min A = D(R(D(R(A))))$ .

Иначе говоря, это последовательность четырех шагов:

- шаг 1: инвертирование,
- шаг 2: детерминизация,
- шаг 3: инвертирование,
- шаг 4: детерминизация.

Чтобы понять, как работает алгоритм Бржозовского, нужно уточнить, какой конечный автомат является недетерминированным, а какой – не минимизированным.

Рассмотрим конечный автомат  $A_1$ , граф которого приведен на рисунке 1 слева.

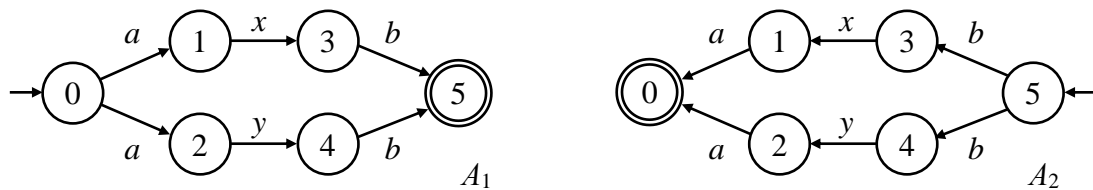


Рисунок 1

Данный автомат не является ни детерминированным, ни минимизированным.

Автомат  $A_1$  недетерминированный, потому что из одного состояния 0 он переходит по символу "a" в два других состояния 1 и 2. Иначе говоря, из одного состояния выходит две одинаково помеченные стрелки. Автомат  $A_1$  не минимизирован, потому что в одно и то же состояние 5 есть два перехода по символу "b" из двух других состояний 3 и 4. То есть в одно и то же состояние приходят две одинаково помеченные стрелки. Количество одинаково помеченных стрелок в том и другом случае может быть произвольным, но не менее двух.

После инвертирования автомата  $A_1$ , получим автомат  $A_2$ , показанный на рисунке 1 справа. Стрелки, которые ранее указывали на отсутствии детерминированности, теперь указывают на отсутствие минимизированности, и наоборот. То есть неминимизированность есть обратная сторона недетерминированности, или же наоборот.

После первой детерминизации получим  $A_3$ , показанный на рисунке 2 слева. На этом же рисунке справа показан результат второй инверсии  $A_3$ , – автомат  $A_4$ .

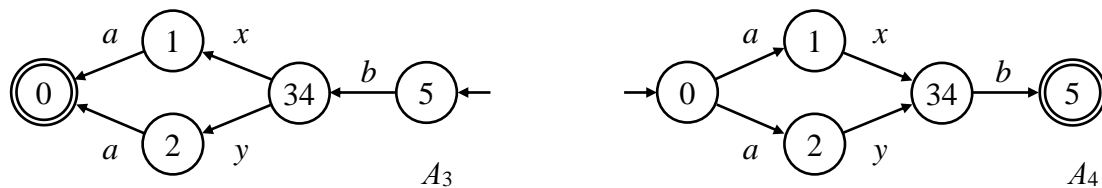


Рисунок 2

Устраняя недетерминированность состояния 0 автомата  $A_4$ , окончательно получим автомат  $A_5$ , показанный на рисунке 3.

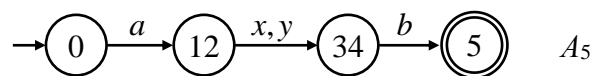


Рисунок 3

Таким образом, первая детерминизация минимизирует  $A_1$ , а вторая детерминирует.

Может сложиться впечатление, что условием избыточности является наличие нескольких переходов по одному символу в одно и то же состояние. Это не так. Наличие таких переходов является необходимым, но не достаточным условием.

Рассмотрим работу алгоритма на примере автомата  $A_6$  (рисунок 4).

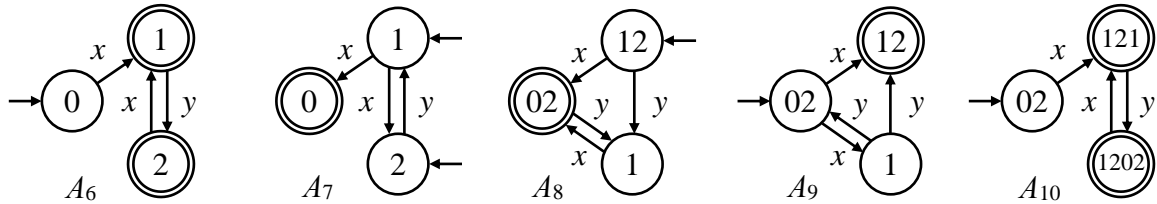


Рисунок 4

В автомате  $A_6$  в состояние 1 ведут две стрелки, помеченные "x", но состояния 0 и 2 не могут быть объединены, потому что необходимо, чтобы автомат принимал одни и те же цепочки из этих состояний. Из состояния 2 принимается пустая цепочка, а из 0 нет.

Формально, если обозначить  $L(q)$  язык, принимаемый автоматом из состояния  $q$ , то требуется  $L(p) = L(q)$  для того, чтобы состояния  $p$  и  $q$  можно было объединить [4].

Загадочность алгоритма Бржозовского заключается в том, что он не занимается минимизацией как таковой, а детерминирует обратный и прямой автоматы.

При этом, если на шаге 2 кажущаяся избыточность была устранена, то на шаге 4 она восстанавливается (состояние 02 автомата  $A_9$ ), поэтому автоматы  $A_{10}$  и  $A_6$  эквивалентны.

Следуя изложению [3], язык  $L(q)$  назовем правым языком  $L_r(q)$  автомата  $A$ . Язык  $L_l(q)$  назовем левым языком автомата  $A$ , при этом  $q$  принимается за единственное финальное состояние (левый язык, – это цепочки, распознаваемые автоматом до состояния  $q$ , а правый язык – после состояния  $q$  включительно).

Тогда можно обосновать следующие гипотезы:

1.  $A$  является детерминированным тогда и только тогда, когда левые языки всех его состояний попарно не пересекаются [3, с.3].  $A_9$  является НКА:  $L_l(1) \cap L_l(12) = \{x\}$ .

2. Если  $A$  распознает язык  $L$ , то  $R(A)$  распознает язык  $r(L)$  (инверсию языка  $L$ ) [3, с.4]. Действительно,  $A_2 = R(A_1)$ ,  $L(A_1) = a(x+y)b$ ,  $L(A_2) = b(x+y)a$ .

3. Если  $L_l(q)$  (соответственно  $L_r(q)$ ) – левый (соответственно правый) язык состояния  $q$  автомата  $A$ , то его левым (соответственно правым) языком в автомате  $R(A)$  является  $L_r(q)$  (соответственно  $L_l(q)$ ) [3, с.4]. Действительно,  $A_2 = R(A_1)$ ,  $L^{A_2}_l(3) = L^{A_1}_r(3) = \{b\}$ .

4. Правый язык состояния  $q'$  автомата  $D(A)$  является объединением правых языков состояний  $q$  автомата  $A$ , при условии  $|\delta(q, x)| > 1$  для некоторого  $x \in \Sigma$  [3, с.4]. Действительно,  $A_5 = D(A_4)$ ,  $L^{A_4}_r(0) = \{\{axb\}, \{ayb\}\}$ ,  $L^{A_5}_r(0) = \{axb\} \cup \{ayb\}$ .

5. Автомат  $A$  является минимальным тогда и только тогда, когда правые языки всех его состояний различаются [3, с.5].  $A_1$  не является минимальным:  $L_r(3) = L_r(4) = \{b\}$ .

Доказательство формулы Бржозовского следует из гипотез 1–5 [3, с.5-6].

Для простоты будем записывать  $D(R(D(R(A))))$  как  $drdr(A)$ ,  $R(D(R(A)))$  как  $rdr(A)$  и т.д.

Теорема Бржозовского: Если есть автомат  $A$ , распознающий регулярный язык  $L$ , минимальный ДКА  $A_L$ , распознающий  $L$ , может быть вычислен по формуле  $A_L = drdr(A)$ .

Доказательство:  $A_L$  является ДКА по конструкции формулы. В силу 2  $A_L$  распознает  $L$ . Из 1 следует, что левые языки  $dr(A)$  попарно не пересекаются. Из 3 следует, что правые языки  $rdr(A)$  являются левыми языками  $dr(A)$ , поэтому они попарно не пересекаются. Из 4 следует, что правый язык  $drdr(A)$  является объединением правых языков  $rdr(A)$ . Так как правые языки  $rdr(A)$  попарно не пересекаются, правые языки  $drdr(A)$  различны, и в силу 5  $A_L$  является минимальным.

Вычислительная сложность алгоритма Бржозовского определяется алгоритмом детерминизации. Поскольку НКА с  $n$  состояниями теоретически может привести к ДКА с числом состояний  $2^n - 1$ , все зависит от исходного конечного автомата [5]. Разные источники утверждают, что фактическая эффективность алгоритма Бржозовского не хуже или лучше эффективности алгоритма Хопкрофта [3; 6]. Заметим, что минимизация другими способами предполагает предварительную детерминизацию, и утверждение, что алгоритм Бржозовского может потребовать большого числа состояний может быть отнесено и к другим алгоритмам. Собственные скромные исследования показывают, что случаи, когда детерминизация ведет к экспоненциальному росту числа состояний ДКА, редки, в среднем количество состояний не превышает  $n^2$ . Кроме того, исследования показывают, что при определенной организации вычислительного процесса значение имеет только количество переходов.

#### Библиографический список

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Janusz\\_Brzozowski\\_\(computer\\_scientist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Janusz_Brzozowski_(computer_scientist)).
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/DFA\\_minimization](https://en.wikipedia.org/wiki/DFA_minimization).
3. [http://masters.donntu.org/2011/fknt/tatolov/library/champarnaud\\_khorsiparanthoen.pdf](http://masters.donntu.org/2011/fknt/tatolov/library/champarnaud_khorsiparanthoen.pdf).
4. <https://egtheory.wordpress.com/2013/09/18/minimizing-finite-state-automata/>.
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Powerset\\_construction](https://en.wikipedia.org/wiki/Powerset_construction).
6. [http://www.academia.edu/2663311/Experimental\\_evaluation\\_of\\_classical\\_automata\\_constructions](http://www.academia.edu/2663311/Experimental_evaluation_of_classical_automata_constructions).

#### УДК 004.4

### ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА ЦЕПОЧЕК ПРОИЗВОЛЬНОГО КС-ЯЗЫКА АЛГОРИТМОМ НИСХОДЯЩЕГО РАЗБОРА С ВОЗВРАТАМИ

Баинбетова В. В., Пономарев В. В.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ,  
г. Озёрск, Челябинская область*

bainbetova@mail.ru, 245-59@mail.ru

Рассматриваются структуры данных для программы синтаксического разбора цепочек произвольных КС-языков алгоритмом нисходящего разбора с возвратами в случае, когда символы грамматики заданы много-символьными идентификаторами.

*Ключевые слова:* КС-грамматика, КС-язык, терминальный символ, нетерминальный символ, лексический анализ, синтаксический разбор.

### THE PROGRAM FOR THE PARSING OF CHAINS IN AN ARBITRARY CF-LANGUAGE BY THE TOP-DOWN PARSER WITH BACKTRACING

Bainbetova V. V., Ponomarev V. V.

*OTI NRNU MPhI*

Data structures needed are discussed in order to develop a program for the parsing of chains in an arbitrary CF-language by the top-down parser with backtracing, when multi-character identifiers are used as grammar symbols.

*Keywords:* CF-grammar, CF-language, terminal, nonterminal, lexical analysis, parsing.

Определение принадлежности некоторой цепочки символов произвольному контекстно-свободному языку (сокращенно КС-языку) является нетривиальной задачей в академических исследованиях. Построение распознавателя типа LL и тем более типа LR для произвольного КС-языка не представляется возможным, поскольку требует приведения грамматики языка к определенной форме и построения синтаксических таблиц.

В этих условиях имеет смысл использовать алгоритмы, применимые к произвольным приведенным контекстно-свободным грамматикам (КС-грамматикам).

Известны универсальные алгоритмы распознавания цепочек произвольных КС-языков, такие как алгоритм Кока-Янгера-Касами, алгоритм Эрли, а также алгоритмы с возвратами, использующие полный перебор. При этом первый из алгоритмов требует приведения грамматики к нормальной форме Хомского, а для второго алгоритма требуется построение сложных таблиц [1, с.326; 2, с.82].

Существует также проблема описания грамматики с использованием однобуквенных символов. Использование идентификаторов произвольной длины для описания символов грамматики значительно улучшает её читаемость.

В ходе курсового проектирования разработано консольное приложение, которое, принимая на входе файл с описанием грамматики и входной цепочкой, пытается построить левосторонний вывод цепочки при помощи алгоритма нисходящего разбора с возвратами, выполняющего синтаксический разбор.

Для описания грамматики используется формат программы SYNAX, в котором идентификаторы нетерминальных символов заключаются в угловые скобки, в то время как идентификаторы терминальных символов заключаются в квадратные скобки. Это дает возможность применять произвольные идентификаторы как нетерминальных, так и терминальных символов грамматики [3, с.7].

Использование идентификаторов для символов упрощает описание грамматик, но затрудняет их представление и анализ. Поэтому было разработано внутреннее представление грамматики в виде нескольких массивов целочисленных индексов и массивов идентификаторов.

Предлагается использовать во внутреннем представлении положительные числа для описания терминальных символов, и отрицательные числа для нетерминальных.

При чтении описания грамматики и обнаружении идентификатора нетерминального символа формируется запись в массиве идентификаторов нетерминальных символов, отрицательное значение индекса которой используется как нетерминальный символ в правилах, вспомогательных массивах, и в алгоритме синтаксического разбора. Аналогичным образом при обнаружении в описании терминального символа формируется запись в массиве терминальных символов, значение индекса которой используется как терминальный символ.

При этом правило описывается как массив целых чисел, где терминальные и нетерминальные символы пронумерованы положительными или отрицательными значениями с отсчетом от единицы или от минус единицы. Все правила образуют массив, индексами которого являются номера правил в описании грамматики.

Для реализации алгоритма с подбором альтернатив формируются массив левых нетерминальных символов правил, массив первых альтернатив, массив последующих альтернатив. Индексами этих массивов являются номера правил для первого из массивов, и абсолютные значения нетерминальных символов для остальных массивов.

Использование положительных и отрицательных значений для представления терминальных и нетерминальных символов позволило также упростить формирование стеков, используемых в алгоритме.

На стеке вывода L1 размещаются выбранные альтернативы и терминальные символы грамматики, которые образуют непересекающиеся множества за счет того, что альтернативы

записываются отрицательными значениями. На стеке текущей лево-выводимой цепочки L2 размещаются символы грамматики, которые уже образуют два непересекающихся множества.

Входная цепочка во входном файле записывается после грамматики, признаком окончания грамматики и началом цепочки является символ точки. Поскольку входная цепочка записывается произвольными идентификаторами, требуется лексический анализ цепочки и формирование её записи в виде последовательности номеров нетерминальных символов.

При этом возникает проблема различения идентификаторов пользователя, таких как «count», и идентификаторов языка, таких, как «while». Кроме того, требуется также обозначение числовых констант. Для этого перед началом анализа грамматики в массив идентификаторов записываются три предопределенных идентификатора: «ID», «NUM» и «LF». Последний идентификатор используется при описании языков, в которых конец строки формирует терминальный символ. При описании грамматики для обозначения идентификаторов пользователя, числовых констант и концов строк следует использовать указанные предопределенные идентификаторы.

Разработанное приложение позволяет для произвольной КС-грамматики проверить принадлежность произвольного текста языку, который описывает данная грамматика, и получить последовательность применения правил грамматики.

#### Библиографический список

1. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Том 1. Синтаксический анализ. Пер. с англ. М.: Мир, 1978.
2. Пономарев Вл. Конспективное изложение теории языков программирования и методов трансляции. Учебно-методическое пособие. В двух книгах. Книга 1. Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 204 с., ил. (электронное издание).
3. Пономарев Вл. Практикум по теории языков программирования и методам трансляции. Учебно-методическое пособие. Часть 1. Преобразование грамматик и конечных автоматов. Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 106 с. (электронное издание).

#### УДК 004.4

#### ЯЗЫК И ПРОГРАММА РАЗМЕТКИ HTML-СТРАНИЦ ТЕГАМИ <TABLE>

Тухватуллина А. Р., Пономарев В. В.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ,  
г. Озёрск, Челябинская область*

anzhela-12@mail.ru, 245-59@mail.ru

Рассматривается язык описания разметки HTML-страницы в виде сопряженных не перекрывающихся прямоугольных областей и программа-компилятор строк этого языка. Для формирования разметки используются теги <Table>.

*Ключевые слова:* HTML-страница, HTML-разметка, HTML-тег, КС-язык, компилятор.

## THE LANGUAGE AND THE PROGRAM FOR MAKING LAYOUT OF THE HTML-PAGE WITH TABLE TAGS

Tukhvatullina A. R., Ponomarev V. V.

*OTI NRNU MEPhI*

The language describing the layout of the HTML-page and the compiler for this language are considered. The layout formed is a set of adjacent non-overlapping rectangular areas. <Table> tags are used to mark-up the layout.

*Keywords:* HTML-page, HTML-layout, HTML-tag, CF-language, compiler.

При проектировании web-приложений часто возникает задача разметки HTML-страницы на области для вывода контента. Для этой цели обычно используют контейнерные элементы HTML <Div> или <Table>.

Разметка при помощи элементов <Div> позволяет создавать более сложные варианты размещения областей, например, перекрывающиеся. Разметка при помощи элемента <Table> более проста и точна, однако приводит к большой вложенности элементов HTML. Тем не менее, во многих случаях разметка при помощи элемента <Table> предпочтительнее.

Для этой цели могут быть использованы различные программы, как правило, не бесплатные, и, кроме того, предоставляющие еще множество других возможностей. На практике часто нужно быстро выполнить разметку в ходе проектирования страницы.

В связи с этим было предложено разработать КС-язык, описывающий разметку, и компилятор этого языка, генерирующий код разметки.

Символами языка являются точка, круглые скобки и косая черта (слеш).

Точка обозначает ячейку таблицы. Последовательность горизонтальных ячеек обозначается последовательностью соответствующего числа точек.

Для формирования столбца ячеек используются скобки и слеш.

Например, запись  $(././.)$  обозначает три ячейки по вертикали.

Для построения компилятора была разработана следующая грамматика:

$$A \rightarrow .A \mid (.A /.AB)A \mid \lambda$$

$$B \rightarrow /.AB \mid \lambda$$

Здесь  $\lambda$  обозначает пустую цепочку.

Эта грамматика относится к классу LL(1) [1, с.103], распознаватель которой строится относительно просто [2, с.66].

Грамматика была преобразована в следующую трансляционную грамматику:

$$A \rightarrow .\{O1\}A \mid (\{O2\}.\{O1\}A /\{O4\}.\{O1\}AB)\{O3\}A \mid \lambda$$

$$B \rightarrow /\{O4\}.\{O1\}AB \mid \lambda$$

Операционные символы  $O_n$  выводят в выходной файл типа HTML следующие строки:

$\{O1\}$ : <td>&nbsp;

$\{O2\}$ : <td><table...><tr>

$\{O3\}$ : </table>

$\{O4\}$ : </table><table...><tr>

В начале выходного файла выводится строка "<table...><tr>", в конце выходного файла выводится строка "</table>".

Распознаватель представляет собой консольное приложение, параметром которого является путь к файлу с записью разметки на рассматриваемом языке. Распознаватель считывает файл, проверяет синтаксическую правильность записи разметки, и формирует текст разметки в выходном файле. Полученный текст может быть вставлен непосредственно в проектируемую HTML-страницу.



Для входного текста (../...) приложение генерирует следующий текст:

```
<table border='1' cellspacing='0' cellpadding='8' ><tr>
<td><table border='1' cellspacing='0' cellpadding='8' width='100%'><tr>
<td>&nbsp;<td>&nbsp;</table>
<table border='1' cellspacing='0' cellpadding='8' width='100%'><tr>
<td>&nbsp;<td>&nbsp;<td>&nbsp;</table>
</table>
```

На рисунке 1 показан результат отображения этого текста в браузере.

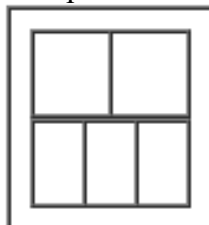


Рис. 1.

#### Библиографический список

1. Пономарев Вл. Конспективное изложение теории языков программирования и методов трансляции. Учебно-методическое пособие. В двух книгах. Книга 1. Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 204 с., ил. (электронное издание).
2. Пономарев Вл. Практикум по теории языков программирования и методам трансляции. Учебно-методическое пособие. Часть 2. Лексический и синтаксический анализ языков программирования. Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 100 с. (электронное издание).

#### УДК 004.4

### ЯЗЫК И ИНТЕРПРЕТАТОР ОПИСАНИЯ ВИЗИТНЫХ КАРТОЧЕК

Горночакова И. С.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ,  
г. Озёрск, Челябинская область*

sfinks\_94@mail.ru

Рассматривается контекстно-свободный язык для описания визитной карточки. Преобразование входного текста на этом языке в изображение визитной карточки выполняет разработанная программа-интерпретатор. Кратко описывается процесс интерпретации.

*Ключевые слова:* визитная карточка, КС-язык, КС-грамматика, лексический анализ, синтаксический разбор, ПОЛИЗ.

### THE LANGUAGE AND THE INTERPRETER APPLICATION FOR COMPOSING BUSINESS CARDS

Gornochakova I. S.

*OTI NRNU MPhI*

Context-free language describing the business card is considered. Transformation of the input text in this language into the image of the business card is performed by the developed interpreter application. The process of interpretation is also briefly discussed.

*Keywords:* business card, CF-language, CF-grammar, lexical analysis, parsing, reverse Polish notation.

Визитная карточка (визитка) – традиционный носитель контактной информации о человеке или организации, обязательный атрибут современного делового общения. Очень часто возникает необходимость создания индивидуальной визитной карточки.

Для этой цели в ходе курсового проектирования разработано приложение, которое принимает описание визитной карточки на разработанном языке, а на выходе получает готовую визитную карточку в виде файла картинки.

Для описания визитной карточки был разработан КС-язык, состоящий из простых предложений. Предложения представляют собой набор ключевых слов и параметров для указания расположения элементов, их цвета и других видов форматирования.

Для разработки грамматики использовалась программа ReVoL SYNAX. На вход этой программы подается текст грамматики в формате, в котором нетерминальные символы заключены в угловые скобки, терминальные символы заключены в квадратные скобки, вместо стрелки используется знак равенства, пустая строка обозначается точкой или пропуском. Первая строка текста грамматики содержит целевой символ [1, с.7].

Разработанная КС-грамматика имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} M &\rightarrow B T T' \\ B &\rightarrow \text{rect } P \\ T &\rightarrow \text{id } O \\ T' &\rightarrow T T' \mid \lambda \\ P &\rightarrow ( C ) \mid \lambda \\ O &\rightarrow ( A ) \mid \lambda \\ C &\rightarrow \text{red num } C \mid \text{blue num } C \mid \text{green num } C \mid \lambda \\ A &\rightarrow \text{red num } A \mid \text{blue num } A \mid \text{green num } A \\ A &\rightarrow \text{font id } A \mid \text{num } A \mid \text{bold } A \mid \text{italic } A \\ A &\rightarrow \text{left num } A \mid \text{top num } A \\ A &\rightarrow \lambda \end{aligned}$$

Эта грамматика принадлежит к классу LL(1) [2, с.102], и построение распознавателя для нее является относительно простой задачей. Для построения картинки данная грамматика была преобразована в следующую трансляционную грамматику:

$$\begin{aligned} M &\rightarrow B T T' \\ B &\rightarrow \text{rect } P \\ T &\rightarrow \text{id } \{ \text{IDT} \} O \\ T' &\rightarrow T T' \mid \lambda \\ P &\rightarrow \{ \text{CC} \} \{ \text{RECT} \} \mid ( \{ \text{CC} \} C ) \{ \text{RECT} \} \\ O &\rightarrow ( \{ \text{CC} \} A ) \{ \text{TEXT} \} \mid \{ \text{CC} \} \{ \text{TEXT} \} \\ C &\rightarrow \text{red num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{RED} \} C \mid \text{blue num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{BLUE} \} C \\ C &\rightarrow \text{green num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{GREEN} \} C \mid \lambda \\ A &\rightarrow \text{red num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{RED} \} A \mid \text{blue num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{BLUE} \} A \\ A &\rightarrow \text{green num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{GREEN} \} A \\ A &\rightarrow \text{font id } \{ \text{IDF} \} \{ \text{FONT} \} A \mid \text{num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{SIZE} \} A \\ A &\rightarrow \text{bold } \{ \text{BOLD} \} A \mid \text{italic } \{ \text{ITALIC} \} A \\ A &\rightarrow \text{left num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{LEFT} \} A \mid \text{top num } \{ \text{NUM} \} \{ \text{TOP} \} A \\ A &\rightarrow \lambda \end{aligned}$$

Операционные символы, заключенные в фигурные скобки, во время синтаксического разбора выполняют запись действий в форме ПОЛИЗ во внутреннее представление.

Программа интерпретатора языка описания визитных карточек представляет собой оконное приложение, в котором можно ввести текст и сразу увидеть результат, – картинку, которую можно сохранить в виде файла формата emf.

При этом выполняется лексический анализ текста, а затем синтаксический разбор.

В лексическом анализе входные символы заменяются псевдо-символами, такими, как «цифра», «буква» и т.п., что упрощает построение анализатора. Лексический анализатор формирует поток токенов в виде массива структур с необходимой информацией для последующего синтаксического разбора.

Синтаксический анализатор реализует МП-автомат с подбором альтернатив, используя синтаксическую таблицу, построенную программой SYNAX. Обработка ошибок реализована с помощью той же синтаксической таблицы, в которую вручную записаны номера сообщений об ошибках синтаксических правил.

Во время синтаксического разбора генерируется внутреннее представление входного текста в виде ПОЛИЗ, которая организована в виде массива элементов. Элементы ПОЛИЗ хранят такую информацию, как назначение элемента, значение переменной, номер строки и позиция во входном тексте. После формирования ПОЛИЗ она интерпретируется разработанной исполняющей стековой машиной, в результате чего формируются вызовы системных функций, рисующих требуемое изображение. Полученное изображение далее может быть сохранено в метафайл.

#### Библиографический список

1. Пономарев Вл. Практикум по теории языков программирования и методам трансляции. Учебно-методическое пособие. Часть 1. Преобразование грамматик и конечных автоматов. Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 106 с. (электронное издание)
2. Пономарев Вл. Конспективное изложение теории языков программирования и методов трансляции. Учебно-методическое пособие. В двух книгах. Книга 1. Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 204 с., ил. (электронное издание).

**УДК 378.096**

### **ОТРАЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРОФЕССИОНАЛИЗМА В ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЕ**

Акопян О. В., Ананьина Е. В.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ*

*г. Озёрск, Челябинская область*

*OTIkafVM@mephi.ru*

Одним из важных аспектов функционирования любой отрасли является экологический. Это влечёт необходимость включения в характеристику профессионала экологической составляющей. В статье рассматриваются подходы к отображению экологических свойств профессионала в педагогической литературе.

*Ключевые слова:* профессионализм, экологическая составляющая профессионализма, компетенции.

## REFLECTION OF THE ECOLOGICAL COMPONENT OF PROFESSIONALISM IN PEDAGOGICAL LITERATURE

Akopyan O. V., Ananyina E. V.

*OTI NRNU MEPhI. Ozersk*

One of the important aspects of functioning of any industry is the ecological one. This entails the need to include the environmental component in a professional characterization. The article deals with the approaches to mapping the ecological properties of a professional in pedagogical literature.

*Keywords:* professionalism, ecological component of professionalism, competence.

Сохранение природы и улучшение окружающей среды – приоритетные направления деятельности государства и общества [8], требуют нормирование воздействия на окружающую среду, переход на наилучшие доступные технологии, а также экологическое просвещение. Отсюда следует целесообразность отображения вопросов экологической безопасности в требованиях к профессионализму специалиста с высшим образованием. Поэтому характеристика профессионала должна содержать составляющую, отражающую способность выполнения работы человеком в соответствии с нормами экологической безопасности. Рассмотрим, как названная способность отражена в представлениях о профессионале в педагогической литературе.

Сербские исследователи полагают (1987-1997 гг.), что образование по охране окружающей среды должно занять своё место во всех учебных областях *при подготовке всех специалистов* [3, с. 346]. Ими рассматривалось понятие «экологическое сознание» – сознание, которое охватывает наши представления, способы поведения, сферу деятельности, желания и ожидания, касающиеся окружающей природной среды [3, с.328-335]. Его элементами являются

- экологические знания (знания о конкретных формах нарушения экологического равновесия, которые позволяют осмысливать экологические проблемы в глобальном плане и их решение в каждом конкретном случае);
- оценка экологической ситуации (формируется под влиянием системы ценностей общества, в которых проявляется отношение общества к окружающей среде);
- экологическое поведение (конкретные действия по решению экологических проблем; определяется экоданными, системой ценностей и такими факторами как особенности личности, потребностями человека и возможностями их удовлетворения).

В модель *выпускника университета* В.Г. Пищулин включил (2002 г.) связанные с экологией свойства, относя их к «личностной компетентности», характерной для *специалистов любого профиля* [5, с. 26]. Эту составляющую личностной компетентности он назвал экологической. В основе этой составляющей находятся общие законы развития общества и природы, экологическая ответственность за профессиональную деятельность.

А.А. Ниязова (2012 г.) в качестве таких свойств предлагает использовать понятие «экологическая культура» и рассматривает его как необходимую интегративную характеристику, и также в *системе подготовки любого направления* [4]. Компонентами экологической культуры выделены

- экологические знания (ключевой компонент);
- экологические эмоции и чувства;
- экологические убеждения;
- экологически оправданное поведение личности, характеризующееся степенью применения экологических знаний, культуры чувств, а также участием человека в разнообразной деятельности, направленной на сохранение природной среды, и готовностью к

осуществлению активной экологической деятельности, в основе которой лежит мотивация взаимодействия человека с природой.

В.А. Ермоленко и Н.В. Морозова рассматривают экологическую культуру и её формирование у будущих специалистов в процессе их обучения *в рамках любой профессиональной образовательной программы*. Экологическая культура, в их понимании, – «... составляющая нравственно-духовной сферы жизнедеятельности человека, которая характеризует своеобразие его взаимодействия с природой и включает в себя систему взаимосвязанных элементов экологического мировоззрения: экологическое сознание, экологическое отношение и экологическую деятельность» [1, с. 163]. Становление экологической культуры происходит поэтапно – через последовательное формирование экологической грамотности, экологической образованности, экологической составляющей профессиональной компетентности.

Рассматривая экосвойства, характеризующие профессиональные качества *педагога*, А.Г. Тимофеева (2015 г. – квалификация) [7, с. 2] и Е.А. Ксенофонтов (2016 г. – профессионализм) [1] используют понятие «экологическая культура».

И.Н. Симонова (2014 г.) [6], в процессе формирования квалифицированного *специалиста-инженера*, исследует информационно-экологическую составляющую профессиональной компетентности *студентов технического вуза* и выявляет следующие взаимосвязанные компоненты: информационная составляющая, педагогическая составляющая и экологическая составляющая. Последняя включает в себя: экологические профессиональные компетенции; экологическую среду вуза; экологическое пространство вуза.

Таким образом, в рассмотренном, экологические свойства составляют часть профессиональных свойств человека, носят интегративный характер, включая соответствующие знания, оценки и поведение.

#### Библиографический список

1. Ермоленко, В.А. Экологическая культура и её формирование у будущих специалистов / В.А. Ермоленко, Н.В. Морозова // Пространство и время. – 2012. – № 2(8) . – С. 163-168.
2. Ксенофонтов, Е.А. О влиянии социально-экологической мотивации на формирование профессионализма студентов педагогического вуза // Вестник международной академии наук (русская секция). – 2016. – №1. – С. 77-79
3. Маркович, Данило Ж. Социальная экология: Монография: — М.: Изд-во РУДН, 1997.— 436 с.
4. Ниязова, А.А. Формирование экологической культуры студента как составляющая профессионального образования // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9-3. – С. 630-634.
5. Пищулин, В.Г. Модель выпускника университета / В.Г. Пищулин // Педагогика. – 2002. – № 9. С. 22-27.
6. Симонова, И.Н. Формирование и развитие информационно-экологической составляющей профессиональной компетентности студентов-бакалавров технического вуза // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=13052> (дата обращения: 03.04.2018).
7. Тимофеева, А.Г. Экологическая составляющая профессиональной компетентности педагога / А.Г. Тимофеева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Саратовский госуниверситет. – 2015. – № 10-3, с. 54-59.
8. Экологическая доктрина Российской Федерации [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.mid.ru/foreign\\_policy/official\\_documents//asset\\_publisher/CptICkB6BZ29/content/id/548754](http://www.mid.ru/foreign_policy/official_documents//asset_publisher/CptICkB6BZ29/content/id/548754)

УДК 681.2+004,04

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ  
НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Закирова Н. В.

*Трёхгорный технологический институт НИЯУ МИФИ**г. Трёхгорный, Челябинской обл.*

nelya\_zakirova@mail.ru

В статье рассмотрена одна из основных причин возникновения неисправности электродвигателя – изнашивание подшипника. Предложен метод контроля состояния технологического оборудования в режиме реального времени.

*Ключевые слова:* подшипник, автоматизированная система, датчик, микроконтроллер, LabVIEW, Arduino, база данных, SQL.

**OPERATIONAL CONTROL AND PROTECTION OF ELECTRIC MOTORS  
ON PROCESS EQUIPMENT**

Zakirova N. V.

*TTI NRNU MEPhI, Trekhgorny*

The article considers one of the main causes of failure of the electric motor – bearing wear. A method for monitoring the condition of technological equipment in real time is proposed.

*Keywords:* bearing, automated system, sensor, microcontroller, LabVIEW, Arduino, database, SQL.

Электродвигатель (электрический двигатель) – это электрическая машина, с помощью которой электрическая энергия преобразуется в механическую, для приведения в движение различных механизмов [1]. Электродвигатели обеспечивают непрерывное производство более 70 видов и 670 типоразмеров кабельно-проводниковой продукции в цехах ЗАО «Промстройкабель».

Главной задачей электродвигателя является создание вращения. Каждый электродвигатель оснащен подшипниками. Подшипник – это техническое устройство, являющееся частью опор вращающихся осей и валов [2]. Подшипники служат для уменьшения трения в механизмах. Необходимо всегда проверять их состояние, так как увеличивающийся со временем износ приводит к перегреву подшипников и дальнейшему выходу из строя всей производственной линии. При наличии износа требуется замена одного или сразу двух подшипников. Своевременное обслуживание подшипников позволяет увеличить их срок службы до нескольких раз и, как следствие, снижаются затраты на покупку нового оборудования.

Максимально продолжительная нагрузка на технологическое оборудование автоматической производственной линии связано с непрерывным производством продукции на ЗАО «Промстройкабель». Ответственный персонал осуществляет контроль за состоянием подшипников электродвигателей, который заключается в плановом визуальном осмотре технологического оборудования. Однако нельзя исключать ситуации, при которых данный метод не позволяет с первого раза выявить признаки наличия износа оборудования.



Одним из важнейших технических параметров, указывающих на наличие неисправности электродвигателя или износа подшипника, является изменение их температуры. Проведения непрерывного мониторинга температуры должно оценивать степень износа подшипников. При своевременной замене подшипника электрического двигателя затраты предприятия составят всего до пяти тысяч рублей в то время, как затраты на вынужденную замену самого двигателя в случае его поломки или неисправности достигают до 500 тысяч рублей. Мы предположили, что осуществление температурного контроля в режиме реального времени позволяет прогнозировать изнашивание технологического оборудования.

В начале работы был проведен обзор существующих автоматизированных систем мониторинга температуры: автоматизированная система контроля технического состояния подшипников электродвигателей прокатного пятиклетьевого стана [3], автоматизированная система мониторинга температуры и влажности в здании [4], автоматизированная система контроля температуры и влажности [5] и другие. Обзор показал, что перечисленные системы не подходят для внедрения на рассматриваемое предприятие в виду узкой направленности применения и отсутствия возможности расширения их функционала. Принято решение разработать собственную автоматизированную систему мониторинга температуры.

На этапе прототипирования разработана автоматизированная система, реализующая проведение замеров технических параметров на элементах автоматической производственной линии в режиме реального времени и передачу показателей на автоматизированное рабочее место. Система также предусматривает возможность контроля дополнительных параметров.

Спроектированная блок-схема дистанционного мониторинга температуры включает в себя аппаратную часть в виде датчиков температуры, микроконтроллеров, приемников данных и программную часть. В соответствии с блок-схемой, представленной на рисунке 1, данные с датчиков поступают к микроконтроллеру, который передает их на блок мониторинга. Приемник получает и передает данные на автоматизированное рабочее место. Система предусматривает отображение и запись данных в режиме реального времени, включая систему рассылки тревожных сообщений. Предлагаемая система мониторинга спроектирована для работы на беспроводных каналах передачи данных.



Рисунок 1 – Блок-схема автоматизированной системы

Прототип аппаратной части, схематично изображенный на рисунке 2, собран на макетной плате с использованием датчика температуры и влажности DHT22 [6] и модульной платы ESP8266 Witty Cloud, состоящей из микроконтроллера и программатора [7]. Разъемы

MicroUSB на обоих модулях облегчают процесс программирования платы и позволяют подключить к макету только микроконтроллер. Встроенный Wi-Fi модуль микроконтроллера позволяет осуществлять беспроводную передачу данных на удаленный IP-адрес, который предоставляет роутер.

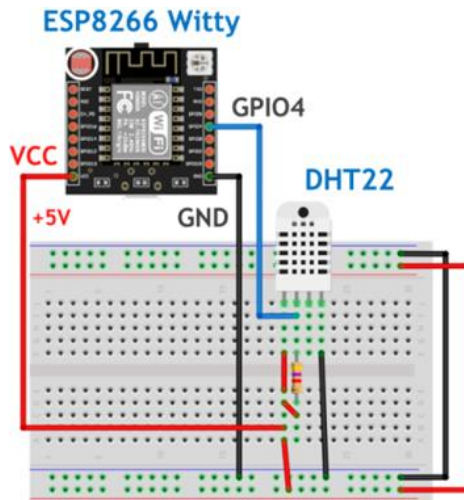


Рисунок 2 – Схематичное изображение аппаратной части

Программа для прошивки микроконтроллера написана в среде Arduino IDE. Визуализация получаемых измерений и их анализа реализована в среде визуально-графического программирования LabVIEW. Связь с аппаратной частью осуществляется путем запроса по протоколу HTTP методом GET при указании IP-адреса точки доступа беспроводного модуля.

Лицевая панель виртуального прибора, представленная на рисунке 3, предусматривает графическое и табличное представление результатов измерений. Система тревожного оповещения реализована в виде цветowych индикаторов и звукового сигнала.

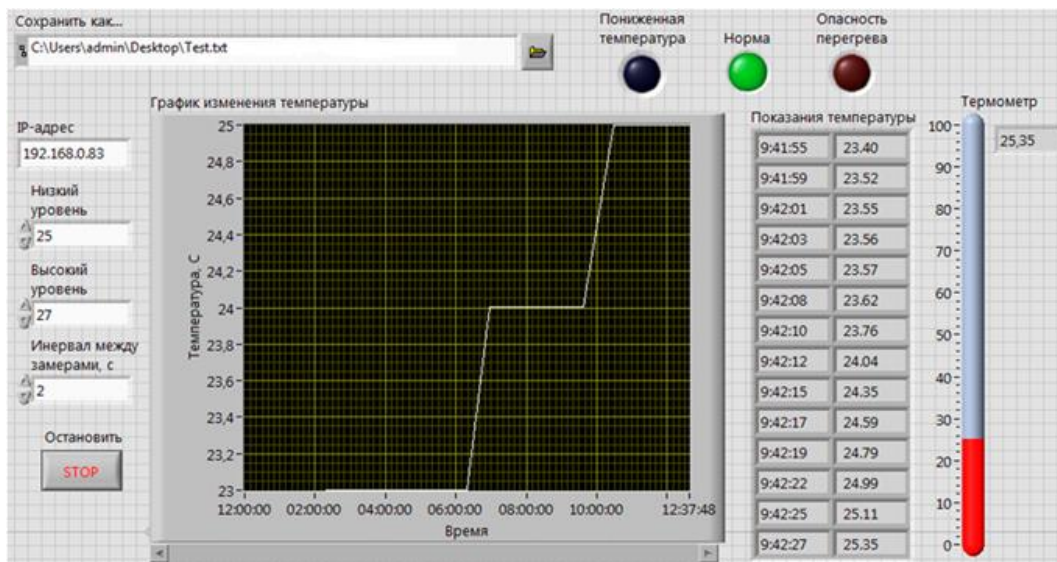


Рисунок 3 – Лицевая панель виртуального прибора

Цикл сохранения результатов реализован с помощью встроенных функций SQL Open.vi, SQL Execute.vi, SQL Close.vi, представленных на рисунке 4. По запросу необходимые

данные сохраняются в отдельной базе данных, созданной в среде SQL Server Management Studio от Microsoft.

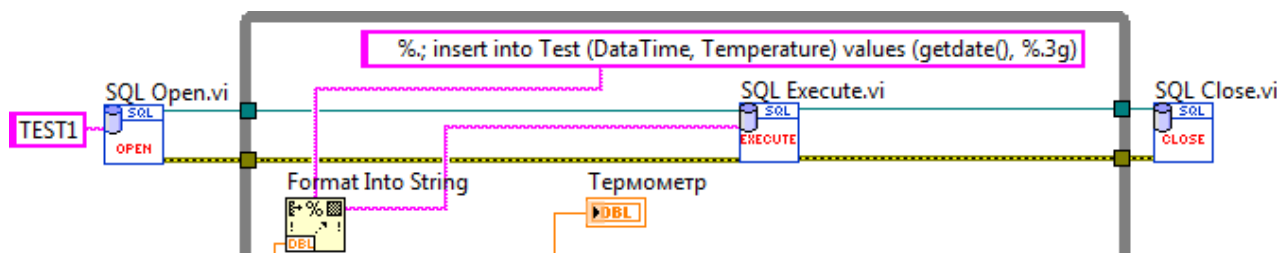


Рисунок 4 – Реализация цикла сохранения данных в среде LabVIEW

Прототип автоматизированной системы разработан в соответствии с алгоритмом мониторинга температуры, описанным в предыдущей статье [8, с.119].

Разрабатываемая автоматизированная система позволит прогнозировать увеличивающийся со временем износ технологического оборудования во время его работы.

В настоящее время проводится тщательная подборка датчиков и средств передачи данных по беспроводным каналам связи. Для удобства использования системы планируется разработка мобильного программного обеспечения.

#### Библиографический список

1. Электродвигатели – устройство, принцип работы, типы, параметры, производители [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Подшипник – техническое устройство [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://smetnov.com/podshipnik-tehnicheskoe-ustroystvo>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Автоматизированная система контроля технического состояния подшипников электродвигателей прокатного пятиклетьевого стана. ПХП [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://lumenta.ru/proekty/avtomatizirovannaya-sistema-kontrolya-tehnicheskogo-sostoyaniya-podshipnikov-elektrovdigateley-prok.php>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Автоматизированная система мониторинга температуры и влажности в здании [Электронный ресурс]. – 2018. – [http://www.krug2000.ru/decisions/solutions\\_automat/sistema-monitoringa-temperature-vlajnosti.html](http://www.krug2000.ru/decisions/solutions_automat/sistema-monitoringa-temperature-vlajnosti.html), свободный. – Загл. с экрана.
5. Автоматизированная система контроля температуры и влажности [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.med-lizenz.ru/services/avtomatizirovannaya-sistema-kontrolya-temperature-i-vlazhnosti>, свободный. – Загл. с экрана.
6. Датчик температуры и влажности DHT-22 [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://know.smartelements.ru/doku.php?id=главная:датчики:dht22>, свободный. – Загл. с экрана.
7. Wi-Fi модуль ESP8266 Witty Cloud на базе ESP-12F для Arduino [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://voltiq.ru/shop/esp8266-serial-wifi-witty-cloud>, свободный. – Загл. с экрана.
8. Закирова Н.В. Дистанционный контроль технологического оборудования [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://www.sphti.ru/nayka/meropr\\_n/doc/2017/tez\\_as\\_2017.pdf](http://www.sphti.ru/nayka/meropr_n/doc/2017/tez_as_2017.pdf), свободный. – Загл. с экрана.

УДК 378.147

**ПРЕПОДАВАНИЕ ДИСЦИПЛИН В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ В ЧАСТИ ИЗУЧЕНИЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ**

Зубаиров А. Ф.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ**г. Озёрск, Челябинская область*

afzubairov@mephi.ru

Предлагается подход к преподаванию на уровне высшего образования дисциплин в сфере информационной безопасности в части изучения нормативно-правовых актов, в части планирования работы по соблюдению требований нормативно-правовых актов. В связи с тем, что нормативно правовое обеспечение безопасности информации в Российской Федерации формируется различными органами, одни нормативно-правовые акты дополняют и расширяют требования, указанные в других нормативно-правовых актах, требуется специальный подход к структурированию преподаваемого материала.

*Ключевые слова:* высшее образование, преподавание, информационная безопасность, метод обучения, нормативно-правовой акт

**THE DISCIPLINES IN THE SPHERE OF INFORMATION SECURITY TEACHING  
REGARDING STUDYING OF NORMATIVE LEGAL ACTS**

Zubairov A. F.

*OTI NRNU MEPhI, Ozersk*

Approach to teaching at the level of the higher education of disciplines in the sphere of information security regarding studying of normative legal acts, regarding scheduling on observance of requirements of normative legal acts is considered. Because standardly legal support of safety of information in the Russian Federation is formed by various public authorities, one normative legal acts supplement and expand the requirements specified in other normative legal acts, special approach to structuring the taught material is required.

*Keywords:* higher education, teaching, information security, training method, normative legal act

В Озерском технологическом институте – филиале федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» при реализации образовательных программ по укрупненной группе направлений подготовки и специальностей «Информатика и вычислительная техника» в 8 семестре изучается дисциплина «Защита информации», в рамках которой в числе прочего в разделе «Стандарты и нормативно-правовые акты в области безопасности информации» рассматривается классификация нормативной документации, история её формирования, «Оранжевая книга», руководящие документы ФСТЭК России, доктрина безопасности России, другие нормативно-правовые акты России в области защиты информации [1]. Число лекционных часов по данному разделу составляет 6, число практических часов – 4.

Нормативно-правовые акты России в сфере информационной безопасности в пределах своей компетенции издаёт Правительство России, Государственная Дума России, ФСТЭК России, ФСБ России, другие органы власти, действуют акты упраздненного ФАПСИ.



В связи с тем, что по окончании изучения дисциплины студент должен уметь пользоваться стандартами, нормативными правовыми актами из области безопасности информации при проектировании систем защиты, учитывая их многообразие, перекрестные ссылки в одних документах на другие документы, преподаватель должен структурировать учебный материал так, чтобы нормативно-правовые акты рассматривались не поочерёдно «друг за другом», а в их взаимосвязи, чтобы рассматривались не нормативно-правовые акты сами по себе, а объекты информационной безопасности, а в след за ними акты, которые регламентируют обеспечение безопасности этих объектов.

Пусть, например, рассматриваются информационные системы персональных данных и требования к защите информации в таких системах. Для ответа на вопрос, когда должны применяться средства криптографической защиты информации, (далее - СКЗИ) необходимо в комплексе рассматривать несколько нормативно-правовых актов. Так, Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 N 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» (далее – Постановление Правительства № 1119) определяет, когда должны использоваться средства защиты информации: «для обеспечения 4-го уровня защищенности персональных данных при их обработке в информационных системах необходимо выполнение следующих требований: ... использование средств защиты информации, прошедших процедуру оценки соответствия требованиям законодательства Российской Федерации в области обеспечения безопасности информации, в случае, когда применение таких средств необходимо для нейтрализации актуальных угроз» [2]. В связи с тем, что использование СКЗИ регламентируется ФСБ России, необходимо обратиться к Информации ФСБ России от 21 июня 2016 года «О нормативно-методических документах, действующих в области обеспечения безопасности персональных данных» [3], в соответствии с которой информация об актуальных угрозах размещена в «Методических рекомендациях по разработке нормативных правовых актов, определяющих угрозы безопасности персональных данных, актуальные при обработке персональных данных в информационных системах персональных данных, эксплуатируемых при осуществлении соответствующих видов деятельности», утвержденных руководством 8 Центра ФСБ России (N 149/7/2/6-432 от 31.03.2015) [4]. В соответствии с данными методическими рекомендациями, «использование СКЗИ для обеспечения безопасности персональных данных необходимо ... если в информационной системе существуют угрозы, которые могут быть нейтрализованы только с помощью СКЗИ», а далее: «К случаям, когда угрозы могут быть нейтрализованы только с помощью СКЗИ, относится ... передача персональных данных по каналам связи, не защищенным от перехвата нарушителем передаваемой по ним информации или от несанкционированных воздействий на эту информацию (например, при передаче персональных данных по информационно-телекоммуникационным сетям общего пользования)».

Таким образом, для формирования у студентов понимания процесса определения необходимости использования СКЗИ преподавателю необходимо установить связь между рядом нормативно-правовых актов.

В качестве другого примера рассмотрим ситуацию, когда необходимо обеспечить защиту помещений, в которых эксплуатируются информационные системы персональных данных, защищенные СКЗИ.

В соответствии с Постановлением Правительства № 1119, для обеспечения 4 уровня защищенности персональных данных при их обработке в информационных системах необходима организация режима обеспечения безопасности помещений, в которых размещена информационная система, препятствующего возможности неконтролируемого проникновения или пребывания в этих помещениях лиц, не имеющих права доступа в эти помещения. Приказ ФСБ России от 10.07.2014 N 378 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных с использованием средств

криптографической защиты информации, необходимых для выполнения установленных Правительством Российской Федерации требований к защите персональных данных для каждого из уровней защищенности» [5], ссылаясь на Постановления Правительства № 1119, устанавливает, что для выполнения требования о защите помещений, необходимо обеспечение режима, препятствующего возможности неконтролируемого проникновения или пребывания в помещениях, где размещены используемые СКЗИ, хранятся СКЗИ и (или) носители ключевой, аутентифицирующей и парольной информации СКЗИ, которое достигается путём оснащения помещений входными дверьми с замками, обеспечения постоянного закрытия дверей помещений на замок и их открытия только для санкционированного прохода, а также опечатывания помещений по окончании рабочего дня или оборудование помещений соответствующими техническими устройствами, сигнализирующими о несанкционированном вскрытии помещений. В свою очередь Приказ ФАПСИ от 13.06.2001 N 152 «Об утверждении Инструкции об организации и обеспечении безопасности хранения, обработки и передачи по каналам связи с использованием средств криптографической защиты информации с ограниченным доступом, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну» [6] дополняет требования: окна помещений, расположенных на первых или последних этажах зданий, а также окна, находящиеся около пожарных лестниц и других мест, откуда возможно проникновение в помещения посторонних лиц, необходимо оборудовать металлическими решетками, или ставнями, или охранной сигнализацией, или другими средствами, препятствующими неконтролируемому проникновению в помещения.

Как видно, для обеспечения безопасности помещений необходимо учитывать требования ряда документов, изданных в разное время разными органами власти. Так как все эти документы направлены на обеспечение безопасности одного объекта, они должны рассматриваться одновременно в комплексе.

Таким образом, в процессе обучения студентов необходимо оказывать действенную помощь изучении нормативно-правовых актов, а затем в планировании обеспечения информационной безопасности.

Для достижения этой цели необходимо подготовить методические материалы для студентов, способствующие получению ответы вопросы о применении тех или иных нормативно-правовых актов. В методических материалах нормы действующего законодательства должны быть разделены на простые понятные положения, описывающие взаимосвязь мер защиты информации, предусмотренных различными нормативно-правовыми актами.

Так, например, формулировка п. 6 Приказа Федеральной службы безопасности Российской Федерации от 10 июля 2014 г. N 378 [5] «а) оснащения Помещений входными дверьми с замками, обеспечения постоянного закрытия дверей Помещений на замок и их открытия только для санкционированного прохода, а также опечатывания Помещений по окончании рабочего дня или оборудование Помещений соответствующими техническими устройствами, сигнализирующими о несанкционированном вскрытии Помещений; б) утверждения правил доступа в Помещения в рабочее и нерабочее время, а также в нештатных ситуациях; в) утверждения перечня лиц, имеющих право доступа в Помещения» может быть преобразована в методических материалах как показано ниже (осуществлено выделение конкретных мер для обеспечения понятности, чёткости и однозначности в понимании содержания конкретной меры):

- а) – оснащения Помещений входными дверьми с замками,
- обеспечения постоянного закрытия дверей Помещений на замок и их открытия только для санкционированного прохода,
- а также опечатывания Помещений по окончании рабочего дня



- или оборудование Помещений соответствующими техническими устройствами, сигнализирующими о несанкционированном вскрытии Помещений;
- б) утверждения правил доступа в Помещения:
  - в рабочее
  - и нерабочее время,
  - а также в нештатных ситуациях;
- в) утверждения перечня лиц, имеющих право доступа в Помещения.

Основой методических материалов может стать предлагаемая «Матрица защиты информации» - таблица, первые два столбца которой заполняются преподавателем (совместно со студентами) и содержат описание мер защиты информации и ссылки на нормативные документы, на основании которых такие меры защиты должны быть обеспечены. Вторые два столбца заполняют при выполнении практики по обеспечению мер защиты. Таблица 1 содержит фрагмент заполненной таблицы «Матрица защиты информации».

Таблица 1 – Фрагмент таблицы «Матрица защиты информации»

Меры защиты информации	Основание	Обеспечение меры	Документ
Обеспечена сохранность носителей персональных данных	п. 2 ч. 2. ст. 19 Федерального закона 152-ФЗ -> подп. «б» п. 13 Постановления 1119	Ведётся учёт носителей персональных данных, носители находятся в специальных хранилищах	Положение об учете и хранении носителей персональных данных (приказ от «__»__20__ №__)
...			
- Идентификация и аутентификация пользователей, являющихся работниками оператора	ч. 4 ст. 19 Федерального закона 152-ФЗ -> п 8.1. Приказа ФСТЭК № 21	При входе в операционную систему, в информационную систему осуществляется: <ul style="list-style-type: none"> <li>- идентификация;</li> <li>- аутентификация;</li> <li>- учетные записи имеют только работники оператора</li> </ul>	Положение о парольной защите при обработке персональных в информационных системах персональных данных (приказ от «__»__20__ №__)
...			
Журналы поэкземплярного учета <ul style="list-style-type: none"> <li>- СКЗИ,</li> <li>- эксплуатационной и технической документации к ним,</li> <li>- ключевых документов ведут обладатели конфиденциальной информации</li> </ul>	абз. 3 п. 26 Приказа ФАПСИ № 152	Ведётся журнал поэкземплярного учета СКЗИ, эксплуатационной и технической документации к ним; В журнале учитываются: <ul style="list-style-type: none"> <li>- СКЗИ;</li> <li>- эксплуатационная документация к ним;</li> <li>- техническая документация к ним;</li> <li>- ключевые документы.</li> </ul>	Журнал поэкземплярного учета СКЗИ, эксплуатационной и технической документации к ним (начат 01.01.2014)

Предлагаемые подходы за счёт структурирования, систематизации учебного материала, рассмотрения документов и мер защиты информации в их взаимосвязи, позволяют сделать процесс изучения нормативно-правовых актов в сфере безопасности информации целенаправленными, продуктивным, что в итоге приводит не только к достижению целей учебных дисциплин в области информационной безопасности, к формированию соответствующих компетенций, но и к готовности выпускника выполнять обязанности по обеспечению информационной безопасности на рабочем месте.

Практика применения данного подхода апробирована при обучении работников образовательных организаций Кыштымского городского округа, ответственных за обеспечение информационной безопасности, и показала свою эффективность [7, 8].

#### Библиографический список

1. Рабочая программа учебной дисциплины «Защита информации», направление подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, сост. А. В. Шалашов. – Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2014.
2. Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 N 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».
3. Информации ФСБ России от 21 июня 2016 года «О нормативно-методических документах, действующих в области обеспечения безопасности персональных данных».
4. «Методических рекомендациях по разработке нормативных правовых актов, определяющих угрозы безопасности персональных данных, актуальные при обработке персональных данных в информационных системах персональных данных, эксплуатируемых при осуществлении соответствующих видов деятельности», утвержденных руководством 8 Центра ФСБ России (N 149/7/2/6-432 от 31.03.2015).
5. Приказ ФСБ России от 10.07.2014 N 378 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных с использованием средств криптографической защиты информации, необходимых для выполнения установленных Правительством Российской Федерации требований к защите персональных данных для каждого из уровней защищенности».
6. Приказ ФАПСИ от 13.06.2001 N 152 «Об утверждении Инструкции об организации и обеспечении безопасности хранения, обработки и передачи по каналам связи с использованием средств криптографической защиты информации с ограниченным доступом, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну».
7. Зубаиров А. Ф., Организация защиты информации в учреждениях системы образования органом местного самоуправления, Инфо-стратегия 2017: Общество. Государство. Образование. Сборник материалов конференции. - Самара, 2017.
8. Зубаиров А. Ф., Ильин А. С., Эффективные практики муниципального сопровождения образовательных организаций по обеспечению информационной безопасности. Проблемы и перспективы развития систем оценки качества образования. Ресурсы образовательной агломерации по совершенствованию муниципальных систем оценки качества образования. II межрегиональная научно-практическая конференция (30 ноября - 01 декабря 2017 года, г. Челябинск): сборник материалов конференции / под ред. А.А. Барабаса. - Челябинск: РЦОКИО, 2017.

УДК 004.4

**ФОРМИРОВАНИЕ ПОРТФОЛИО КУРСОВЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ**

Оникова М. С.

*Озёрский технологический институт НИЯУ МИФИ,  
г. Озёрск, Челябинская область*

mariaonikovapresent@gmail.com

Рассматривается проектирование web-приложения для управления студенческими портфолио, состоящими из курсовых работ. Данные работ хранятся в СУБД mysql. Для отображения информации используются форматы pdf и XML.

*Ключевые слова:* курсовая работа, портфолио, web-приложение, информационная система, СУБД, XML.

**MANAGING OF THE PORTFOLIO OF STUDENTS' TERM PAPERS**

Onikova M. S.

*OTI NRNU MEPhI*

Design of the web-application for the managing of the portfolio of students' term papers is considered. Paper data are stored in DBMS mysql. Information is displayed using pdf and XML formats.

*Keywords:* term paper, portfolio, web-application, information system, DBMS, XML.

В современном мире хранение информации в бумажном виде все более становится анахронизмом. В частности, в ВУЗе студенты выполняют много семестровых или курсовых работ, составляющих основу их будущего портфолио. Как правило, это напечатанные документы. Поэтому актуальной является задача перехода к безбумажной технологии хранения и учета таких работ.

Существуют готовые решения для хранения и учета работ, но они являются настольными (desktop) приложениями. Такие приложения в современном мире не являются более актуальными. Требуется система учета, доступная в любое время с любого устройства. Такими системами являются клиент-серверные приложения в сети Интернет [1][2].

В рамках курсового проектирования разработана информационная система учета работ студентов в виде web-приложения.

Система состоит из следующих частей:

- регистрация и авторизация;
- ввод данных конкретной работы студента;
- поиск работ по некоторым критериям.

Авторизованные пользователи образуют две категории:

- администраторы;
- обычные пользователи.

В качестве администраторов выступают сотрудники ВУЗа, а в качестве пользователей могут быть как студенты ВУЗа, так и сторонние пользователи системы. Администратор может добавлять информацию о работах и изменять ее впоследствии. Обычный пользователь может только искать и просматривать работы.

Для конкретной студенческой работы учитываются следующие атрибуты:

- ФИО студента(ов);
- ФИО руководителя(ей) проекта;

- ФИО рецензента(ов) проекта;
- ФИО консультанта(ов) проекта;
- тип документа (курсовая работа, курсовой проект, выпускная квалификационная работа);
- код документа по ГОСТ 19.103-77;
- год издания;
- наименование студенческой группы;
- тема работы или проекта.

Кроме того, сохраняется также содержание работы в виде документа формата .pdf, а также скан-копии отзывов руководителей и рецензии.

Информация хранится на сервере системы в СУБД mysql.

Разработанная модель данных содержит 8 таблиц:

- Пользователи (администраторы и обычные);
- Студенты;
- Документы;
- Типы документов;
- Руководители;
- Рецензенты;
- Консультанты;
- Учебные группы;
- Организации.

При этом таблица «Пользователи» не имеет связей с другими таблицами, а таблица «Документы» связана со всеми таблицами, кроме таблиц «Пользователи» и «Организации» [3].

Для извлечения информации из базы данных используются 5 представлений, объединяющих таблицы:

- руководитель - организация;
- рецензент - организация;
- консультант - организация;
- студент - группа;
- документ - перечисленные выше представления.

Такая организация позволяет обеспечить целостность данных и их защиту от несанкционированного доступа.

Для разработки web-приложения были использованы: языки программирования PHP, JavaScript, технологии AJAX, XML, XSLP, XPATH.

Для получения эффективного и привлекательного интерфейса используется библиотека jQuery.

#### Библиографический список

1. Горев А. и др. Эффективная работа с СУБД / А. Горев, Р. Ахаян, С. Макашарипов. – СПб.: Питер, 1997.
2. Пабло С., Курт К., Фабио К., Йохан Г. WCF 4: Windows Communication Foundation и .NET 4.
3. Усенков Д. Уроки Web-мастера / Д. Усенков. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001.

УДК 50

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ КАК МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ  
РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Комлева И. А., Полковникова О. О.

*Трёхгорный технологический институт НИЯУ МИФИ**г.Трёхгорный, Челябинская область*

kafedra\_FMD@mail.ru

Исследуется математическое моделирование реальных процессов, которое приводит к необходимости решения дифференциальных уравнений. Можно сказать, что большинство путей, связывающих абстрактные математические теории, проходят через дифференциальные уравнения.

*Ключевые слова:* прикладные науки, математическое моделирование, реальные процессы, дифференциальные уравнения, диагностирование трубопроводов.

**DIFFERENTIAL EQUATIONS AS MATHEMATICAL MODELS OF REAL PROCESSES**

Komleva I. A., Polkovnikova O. O.

*TTI MEPhI, Trekhgorny*

The mathematical modeling of real processes, which makes it necessary to solve differential equations, is examined. It should be said that most of the ways to connect abstract mathematical theories deal with differential equations.

*Keywords:* applied sciences, mathematical modeling, real processes, differential equations, diagnostics of pipelines.

**Введение.** Математические формулы и уравнения кажутся отдалёнными от реального мира. Но ведь именно с помощью математики мы добились такого технологического прорыва, благодаря которому освоили космос, достигли больших успехов в машиностроении, электронике, ядерной физике и многом другом. Для изучения любого явления природы или работы механизмов машин предварительно изучают всевозможные связи между величинами и их характеризующими. Затем полученные связи выражают математически и приходят к системе уравнений, что помогает понять - как в дальнейшем будет работать система.

**Цель.** В данной работе рассматриваются математические модели реальных процессов в различных областях науки, которые в итоге сводятся к решению задач дифференциальных уравнений.

**Основная часть.** В математическое исследование любой задачи реального мира можно выделить три основных этапа:

построение математической модели системы;

изучение этой математической модели;

получение решения соответствующей математической задачи.

Применение дифференциальных уравнений очень обширно. Они применяются совершенно в разных науках: физика, геометрия, картография, биология, экономика, медицина и т.д.

Например, в физике с помощью дифференциальных моделей можно передать тот или иной физический объект или физическую систему в полной мере. Например, уравнение описывающее движение тела, закон истечения жидкости из сосуда, период и амплитуда

колебания. Всё это намного легче и нагляднее рассмотреть именно с помощью математической модели.

В экономике дифференциальные уравнения используются в экономической динамике, где чаще всего исследуется зависимость переменных от времени.

Как ни странно, но в медицине также используются дифференциальные уравнения, и достаточно часто, например, для определения скорости кровотока, скорости движения клапанов сердца, для описания процессов физиологической акустики и многое другое.

Но есть множество задач, на которые до сих пор нет точного ответа, и которые по сей день решаются многими учёными. Одна из которых – задача определения глубины залегания подземного трубопровода.

Общая протяженность трубопроводов в России достигает 230 тыс. километров и с каждым годом их количество увеличивается. И проблема диагностирования состояния подземных трубопроводов является одной из важных в настоящее время.

Геометрия области приводит к необходимости рассматривать линейное трёхмерное уравнение теплопроводности, т.е. уравнение в частных производных для температуры  $T$ , зависящей от трёх пространственных координат.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где  $T=T(t,x,y,z)$  – распределение температуры в области в момент времени  $t$ ;

$$\lambda = \frac{k}{\rho c}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент теплопроводности;  
 $\rho$  – плотность;  
 $c$  – удельная теплоёмкость.

Рассмотрим баланс тепловых потоков, действующих на поверхности, представленный на рисунке 1. Основной поток в данном случае – поглощаемый грунтом солнечный свет. Кроме того, в общем балансе участвует теплообмен поверхности грунта и воздуха за счёт свойств самой поверхности. В качестве потерь энергии рассматривается перенос тепла к поверхности за счёт внутреннего теплового потока, потери тепла на излучение поверхности как нагретого тела и на испарение жидкости с поверхности грунта. Таким образом, граничные условия для температуры на дневной поверхности имеют вид:

$$\gamma R + w(T_B - T_{z=0}) = \sigma(T_{z=0})^4 + k \frac{\partial T}{\partial z}_{z=0}, \quad (3)$$

где  $R$  – солнечная энергия на единицу площади поверхности,  
 $\gamma$  – доля солнечной энергии, поглощённая грунтом,  
 $T_B$  – температура воздуха, прилегающего к грунту,  
 $w$  – коэффициент теплообмена между воздухом и грунтом,  
 $\sigma$  – излучительная способность поверхности.



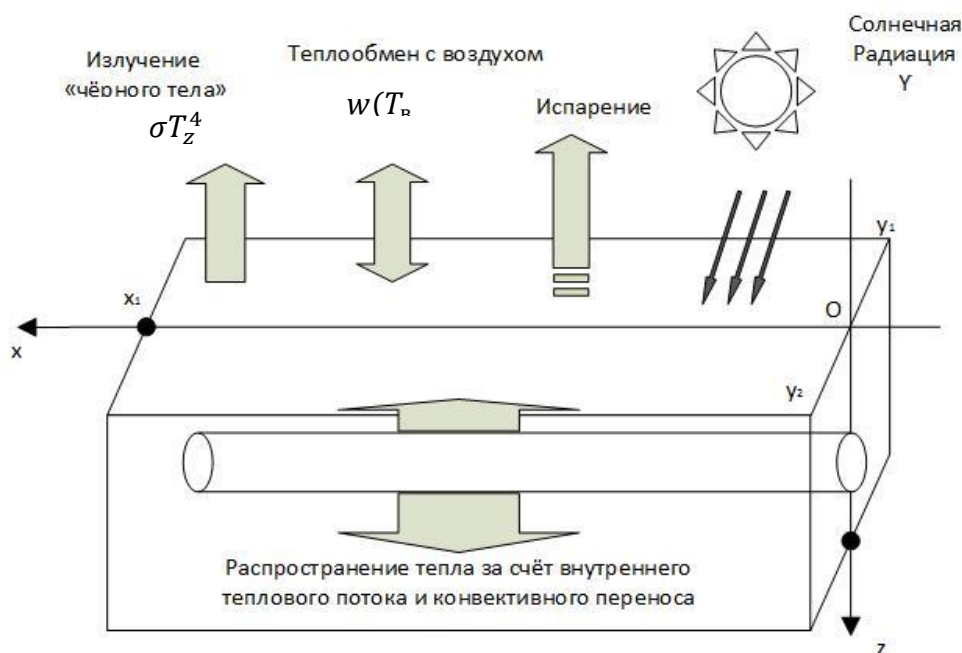


Рисунок 1 – схема расчётной области и тепловые потоки, включённые в модель

Поток тепла через поверхность трубопровода даёт граничное условие на поверхности трубы:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \varepsilon(x, y, z)(T_t - (T|T_{гр}))_n, \quad (4)$$

где  $T_t$  – температура теплоносителя в трубопроводе,

$n$  – единичная нормаль к поверхности трубопровода, направленная внутрь расчётной области;

$\varepsilon(x, y, z)$  – коэффициент теплоизоляции, зависящей от степени повреждённости оболочки трубы;

$T_{гр}$  – температуры грунта.

Приведём параметры грунтов, для построения графика зависимости амплитуд от глубины залегания, представленные в таблице 1. Начальные температуры грунта и воздуха полагались равными 5 °С.

Таблица 1 – Параметры грунта

Тип грунта	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоёмкость с, Дж/(кг*К)	Теплопровод имость $\lambda$ , Вт/(м*К)	Температуропроводность %, м <sup>2</sup> /с
Песок	1200	710	0,35	$4,10798 * 10^{-7}$
Супесь	1500	800	0,50	$4,16667 * 10^{-7}$
Глиняный усреднённый				$3,5 * 10^{-7}$
Грунт в среднем	2500	836	0,96	$4,5933 * 10^{-8}$
Песчаный сухой	1850	794	0,0264	$2,01511 * 10^{-8}$
Песчаный влажный (8% влажность)	1750	1004,18	0,586	$3,33463 * 10^{-7}$
Глина	1800	880	0,70	$4,41919 * 10^{-7}$

В проведённых расчётах получим зависимость глубины залегания трубы только от амплитуды теплового следа на поверхности Земли. Приведём характерный профиль теплового следа, даваемого трубопроводом, представленный на рисунке 2.

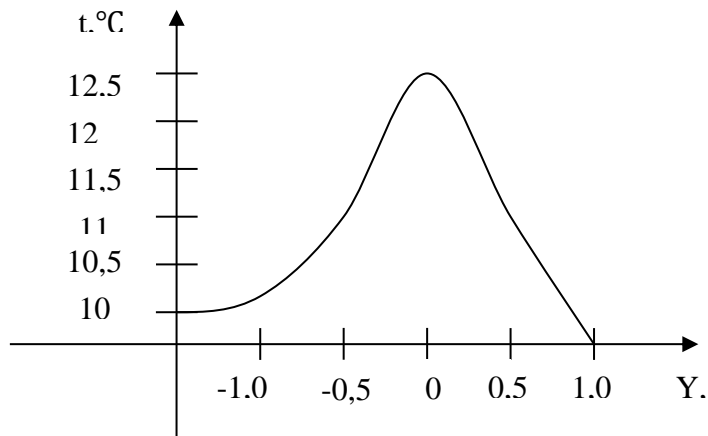


Рисунок 2 – температурный след трубопровода (глубина трубопровода – 1,3 м)

Сведём все вычисления в один график, представленный на рисунке 3. По оси абсцисс будем откладывать расстояние от поверхности Земли до верхней точки трубы  $h$ , а по оси ординат – величину амплитуд теплового следа, которую обозначим  $T(h)$ .

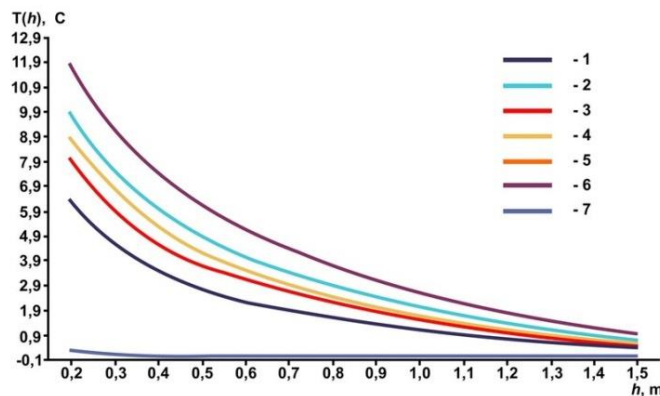


Рисунок 3 – зависимость амплитуды теплового следа от глубины залегания трубы  
(грунт: 1 – песок, 2 – глина, 3 – супесь, 4 – глиняный усреднённый,  
5 – влажный, 6 – средний, 7 – сухой)

Таким образом, результаты численных экспериментов показывают, что, зная характеристики грунта, можно с высокой степенью точности указать глубину залегания трубы:

$$T_A = T_0 + \frac{\frac{\lambda}{h} \Delta T}{\frac{\lambda}{h} + 4\sigma_B T_0^3} - 2,$$

где  $T_A$  – амплитуда теплового следа;

$T_0$  – температура на поверхности;

$\lambda$  – теплопроводность;

$\Delta T$  – разница температуры на поверхности и температуры трубы;

$h$  – расстояние от верхнего края трубы до поверхности;

$\sigma_B$  – постоянная Больцмана.

**Выводы.** Широкое применение дифференциальных уравнений достаточно актуально в современном научном мире. Практически любой процесс может быть описан с помощью дифференциального уравнения. Это говорит о том, что дифференциальные уравнения выступают как мощное средство моделирования. Развитие теории дифференциальных уравнений позволяет двигаться научному прогрессу вперед, а использование в процессе моделирования ЭВМ делает модели еще более сложными, полными и гибкими.

#### Библиографический список

1. Гриншпон Я.С. Геометрические, физические и экономические задачи, сводящиеся к дифференциальным уравнениям: учебное пособие, 2011 г./ Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2011.
2. Вычислительные технологии: журнал, Том 16, №4, 2011 г./ главный редактор академик Ю.И. Шокин: Численное моделирование процессов теплообмена в грунте с учётом фильтрации жидкости, 2011 г.
3. Газовая промышленность: журнал, выпуск № 8, 2012г./ под ред. ООО «Газоил пресс»: Методика теплового контроля для определения глубины залегания подземного трубопровод, 2012 г.

**УДК 004.588**

### РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭФФЕКТА КОМПТОНА

Лаптев А. П.

*Трёхгорный технологический институт НИЯУ МИФИ  
г. Трёхгорный, Челябинская область*

laptev.alexey23@yandex.ru

Данная статья описывает один из возможных вариантов применения визуальных моделей в учебном процессе.

**Ключевые слова:** визуальная модель, разработка, программирование, физический эффект, эффект Комптона.

### DEVELOPMENT OF COMPTON SCATTERING VISUAL MODEL

Laptev A. P.

*TTI NRNU MEPhI, Trekhgorny*

The purpose of the article is to show one of the possible ways of applying visual models to education process.

**Keywords:** visual mode, development, programming, physical effect, Compton scattering.

В современном мире на человека обрушивается огромный объем информации, которую ему приходится воспринимать и анализировать. В учебном процессе это заметно в наибольшей степени. Студентам, школьникам и другим обучающимся необходимо изучать и запоминать большие объемы данных о различных процессах из различных областей науки. Т.к. большая часть этой информации воспринимается с помощью зрения, то представление ее в виде визуального контента способствует лучшему и более быстрому ее восприятию. В

дополнение к этому, большинство современных учебных заведений обладают достаточным для демонстрации моделей оборудованием (компьютеры, проекторы).

Это обуславливает актуальность разработки и применения визуальных моделей в учебном процессе.

На этапе проектирования подобных моделей возникают различные вопросы, в т.ч.:

- какого типа будет модель (демонстрационная, имитационная и т.д.);
- какие исходные данные будут использоваться;
- в каком виде представить модель (графики, 3D-модель и т.д.);
- на каких деталях процесса сделать акцент;
- какой уровень интерактивности предоставить пользователю (какие входные параметры модели поддаются изменению) и т.д.

Данные вопросы разбираются во время консультаций разработчика модели со специалистом в данной области (например, с преподавателем дисциплины).

После ознакомления с сутью эффекта Комптона и консультациями со специалистом в области (руководителем проекта Биглером В.И.) был определен вид модели и основные ее свойства.

А именно:

- модель должна быть трехмерной;
- для изучения явления требуется показать эксперимент с различным количеством фотонов разной скорости (частоты);
- пример запуска единичного фотона должен быть показан подробнее;
- некоторые нюансы явления следует опустить (например, электрон отдачи).

В качестве движка проекта был выбран Unity 2017.2 (рисунок 1), т.к. он бесплатен и отлично подходит для поставленных целей.

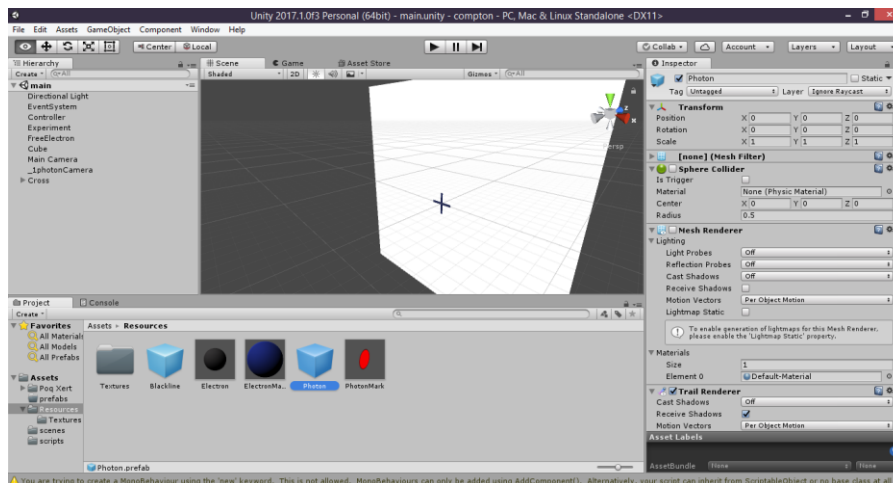


Рисунок 1 – Среда разработки Unity

Код проекта состоит из нескольких частей.

- Controller – отвечает за графический интерфейс и передачу данных в эксперимент;
- Experiment – код этого модуля запускает эксперимент, создает фотоны и направляет их в свободные электроны;
- Photon – отвечает непосредственно за поведение каждого фотона, его движение, изменение свойств.

Код модулей разработан на языке C# в среде разработки Microsoft Visual Studio Community 2015.

Цель модели состоит в том, чтобы продемонстрировать отклонение фотонов при столкновении со свободными электронами. Это показано с помощью цвета: в зависимости от угла, на который изменился фотон, изменяется цвет его следа в полете и на белом экране. Пользователь может выбрать запуск 1, 30 и 1000 фотонов.

Далее представлены скриншоты работы модели в зависимости от входных данных.

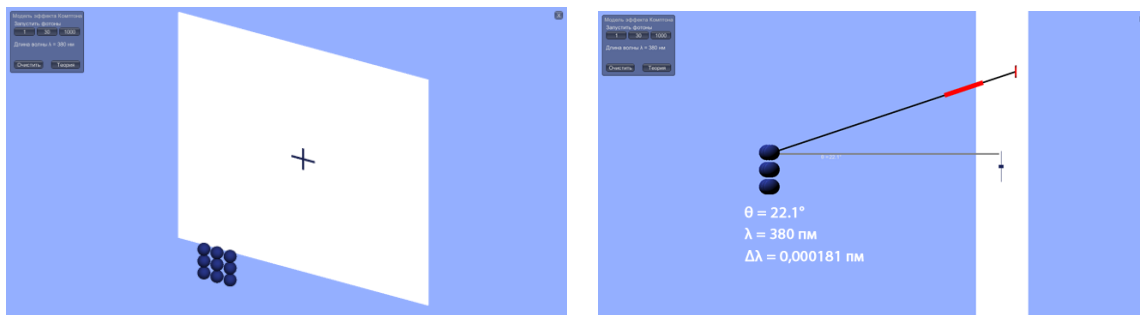


Рисунок 2 – Программа при начальном запуске (слева), запуск единичного фотона (справа)

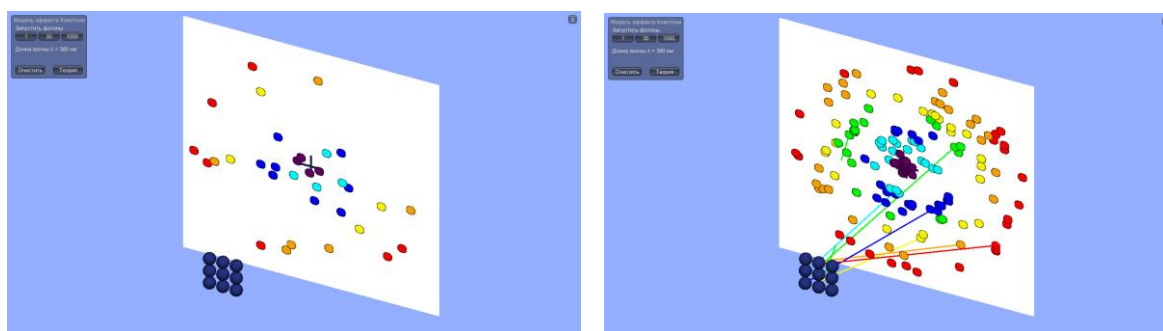


Рисунок 3 – запуск среднего (слева) и наибольшего (справа) количества фотонов.

Данная модель может быть применена на лекциях физики и ядерной физики. В дальнейшем подобным образом могут быть реализованы другие явления и процессы.

Визуальные модели могут найти эффективное применение в современном образовательном процессе. Такой подход может помочь улучшить восприятие и запоминание информации.

#### Библиографический список

1. Руководство Unity. – URL: <https://docs.unity3d.com/>
2. Открытый колледж. Физика. – URL: <http://physics.ru/>

УДК 004

**РЕГИСТРАЦИЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ ВИЗУАЛЬНО-ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW**

Секач М. С.

*Трёхгорный технологический институт НИЯУ МИФИ  
г.Трёхгорный, Челябинской обл.*

masha.sekach@mail.ru

В статье рассмотрена возможность использования среды визуально-графического программирования LabVIEW для проведения акупунктурной диагностики человека. Предположено, что диагностика на переменном токе позволит получать большую информативность о состоянии организма человека.

*Ключевые слова:* акупунктурная диагностика, биологически активные точки (БАТ), постоянный ток, переменный ток, LabVIEW.

**REGISTRATION OF BIOMEDICAL SIGNALS USING LABVIEW VISUAL-GRAPHIC PROGRAMMING ENVIRONMENT**

Sekach M. S.

*TTI NRNU MEPhI, Trekhgorny*

The article considers the possibility of using LabVIEW visual-graphical programming environment for carrying out acupuncture diagnostics of people. It is assumed that the diagnostics with alternating current will allow to obtain more information about the state of the human body.

*Keywords:* acupuncture diagnostics, biologically active points (BAP), DC, AC, LabVIEW.

Из всего широкого многообразия методов диагностики наиболее эффективной считается диагностика по биологически активным точкам (БАТ) человека. Во-первых, система акупунктурных точек и меридиан охватывает все органы и функции тела человека и носит общесистемный характер, что обуславливает системность акупунктурной диагностики. Во-вторых, по сравнению с диагностикой других общесоматических систем (эндокринной, генетической, нервной, лимфатической), акупунктурная диагностика отличается большей портативностью, доступностью, удобством и экологической чистотой. В-третьих, эта диагностика очень удобна для обратной связи в процессе коррекции (как психолого-педагогической, так и терапевтической). В-четвёртых, достоверность, валидность и надёжность акупунктурной диагностики подтверждается её четырёх тысячелетним опытом [1].

Наибольшее распространение ранней диагностики по БАТ в Европе выделяют: Германию, Чехию, Австрию. В России около 4000 диагностических клиник, самое большое распространение насчитывается в Москве. Статистика представлена на рисунке 1. Средняя стоимость диагностики по БАТ всего организма в России около 3000 рублей.



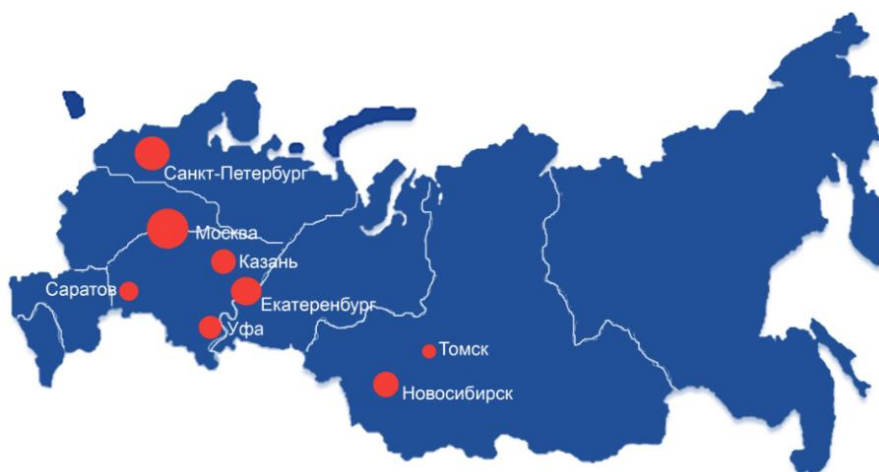


Рисунок 1– Статистика распространения ранней диагностики по БАТ

В основе метода лежит воздействие на органы и системы человека через биологически активные точки (БАТ). При наложении электродов между биологически активными точками возникает электрическое поле, т. е. в тканях начинается движение ионов, обусловленное напряжением, поданным на электроды: электрический ток проходит через кожу, внутренние органы и через кожу замыкается на второй электрод. Если по результатам такого рода диагностики в активной точке установлена ее различная проводимость, то это свидетельствует о наличии отклонений в состоянии организма.

Наиболее известными методами являются методы Фолля и Накатани. Данные методы технически реализованы и признаны традиционными Минздравом РФ [2-5].

В ходе научно-исследовательской работы было предположено, что измерения на переменном токе дают возможность получения большей информативности о состоянии организма по БАТ. Для доказательства были проведены измерения на постоянном и переменном токах. Обработка результатов была реализована с помощью разработанной нами программной части в среде визуально-графического программирования LabView.

Для простоты реализации измерений на постоянном токе был использован модуль сбора данных USB6009 от National Instruments, дополненный одним резистором номиналом 120кОм. На рисунке 2 представлен интерфейс программы для проведения диагностики на постоянном токе, разработанной в среде LabVIEW.

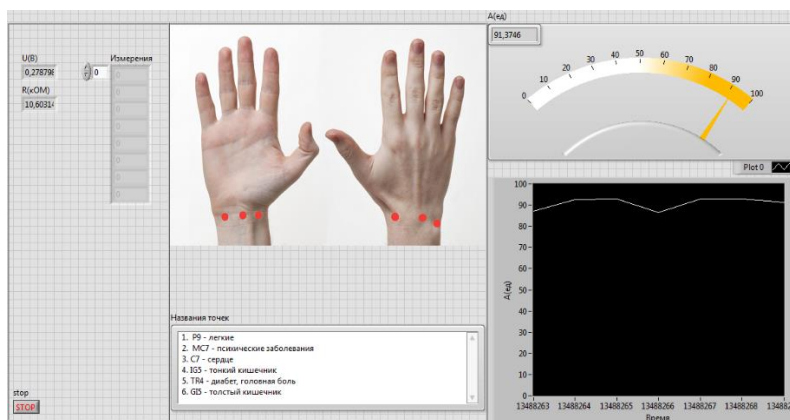


Рисунок 2 – Интерфейс программы для измерений на постоянном токе

Использование переменного сигнала имеет существенные преимущества перед измерениями на постоянном токе, так как в отличие от постоянного тока, который протекает

по внеклеточной среде переменный сигнал проходит и через мембраны клеток. Было предположено, что при измерении на переменном токе будет возможность выделения двух составляющих (активного и реактивного сопротивления).

С помощью имеющихся лабораторных приборов провели измерения на переменном токе. Для упрощения обработки полученных значений, также была реализована программная часть в среде LabVIEW, которая представлена на рисунке 3.

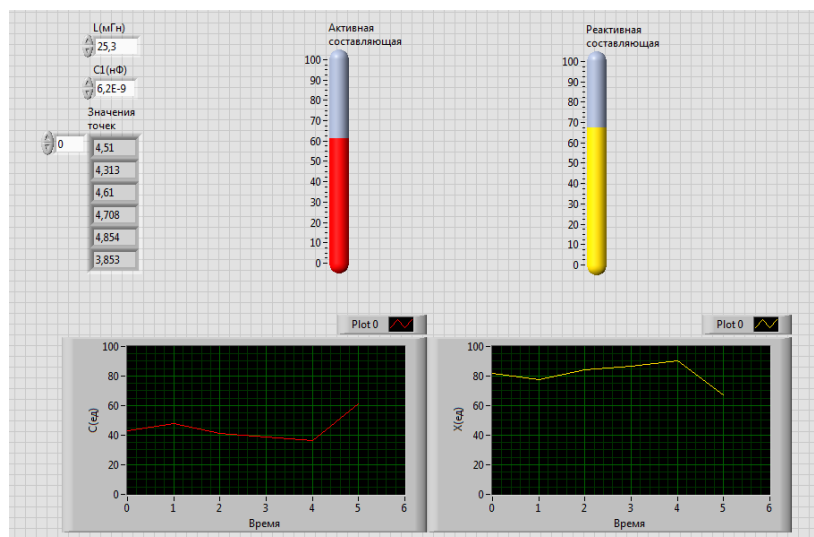


Рисунок 3 – Интерфейс программы для обработки результатов на переменном токе

Эксперимент подтвердил возможность выделения двух составляющих, таким образом измерения на переменном токе обладают большей информативностью и, возможно, позволят получать более широкую диагностику состояния организма человека.

После получения измерения на постоянном и переменном токах был выполнен корреляционный анализ. Анализ показал отсутствие корреляции, что свидетельствует о создании принципиально нового метода диагностики человека по БАТ. Поиск в патентной базе показал отсутствие регистрации о подобных методах. На рисунке 4 продемонстрирована программа сравнения результатов на постоянном и переменном токах.

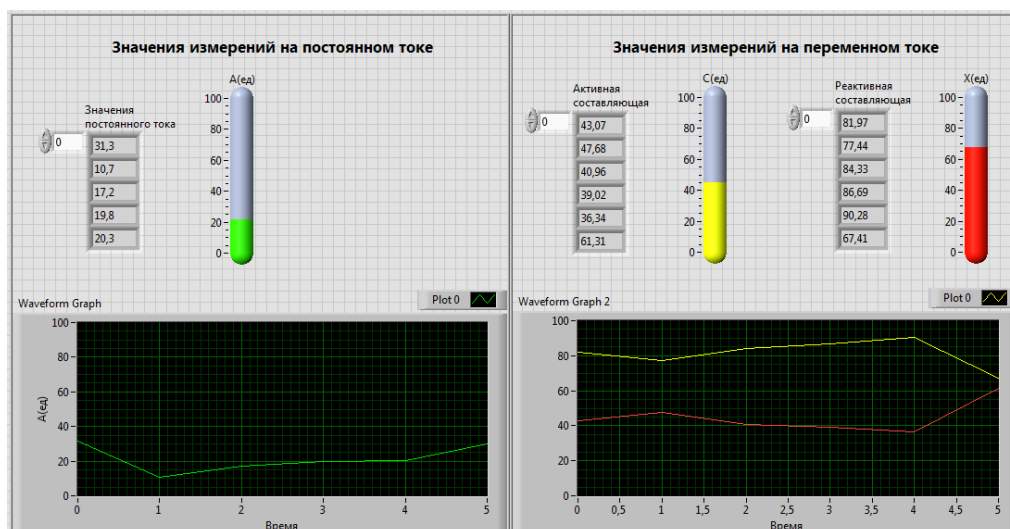


Рисунок 4 – Корреляционный анализ

Для развития и внедрения данного метода необходимо провести клинические и экспериментальные испытания. Также в дальнейшем рассматривается создание автоматизированного рабочего места врача.

Библиографический список

1. Цагарелли Ю.А. Системная диагностика человека и развитие психических функций. – М.: «Познание» Института экономики, 2009. – 492 с.
2. Федеральный закон «О лицензировании отдельных видов деятельности» от 08.08.2001 №128-ФЗ;
3. Основы законодательства РФ об охране здоровья граждан;
4. Методические рекомендации «Электропунктурный вегетативный резонансный тест» (МЗ РФ №99/96);
5. Методические рекомендации «Электропунктурная диагностика по методу И. Накатани» (МЗ РФ № 2002/34);

---

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Авраменко А. В., 25  
Азизова Т. В., 62  
Акинцева А. В., 97  
Акопян О. В., 148  
Акопян Р. Р., 125  
Ананьина Е. В., 148  
Андреева Н. И., 10  
Ахлюстина В. В., 101  
Баинбетова В. В., 142  
Батьков М. Ю., 108  
Бельшева К. С., 104  
Берестова Е. В., 127  
Брагин Е. В., 62  
Булаев Н. А., 64  
Булаева Е. О., 64  
Васина М. А., 68  
Волкова Т. С., 50  
Глазунов А. С., 106  
Горночакова И. С., 146  
Горячева Ю. С., 130  
Григорьева Е. С., 62  
Дергунова Д. П., 17  
Донцова Ю. Д., 112  
Драньков А. Н., 13, 29  
Другова К. В., 72  
Егорин А. М., 21, 25  
Еремин В. Е., 132  
Жарков В. В., 119  
Закирова Н. В., 150  
Зубаиров А. Ф., 154  
Иванцова Е. Ю., 59  
Измоденова А. А., 10  
Калашникова А. М., 21, 25  
Кольцов В. Ю., 36  
Комлева И. А., 161  
Красильников А. А., 115  
Красильников А. Я., 115  
Лаптев А. П., 165  
Лёгких И. В., 77  
Липенкова Л. И., 108  
Логунова Э. Р., 101  
Лушина Ю. Ю., 119  
Медведев В. П., 59  
Мисько Д. С., 21, 25  
Мякушко В. В., 134  
Мякушко Э. В., 132  
Мясоедов Б. Ф., 13  
Оникова М. С., 159  
Орлова В. А., 50  
Осовец С. В., 81  
Папынов Е. К., 29, 55  
Паршукова Н. Ю., 119  
Поволоцкая С. В., 89  
Полковникова О. О., 161  
Пономарев В. В., 139, 142, 144  
Посохова П. А., 44  
Рабинович Е. И., 68  
Радченко В. В., 34  
Рудских В. В., 50  
Сарычев Г. А., 36  
Секач М. С., 168  
Синельщикова О. А., 84  
Смирнов И. В., 40  
Сокольникова С. С., 89  
Сокольницкая Т. А., 21  
Сосюрко В. Г., 123  
Сотник Н. В., 84  
Сылько М. А., 44  
Тананаев И. Г., 13, 17, 21, 25, 29, 40, 46, 55, 72, 92  
Тараканов А. А., 134  
Таранов Д. В., 115  
Тихонова М. А., 81  
Токарева О. А., 112  
Токарь Э. А., 21, 25  
Трубаков Ю. М., 36  
Тутов М. В., 25  
Тухватуллина А. Р., 144  
Фазилова В. В., 92  
Федорова О. В., 10, 34, 44  
Феоктистов К. А., 34  
Фролова М. А., 46  
Хамада Н., 62  
Шабурова Е. С., 50  
Шичалин О. О., 55  
Юрцун А. Ю., 59

**XVIII НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ДНИ НАУКИ ОТИ НИЯУ МИФИ — 2018**

Материалы конференции  
Том 1

Издательство ОТИ НИЯУ МИФИ  
456783, Челябинская обл., г. Озёрск, пр-т Победы, 48