

ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 3(47), СЕНТЯБРЬ 2011

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.ф.-м.н. БАТЫРБЕКОВ Э.Г. – заместитель главного редактора,
д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – заместитель главного редактора, к.х.н. АРТЕМЬЕВ О.И., д.т.н. БАТЫРБЕКОВ Г.А.,
БЕЛЯШОВА Н.Н., к.ф.-м.н. ВОЛКОВА Т.В., к.б.н. КАДЫРОВА Н.Ж., к.ф.-м.н. КЕНЖИН Е.А.,
к.ф.-м.н. КОЗТАЕВА У.П. д.ф.-м.н. КОПНИЧЕВ Ю.Ф., д.г.-м.н. КРАСНОПЕРОВ В.А., ЛУКАШЕНКО С.Н.,
д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., д.т.н. МУКУШЕВА М.К., д.г.-м.н. НУРМАГАМБЕТОВ А.Н., д.б.н. ПАНИН М.С.,
к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е., д.т.н. САТОВ М.Ж., д.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

3(47) ШЫҒАРЫМ, ҚЫРҚҮЙЕК, 2011 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

RESEARCH AND TECHNOLOGY REVIEW
NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSUE 3(47), SEPTEMBER 2011

Сообщаем Вам, что периодический научно-технический журнал "Вестник НЯЦ РК", решением Комитета по надзору и аттестации в сфере науки и образования включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций:

- по физико-математическим наукам,
- по специальности 25.00.00 – наука о Земле.

В журнале представлены доклады **XI ежегодной конференции-конкурсе НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК** (11 - 13 мая 2011 г., Курчатов, Казахстан). В конкурсе приняли участие 44 работы. Из них фундаментальных – 8, прикладных – 27, инженерно-технических – 9.

Первое место:

ТОКТОГУЛОВА Диана Асылбековна – старший научный сотрудник лаборатории радиационного материаловедения ДГП ИЯФ НЯЦ РК.

Второе место:

КРАСОВИЦКИЙ Павел Михайлович – старший научный сотрудник лаборатории теоретической ядерной физики ДГП ИЯФ НЯЦ РК.

ЛЯХОВА Оксана Николаевна – руководитель группы спектрометрии и радиометрии, отдела разработки систем мониторинга окружающей среды ДГП ИРБЭ НЯЦ.

Третье место:

ЖОЛДЫБАЕВ Тимур Кадыржанович – научный сотрудник лаборатории ядерных процессов ДГП ИЯФ НЯЦ РК.

САДЫКОВ Ануар Даулетович – начальник группы лаборатории испытаний плазмо-физических сред диагностики ДГП ИАЭ НЯЦ РК.

СЕЙНАСИНОВ Нурбек Асылбекович – инженер Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ) ДГП ИГИ НЯЦ РК.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ НАВЕДЕННЫХ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ НА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ ТОКАМАКА КТМ.....	6
Садыков А.Д., Шаповалов Г.В., Чектыбаев Б.Ж.	
ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА ВЫВОДА РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ РА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ	9
Азимханов А.С., Вурим А.Д., Колбаенков А.Н., Гныря В.С., Бейсембаев Е.Б., Токтаганов М.О., Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Мешин М.М., Дербышев И.К.	
РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК КАМПАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ	14
Иркимбеков Р.А., Котов В.М.	
РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ АМПУЛЬНОГО УСТРОЙСТВА «ПРОТОН-1» С ОБРАЗЦОМ ЛИТИЯ.....	18
Киричек Е.А., Игнашев В.И., Гановичев Д.А.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ТОКАМАКА КТМ	22
Коровиков А.Г., Ольховик Д.А., Павлов В.М.	
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ НАТРИЯ КАК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ	27
Кривцов П.Ю., Павлов В.М.	
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С УНИВЕРСАЛЬНЫМ УПАКОВОЧНЫМ КОМПЛЕКТОМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В РК	31
Кукушкин С.М.	
АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С УНИВЕРСАЛЬНЫМ УПАКОВОЧНЫМ КОМПЛЕКТОМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ	36
Мукенева С.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ «ГОРЯЧЕГО» БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	41
Перепелкин Д.И.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ ГЕЛИЯ И ТРИТИЯ В ОБЛУЧЕННОМ БЕРИЛИИ	45
Садвакасова А.О., Гордиенко Ю.Н., Барсуков Н.И., Понкратов Ю.В.	
ПОСТЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИМИТАТОРА РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ БЫСТРОГО РЕАКТОРА С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ	49
Салембаев Н.Е., Кукушкин И.М., Бакланов В.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТИЕВЫХ КПС	54
Тулубаев Е.Ю., Понкратов Ю.В., Кульсартов Т.В., Барсуков Н.И., Гордиенко Ю.Н., Садвакасова А.О.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ ТОКАМАКА КТМ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА	58
Чектыбаев Б.Ж., Шаповалов Г.В., Маулимбердин Е.К.	
АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ НА РЕАКТОРЕ ИГР	63
Мухамедов Н. Е., Витюк В. А.	

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ	67
Токтогулова Д.А., Максимкин О.П., Мережко М.С.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСПЫЛЕНИЯ МОЛИБДЕНА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ АРГОНА	72
Баязитова Ж.Т., Горлачев И.Д., Карпиков А.Н., Кислицин С.Б., Лысухин С.Н.	
ПОЛЗУЧЕСТЬ СТАЛИ 12X18N10T - МАТЕРИАЛА ЧЕХЛОВ ОТРАБОТАННЫХ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК РЕАКТОРА БН-350 В УСЛОВИЯХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	77
Диков А.С., Киреев В.В., Горцев А.П., Кислицин С.Б., Нестерова А.Ю.	
УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ α-ЧАСТИЦ НА ЯДРЕ ^{12}C	82
Жолдыбаев Т.К., Буртебаев Н.Т., Дуйсебаев А., Дьячков В.В., Сенько А.О.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ ВЫХОДА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ С АТОМАМИ МИШЕНЕЙ	86
Горлачев И.Д., Иванов И.А., Дегтярев В.В., Лысухин С.Н., Пеньков Ф.М.	
МОЛЕКУЛЯРНАЯ РЕЗОНАНСНАЯ ДИФФУЗИЯ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ	90
Красовицкий П.М.	
МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МИКРОСТРУКТУРА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ ХНС-2, ОБЛУЧЕННОЙ В РЕАКТОРЕ БН-350	94
Мережко М.С., Максимкин О.П., Турубарова Л.Г.	
АНОМАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЛУЧЕННОЙ НЕЙТРОНАМИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12X18N10T ПРИ ОТЖИГЕ 400°C	98
Рубан С.В., Максимкин О.П., Рыбин С.В.	
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВА 67KH5B, ОБРАБОТАННОГО КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ	102
Скаков М.К., Ерболатулы Д., Рахадиллов Б.К.	
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ	107
Уханов С.В., Цай Е.Е.	
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЖРО РУ БН-350	111
Зверева И.О., Лукашенко С.Н., Коровина О.Ю., Каширский В.В.	
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ (пл. «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»)	116
Кожуханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Ларионова Н.В.	
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ СТЕПНЫМИ РАСТЕНИЯМИ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» БЫВШЕГО СИП	120
Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Кундузбаева А.Е., Келлер С.А.	
ТРИТИЙ КАК ИНДИКАТОР МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ	125
Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В., Субботин С.Б.	
ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНИЗМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ИХ РАЗВЕДЕНИИ В УСЛОВИЯХ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»	129
Паницкий А.В., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Коваль А.П.	
РАЗРАБОТКА ГИС-ПРОЕКТА «СИП»	134
Яковенко Ю.Ю., Ерёмченко Е.А., Елизарьева Н.А.	
СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ	140
Дубровин В.И., Смирнов А.А.	

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-ВЕРСИИ БАЗЫ ДАННЫХ ГИС	145
Керимбаев А.О.	
СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ СОБЫТИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КУРЧАТОВ-КРЕСТ	149
Мукамбаев А.С., Соколова И.Н.	
ЯПОНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 11.03.2011 г. И ЕГО АФТЕРШОКИ ПО ЗАПИСЯМ СТАНЦИЙ НЯЦ РК	154
Сейнасинов Н.А., Михайлова Н.Н.	
ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ СТАНЦИИ ОРТАУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)	159
Соколов А.Н.	
ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ НЕДР В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ	164
Беляшов А.В., Шелехова О.Х.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ	169
Касымов А. Б., Ермоленко М. В.	
АНАЛИЗ РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА ПРИ ПЕРЕВОДЕ НА ВОДОМАЗУТНОЕ ТОПЛИВО	171
Ордабаева М.С., Степанова О.А.	

УДК 533.9.08; 621.039.66

ВЛИЯНИЕ НАВЕДЕННЫХ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ НА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ ТОКАМАКА КТМ

Садыков А.Д., Шаповалов Г.В., Чектыбаев Б.Ж.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье рассмотрено влияние наведенных вихревых токов в вакуумной камере и её элементах на магнитное поле в токамаке КТМ. Анализировались данные электромагнитных диагностик при пусках с конденсаторной батареи на полоидальные обмотки токамака КТМ. Определены элементы вакуумной камеры, которые наиболее значительно влияют на конфигурацию магнитного поля в токамаке КТМ.

ВВЕДЕНИЕ

Для организации пробоя плазмы в токамаке необходимо получить в вакуумной камере минимум рассеянных магнитных полей от полоидальной системы и максимальную напряженность вихревого электрического поля (следовательно, и разность потенциалов) на обходе тора.

Напряжение на обходе тора формируется главным образом за счет большой производной тока в центральном соленоиде. Из-за этого возникают следующие проблемы:

1. В камере образуются высокие рассеянные поля от тока в соленоиде;
2. На вакуумной камере и её элементах наводятся большие токи, которые, во-первых, уменьшают напряжение на обходе, во-вторых, усложняют моделирование магнитного поля.

Первая проблема решается за счет компенсации рассеянных полей другими обмотками полоидальной системы. Вторую проблему решить гораздо труднее, ввиду сложности геометрии вакуумной камеры и её элементов. Это затрудняет использование моделирования магнитного поля из-за трудности учета всех наводимых токов.

Восстановление магнитного поля по экспериментальным данным магнитных диагностик позволяет узнать реальную конфигурацию поля в вакуумной камере с учетом наведенных токов на ней и её элементах. Это позволяет сравнить данные моделирования с экспериментально полученными данными, и, в соответствии с полученным результатом, корректировать сценарий пробоя рабочего газа и получения плазмы.

ПРОБНЫЙ ПУСК НА КТМ

В августе-сентябре 2010 года на токамаке КТМ проводились пробные пуски. Запитка полоидальной системы осуществлялась от высоковольтной конденсаторной батареи. К одной конденсаторной батарее были подключены последовательно три обмотки: CS (центральный соленоид), PF1, PF4.

При этом по расчетам предполагалось получение конфигурации магнитного поля, показанной на рисунке 1.

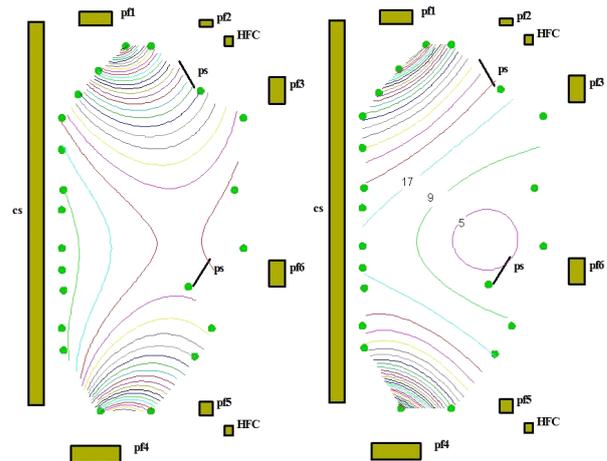


Рисунок 1. Линии равного магнитного потока (слева) и линии равного модуля магнитного поля (справа) при одинаковой запитке CS, PF1, PF4

Такая конфигурация магнитного поля обеспечивает низкий уровень рассеянных полей в центральной части вакуумной камеры токамака КТМ. Как видно из рисунка 1, уровень полей оказывается при этом меньше 9 Гс (при запитке обмоток током 1 кА).

По полученным расчетам пробой плазмы предполагался в центральной части вакуумной камеры ближе к внешнему обводу.

Но пробой по данным с видеокамеры происходил в нижней части вакуумной камеры у её внутреннего обвода. В связи с чем плазма быстро уходила на стенку.

Тогда было решено провести аналогичный пуск, без создания вакуума в камере, для оценки магнитных полей по данным с датчиков напряжения обхода при помощи расчетного кода, разработанного в ФГУП «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» [1].

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАВЕДЕННЫХ ТОКОВ НА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ

В результате повторения сценария пробного пуска были получены результаты, показанные на рисунке 2.

Видно, что картина поля, которую предполагалось получить, получается только на 40 мс. Это соответствует минимуму производной тока в разряде. Это видно из рисунка 3. Минимум производной тока

означает минимум напряжения на обходе тора, а значит, пробой в этот момент невозможен.

Из рисунка 3 видно, что в начале разряда конденсаторной батареи производные тока на обмотках велики, что позволяет утверждать, что на камере и её элементах наводятся большие токи. Эти токи изменяют картину магнитного поля. Из рисунка 2 для 10 мс видно, что влияние значительно. Поле обмотки PF4 совсем не проникает в камеру, а поле соленоида проникает незначительно.

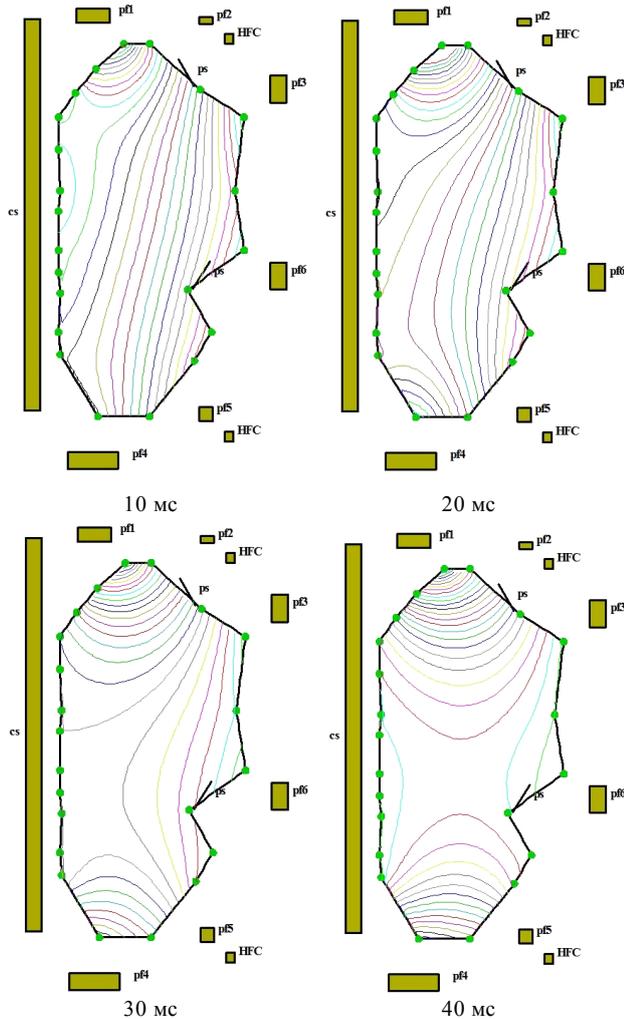


Рисунок 2. Линии равно магнитного потока для различных времен разряда на CS, PF1, PF4

Картина поля меняется из-за несимметричности камеры и её элементов. В основном асимметрия возникает из-за наличия дивертора в вакуумной камере. Опыт показал, что при запитке обмоток CS, PF1, PF4 от конденсаторной батареи емкостью 22 мФ, заряженной до напряжения 5 кВ, на диверторе наводятся токи до 20 кА на начальной стадии разряда батареи (5-10 мс). Учитывая, что в этот момент токи на обмотках еще не велики, получается, что дивертор вносит значительные изменения в конфигурацию магнитного поля в вакуумной камере.

ре. Это мы и видим на рисунке 2 для 10 мс. Поле от PF4 экранируется полем дивертора.

Также на вакуумной камере имеются различные проводящие элементы для усиления её конструкции, на которых наводятся токи, создающие асимметрию наведенных на ВК вихревых токов. Как видно из рисунка 4, на внутреннем обводе камеры в двух местах наведенные токи по камере вносят заметное влияние на магнитное поле. Это позволяет говорить о том, что в этом месте есть какие-то утолщения вакуумной камеры. Действительно, в этом месте на камеру наварены ребра жесткости, которые образуют замкнутое кольцо в тороидальном направлении (рисунок 5).

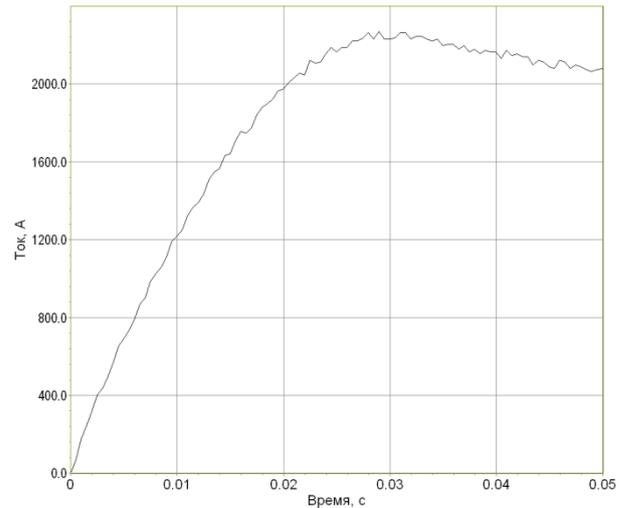


Рисунок 3. Изменение тока в обмотках CS, PF1, PF4

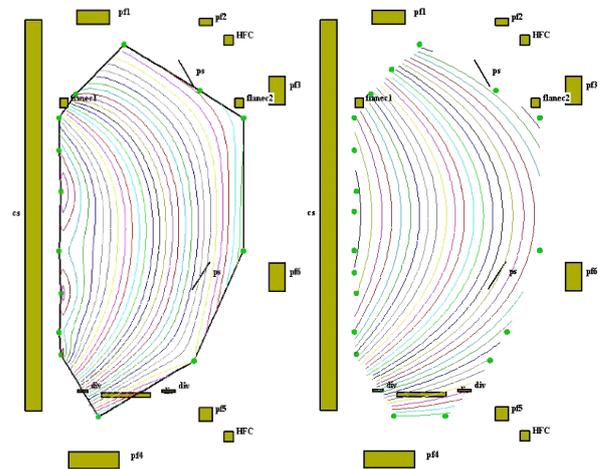


Рисунок 4. Линии равно магнитного потока при запитке CS от конденсаторной батареи экспериментальные в начале разряда (слева) и теоретические (справа)

На рисунке 6 показаны фланцы, на которые крепится крышка вакуумной камеры. На них также наводятся токи, которые влияют на конфигурацию магнитного поля в вакуумной камере.

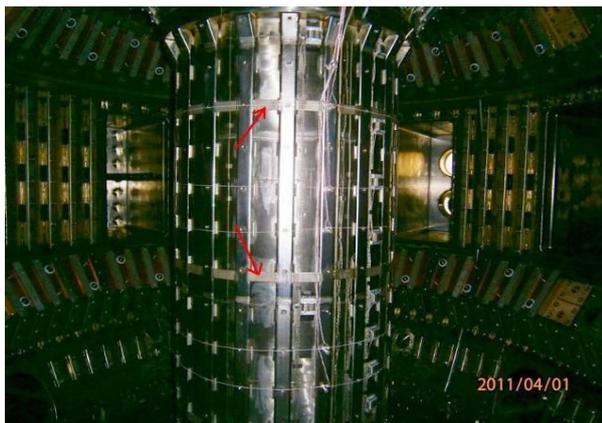


Рисунок 5. Вакуумная камера токамака КТМ. Стрелками показаны ребра жесткости, образующие тороидальные кольца

Все это позволяет нам говорить о том, что без учета вихревых токов от вышеуказанных элементов вакуумной камеры моделирование стадии пробоя плазмы на токамаке КТМ будет неправильным. Ввиду сложности учета наведенных вихревых токов от этих элементов пока предлагается получать необходимое поле экспериментальной отработкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрен алгоритм восстановления магнитного поля по экспериментальным данным с датчиков напряжения обхода и по известным распределениям токов во внешних источниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кавин, А.А. Методическое пособие по использованию расчетного кода для восстановления карты магнитного поля в вакуумной камере токамака КТМ по магнитным измерениям и токам в полоидальных обмотках. /Кавин А.А., Лобанов К.М. – ФГУП «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», 2009 г. – 17 с.

КТМ ТОКАМАГІНІЇ ВАКУУМДЫҚ КАМЕРАСЫНДАҒЫ МАГНИТТІК ӨРІСКЕ ЖАСАНДЫ ҚҰЙЫНДЫҚ ТОКТАРДЫҢ ӘСЕРІ

Садықов А.Д., Шаповалов Г.В., Шектібаев Б.Ж.

ҚР ҰАО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада КТМ токамагінің вакуумдық камерасы мен оның элементтерінегі жасанды құйындық токтардың магнит өрісіне әсері қарастырылған. Конденсатор батареясынан КТМ токамагінің полоидальді орамасына қосу кезіндегі электромагниттік диагностика деректері талданған. КТМ токамагіндегі магнит өрісінің конфигурациясына анағұрлым әсер ететін вакуумдық камера элементтері анықталды.

INFLUENCE OF EDDY CURRENTS TO MAGNETIC FIELD IN KTM TOKAMAK VACUUM CHAMBER

A.D. Sadykov, G.V. Shapovalov, B.Zh. Chektybayev

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Influence of eddy currents on the vacuum chamber and its elements to the magnetic field in the KTM tokamak are viewed. Data from electromagnetic diagnostics during discharge of capacitor battery on the KTM tokamak was analyzed. Elements of the vacuum chamber which have the most influence to the magnetic field configuration in the KTM tokamak are determined.

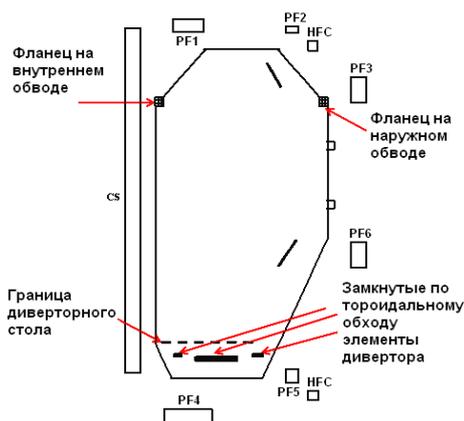


Рисунок 6. Расположение фланцев и дивертора в вакуумной камере токамака КТМ

Рассмотрен сценарий пробоя плазмы, который использовался на пробном запуске на токамаке КТМ, а также магнитные поля в вакуумной камере токамака КТМ, получающиеся при этом сценарии. Определено, что теоретически рассчитанные и экспериментально определенные поля имеют сильные различия во время больших производных тока в полоидальных обмотках. Это позволяет утверждать, что эти различия вызваны наведенными вихревыми токами на вакуумной камере и её элементах.

Определены основные элементы вакуумной камеры, которые вносят значительный вклад в изменение конфигурации магнитного поля.

УДК 44.33.29

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА ВЫВОДА РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ РА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Азимханов А.С., Вурим А.Д., Колбаенков А.Н., Гныря В.С., Бейсембаев Е.Б.,
Токтаганов М.О., Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Мешин М.М., Дербьшев И.К.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Для формирования базы данных по обоснованию варианта вывода из эксплуатации реактора РА и разработки проекта вывода были выполнены комплексные инженерно-радиационные обследования. Результаты инструментального радиационного обследования, в необходимых случаях, дополнялись результатами расчетов. Были рассчитаны значения удельной активности радионуклидов, образовавшихся за время эксплуатации в материалах элементов конструкции РУ РА, и мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения от отдельных конструктивных элементов РУ РА на разных расстояниях. Произведен расчет допустимого времени работы для персонала с конструктивными элементами РУ РА. С помощью гамма-спектрометра получен изотопный состав радионуклидов, определяющих поверхностное радиационное загрязнение внутренних поверхностей трубопроводов системы воздушного охлаждения реактора РА. На основании этих результатов разработана технология вывода реактора РА из эксплуатации и подготовлен технический проект вывода реактора РА из эксплуатации.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с «Общими положениями обеспечения безопасности исследовательских реакторов» [1] эксплуатирующая организация до истечения проектного срока эксплуатации исследовательского реактора (ИР) должна обеспечивать разработку проекта снятия ИР с эксплуатации.

В феврале 1998 года по приказу № 545 от 25.12.1997 г. произведена выгрузка ампул с топливом из активной зоны реактора РА для их последующей разделки и отправки в Российскую Федерацию.

В мае 1998 года работы по выполнению совместных решений Министерств России и Казахстана о вывозе из Казахстана в Россию ядерных материалов, том числе и топлива реактора РА, завершены.

15 ноября 2001 года по приказу № 518 от 13.11.2001 г. исследовательский реактор РА переведен в режим длительного останова, перевод ИР РА в режим длительного останова разрешен КАЭ МЭМР РК, исх. № 4-10/2283 от 26.11.2001 г.

Фактически, текущее состояние реактора РА может считаться состоянием окончательного останова, так как реактор РА, даже будучи юридически не выведенным из списка действующих исследовательских реакторов, фактически переведен в «холодное» состояние, так как топливо из реактора РА выгружено и вывезено в Россию. Следовательно, по совокупности признаков, текущее состояние реактора РА соответствует необходимым условиям, определяющим возможность начала выполнения этапа «снятие с эксплуатации». После вывоза ядерного топлива, реактор РА и его технологические системы представляют только радиационную и техническую опасность.

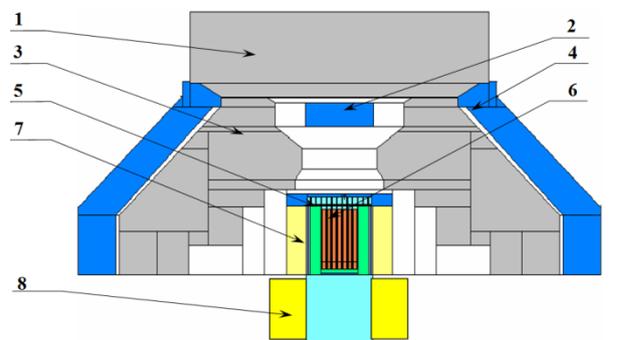
В 2009 году была начата разработка комплекта документации, включая разработку технического проекта вывода из эксплуатации исследовательского реактора РА, в этом случае, в процессе разработки

технического проекта вывода реактора РА из эксплуатации должны быть предложены и обоснованы мероприятия по удалению радиоактивных материалов с площадки реактора и обеспечению их надежной изоляции вплоть до последующего захоронения.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕАКТОРЕ РА

Реактор РА был создан на основе конструкции стендового прототипа реактора ЯРД-11Б91-ИР.100М (ИРГИТ), для выполнения исследований радиационной стойкости топлива ядерной двухрежимной установки в энергетическом режиме и облучения образцов материалов во внутриреакторном устройстве и внереакторного облучения крупных объектов. Введен в эксплуатацию в 1987 году. Тип исследовательского реактора РА – гетерогенный, высокотемпературный, газоохлаждаемый, корпусной, канального типа, на тепловых нейтронах, с бериллиевым отражателем.

На рисунке 1 отображена схема конструкции реактора РА и расположения основных узлов.



1 - крышка; 2 - сильфон; 3 - биологическая защита;
4 - защитный «колокол»; 5 - корпус реактора; 6 - замедлитель;
7 - отражатель; 8 - установочный механизм стенда.

*Рисунок 1. Схема конструкции реактора РА
и расположения основных узлов*

Особенностью конструкции реактора является то, что ТВС были размещены в герметичных каналах (ампулах) с контролируемым и регулируемым составом газовой среды. Реактор РА наработал 4800 ч на мощности 400 кВт в 1987-1997 гг. Плотность потока тепловых нейтронов в АЗ $2 \cdot 10^{12}$ н/(см²·с). Суммарный флюенс тепловых нейтронов в геометрическом центре активной зоны РУ РА за время эксплуатации составил $2 \cdot 10^{19}$ н/см².

КОМПЛЕКСНОЕ ИНЖЕНЕРНО-РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ (КИРО)

Для формирования базы данных по обоснованию варианта вывода из эксплуатации реактора РА и разработки проекта вывода были выполнены КИРО. Для этих целей был произведен частичный демонтаж элементов конструкции реактора РА.

Инженерное обследование реактора РА проводилось для получения подробной информации о техническом состоянии реактора РА и его составных частей, а также его технологических систем и вспомогательного оборудования, включая оборудование транспортно-технологических систем.

В процессе радиационного обследования была получена информация о радиационной обстановке в помещениях реакторной установки РА, остаточной загрязненности радиоактивными веществами оборудования и систем. Результаты определения эквивалентной мощности дозы γ -излучения и уровня радиоактивного загрязнения поверхностей элементов конструкции реактора РА при проведении радиационных обследований конструкций реактора отражены в таблице 1. По окончании радиационных и инженерных исследований был произведен монтаж демонтированного оборудования, реактор и его технологические системы приведены в исходное состояние.

Таблица 1. Результаты радиационных обследований элементов конструкции реактора

Место измерения	Единицы измерения	Значение
Помещение 200А перекрытия здания 101		
Реактор в плотную сбкоу	Зв/ч	0,01
Реактор с торца	мЗв/ч	7,50
Крышка сверху	мЗв/ч	0,57
Снимаемое загрязнение трубопроводов подвода и отвода теплоносителя	β /(мин·см ²)	170
Не снимаемое загрязнение трубопроводов подвода и отвода теплоносителя	β /(мин·см ²)	2800
Помещение 05 здания 101*		
Днище реактора (с 1 метра)	мЗв/ч	0,85
Днище реактора (в плотную)	мЗв/ч	8,88

*Примечание: в помещении 05 здания 101 поверхностного загрязнения не обнаружено

Таблица 2. Значения радиационных параметров, используемых в расчетах

Параметр	Значение параметра		
	¹³ C(n, γ) ¹⁴ C	⁹² Zr(n, γ) ⁹³ Zr	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co
Реакция активации			
Молярная масса ядра-мишени А, г/моль	13	92	59
Распространенность изотопа ядра-мишени в естественной смеси f ^н , %	1,11	17,10	100,00
Микроскопическое сечение активации тепловыми нейтронами σ , барн	$1,37 \cdot 10^{-3}$	0,22	34,00
Период полураспада T _{1/2}	5730 лет	$1,53 \cdot 10^6$ лет	5,3 года
Постоянная радиоактивного распада λ , с ⁻¹	$3,84 \cdot 10^{-12}$	$3,56 \cdot 10^{-18}$	$4,17 \cdot 10^{-9}$
Гамма-постоянная P _γ , P·см ² /(ч·мКи)	3,10	0,20	12,93

Результаты инструментального радиационного обследования, в необходимых случаях, дополнялись результатами расчетов.

РАСЧЕТ НАВЕДЕННОЙ АКТИВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРА И МОЩНОСТЕЙ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ РУ РА

Объектом исследований являлись конструкционные элементы реакторной установки РА. Цель расчетов – определение удельной активности радионуклидов, образовавшихся за время эксплуатации в материалах элементов конструкции РУ РА, и мощности экспозиционной дозы (МЭД) ионизирующего излучения на разных расстояниях от них по состоянию на 01.07.2010 г.

В расчете МЭД от отдельных конструкционных элементов РУ РА принималось, что радионуклиды распределены по объему конструкционных элементов равномерно.

МЭД определялась на расстояниях 0,1; 1,0 и 10,0 м по нормали от поверхности цилиндра, которым представляется конструкционный элемент. Все исходные данные, предположения и допущения принимались исходя из принципа консервативности расчета. С учетом общей энерговыработки реактора и принципа консервативности расчетов принималось, что реактор работал непрерывно 8800 ч на мощности 220 кВт в течение всего 1997 года (365 дней).

С учетом времени выдержки после завершения эксплуатации установки (12,5 лет) при расчетах удельной активности и МЭД учитывались следующие долгоживущие радионуклиды: Co-60, Zr-93, C-14, которые образуются в результате реакций: ⁹²Zr(n, γ)⁹³Zr, ¹³C(n, γ)¹⁴C, ⁵⁹Co(n, γ)⁶⁰Co. Радиационные параметры вышеуказанных радионуклидов приведены в таблице 2[2].

Удельная активность радиоизотопов с учетом времени выдержки, обусловленная активацией потоком тепловых нейтронов, определялась по формуле[3]:

$$q = p \cdot \frac{\sigma_{акт} \cdot \Phi \cdot N_A}{A} \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot T)) \cdot \exp(-\lambda \cdot t),$$

где q – удельная активность радиоактивного изотопа в материалах конструкционных элементов, Бк/г;

$p = \frac{f_i}{100} \cdot \frac{f_i^m}{100}$ – относительное содержание ядер-мишеней в материалах конструкционных элементов; f_i – содержание i -ого активируемого элемента в материале конструкционного элемента, %; f_i^m – распро-

страненность изотопа ядра-мишени в естественной смеси i -ого активируемого элемента, % (таблица 2); $\sigma_{акт}$ – микроскопическое сечение активации тепловыми нейтронами для i -ой реакции, 10^{-24} см² (таблица 2); A_i – молярная масса ядер-мишеней для i -ой реакции, моль⁻¹ (таблица 2); N_A – число Авогадро, моль⁻¹, $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$; Φ – усредненная плотность потока тепловых нейтронов в материале конструкционного элемента, нейтрон/см²·с; T – время облучения потоком тепловых нейтронов, $T = 3,15 \cdot 10^7$ с; t – время выдержки после облучения, $t = 3,78 \cdot 10^8$ с.

При расчете МЭД отдельные конструкционные элементы РУ РА представлялись цилиндрами, заполненными активным поглотителем. Определение МЭД от одного радионуклида проводилось по формуле[4]:

$$P = 2 \cdot P_\gamma \cdot q \cdot r \cdot G(\mu_0 r),$$

где P – МЭД от радионуклидов в точке определения, Р/час; P_γ – гамма -постоянная радионуклида,

Р·см²/ч·мКи (таблица 2); $q = \frac{C}{V}$ – удельная объемная активность радионуклида, мКи/см³; C – активность радионуклида в конструкционном элементе РУ РА, мКи; V – объем конструкционного элемента РУ РА, см³; r – радиус цилиндра, которым представляется конструкционный элемент РУ РА, см; $G(\mu_0 r)$ – функция, учитывающая размеры, материал кон-

струкционного элемента РУ РА, взаимное расположение источника излучения и точки определения МЭД и эффективную энергию излучения[4]; μ_0 – линейный коэффициент поглощения гамма-излучения в материале конструкционных элементов РУ РА в зависимости от эффективной энергии гамма-излучения, см⁻¹[2].

Результаты определения удельной активности отдельных радионуклидов и суммарной активности радионуклидов в материалах конструкционных элементов РУ РА приведены в таблице 3.

Результаты расчета МЭД от отдельных конструкционных элементов РУ РА на расстояниях 0,1, 1 и 10 м по нормали от их поверхностей приведены в таблице 4.

Таблица 3. Результаты расчетов удельной и суммарной активности радионуклидов в материалах конструкционных элементов РУ РА

Конструкционный элемент РУ РА	Материал конструкционного элемента	Удельная активность Со-60, Бк/г	Удельная активность Zr-93, Бк/г	Удельная активность С-14, Бк/г	Суммарная активность, Ки
Крышка реактора	Железобетон	0,59			$3,02 \cdot 10^{-4}$
Биологическая защита	Железобетон	$6,04 \cdot 10^3$			4,68
Корпус реактора	Сталь Х16Н6	$2,98 \cdot 10^5$			1,55
Замедлитель реактора	Гидрид циркония		$6,5 \cdot 10^{-3}$		$3,22 \cdot 10^{-5}$
Отражатель реактора	Графит			1,55	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Установочный механизм стенда	Сплав САВ-1	$1,6 \cdot 10^2$			$4,5 \cdot 10^{-6}$

Таблица 4. Результаты расчета МЭД от отдельных конструкционных элементов РУ РА

Конструкционный элемент РУ РА	МЭД, мР/ч		
	на расстоянии 0,1 м	на расстоянии 1 м	на расстоянии 10 м
Крышка	0,94	$2,82 \cdot 10^{-2}$	$2,82 \cdot 10^{-4}$
Биологическая защита	$8,4 \cdot 10^2$	83,7	0,84
Корпус реактора	$2,26 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^2$	6,4
Замедлитель реактора	$1,1 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^{10}$
Отражатель	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Установочный механизм стенда	0,01	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ РАБОТЫ ДЛЯ ПЕРСОНАЛАС КОНСТРУКЦИОННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ РУ РА

Расчет допустимого времени работы проводился по формуле:

$$t_{доп} = D_{доп} / \text{МЭД},$$

где $t_{доп}$ - допустимое время работы; $D_{доп}$ - допустимый уровень эффективной дозы.

При расчетах допустимый уровень эффективной дозы принимался 10 мЗв в год и 1 мЗв в смену.

Результаты расчета допустимого времени работы с отдельными конструкционными элементами РУ РА на расстояниях 0,1; 1,0 и 10,0 м по нормали от их поверхностей приведены в таблице 5.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРЕДЕЛЕНИЕ
ИЗОТОПНОГО СОСТАВА РАДИОНУКЛИДОВ,
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОВЕРХНОСТНОЕ
ЗАГРЯЗНЕНИЕ**

С целью определения источников гамма-излучения, определяющих поверхностное радиационное загрязнение трубопроводов отвода теплоносителя реактора РА были проведены работы на гамма-спектрометрическом комплексе. Для этого были получены пробы с внутренних поверхностей двух труб коллектора воздушного охлаждения. Пробы отбирались смоченными спиртом хлопковыми салфетками по трафарету с площади 10×10 см каждый. Измерения проб проводили на гамма-спектрометре CANBERRA GC-3018. На рисунке 2 представлен типичный спектр гамма-излучения радионуклидов, содержащихся в пробах.

Результаты измерений представлены в таблице 6.

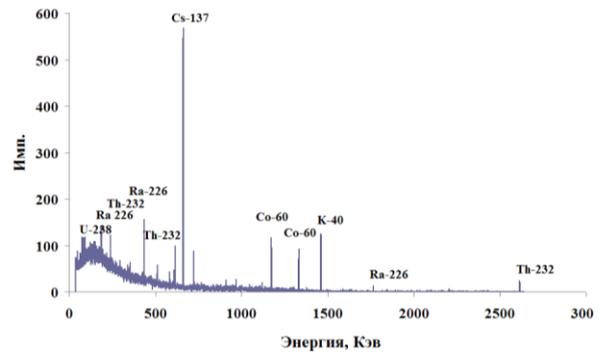


Рисунок 2. Спектрограмма объединенной пробы с трубы I

Таблица 5. Результаты расчета допустимого времени работы с отдельными конструкционными элементами РУ РА

Конструкционный элемент РУ РА	Допустимое время работы на расстоянии 0,1 м		Допустимое время работы на расстоянии 1,0 м		Допустимое время работы на расстоянии 10,0 м	
	В год	В смену	В год	В смену	В год	В смену
Крышка	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О
Биологическая защита	1,2 ч	432 с	12 ч	1,2 ч	1190 ч	Б/О
Корпус реактора	160 с	16 с	1,56ч	562 с	156 ч	Б/О
Замедлитель реактора	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О
Отражатель	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О
Установочный механизм стэнда	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О	Б/О

Примечание Б/О – без ограничений по времени.

Таблица 6. Результаты измерения проб

№ точки отбора	Активность/на пробу, Бк	Поверхностная активность, Бк/см ²
пробы с трубы I	K-40 = 93,11 ± 8,36 Co-60 = 10,48 ± 0,52 Cs-137 = 36,08 ± 1,83 Ra-226 = 1,39 ± 0,12 Th-232 = 2,20 ± 0,21 U-238 = 9,19 ± 1,49	K-40 = 2,33 ± 0,21 Co-60 = 0,26 ± 0,01 Cs-137 = 0,91 ± 0,05 Ra-226 = 0,03 ± 0,003 Th-232 = 0,06 ± 0,01 U-238 = 0,23 ± 0,04
пробы с трубы II	K-40 = 66,67 ± 6,39 Co-60 = 7,80 ± 0,42 Cs-137 = 16,21 ± 0,93 Ra-226 = 16,67 ± 0,17 Th-232 = 1,33 ± 0,0,17 U-238 = 8,51 ± 1,39	K-40 = 1,67 ± 0,16 Co-60 = 0,20 ± 0,01 Cs-137 = 0,41 ± 0,02 Ra-226 = 0,42 ± 0,004 Th-232 = 0,03 ± 0,004 U-238 = 0,21 ± 0,03

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выяснено, что практически вся доза обусловлена излучением радионуклида ⁶⁰Co, при этом наибольшую радиационную опасность представляют корпус реактора и первая биологическая защита;

В случае возникновения не штатных ситуаций, максимальная доза внешнего и внутреннего облучения, получаемая персоналом, составит 25 Р/ч от корпуса реактора на расстоянии 10 см. МЭД от корпуса реактора на расстоянии свыше 10 метров не

превышает установленных в СЭТОРБ-2010 и НРБ-99 пределов. При таком уровне радиационного воздействия не требуется проведение защитных мероприятий с целью ограничения персонала от источников ионизирующего излучения;

Снимаемое загрязнение незначительно и не может оказать существенного влияния на экологическую обстановку территории технической и санитарно-защитной зон КИР «Байкал-1».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Общие положения обеспечения безопасности исследовательских реакторов: ОПБ ИР-94 ПНАЭГ-16-34-94, 42 с.
- 2 Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений: справочник / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – М.: Энергоатомиздат, 1995, 496 с.
- 3 Голубев, Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений / Б.П. Голубев. – М.: Атомиздат, 1976, 504 с.
- 4 Веселкин, А.П. Инженерный расчет защиты атомных электростанций / А.П. Веселкин; под ред. Ю.А. Егорова. – М.: Атомиздат, 1976, 296 с.

**РА РЕАКТОР ҚОНДЫРҒЫСЫН ПАЙДАЛАНУДАН ШЫҒАРУ
ЖОБАСЫН НЕГІЗДЕУДЕГІ ЗЕРТТЕУЛЕР**

**Әзімханов А.С., Вурим А.Д., Колбаенков А.Н., Гныря В.С., Бейсембаев Е.Б.,
Тоқтағанов М.О., Алейников Ю.В., Мешин М.М., Дербышев И.К.**

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Қурчатов, Қазақстан

РА реакторын пайдаланудан шығару нұсқасын негіздеу және пайдаланудан шығару жобасын әзірлеу жөнінде деректер базасын қалыптастыру үшін кешенді инженерлік-радиациялық зерттеулер орындалды. Инструменттік радиациялық зерттеу нәтижелері қажетті жағдайларда есеп нәтижелерімен толықтырылды. РА РҚ конструкциясының элементтер материалдарында пайдалану кезінде пайда болған радионуклидтердің үлестік активтілігінің мәні және әртүрлі арақашықтықтарда РА РҚ жекелеген конструкциялық элементтерінен иондаушы сәулеленудің экспозициялық доза қуаты есептелді. Қызметкерлер үшін РА РҚ конструкциялық элементтерімен жұмыс істеудің рауалы уақыты есептелді. Гамма-спектрометрдің көмегімен РА реакторының ауамен салқындату жүйесі құбырларының ішкі беттерінің беткі радиациялық ластануын анықтайтын радионуклидтердің изотоптық құрамы алынды. Осы нәтижелердің негізінде РА реакторын пайдаланудан шығару технологиясы әзірленді және РА реакторын пайдаланудан шығарудың техникалық жобасы жасалды.

STUDY SUBSTANTIATING THE PROJECT ON A REACTOR DECOMMISSIONING

**A.S. Azimkhanov, A.D. Vurim, A.N. Kolbaenkov, V.S. Gnyrya, Ye.B. Beysembaeb,
M.O. Tokhtaganov, Yu.V. Aleynikov, M.M. Meshin, I.K. Derbyshev**

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

To form a database to substantiate the variants of RA reactor decommissioning and the design development the comprehensive engineering and radiation survey were performed. The results of instrumental radiation survey, as appropriate, were supplemented by the results of calculations. The specific activity of radionuclides formed during the operation in the materials of RA construction elements and exposure dose of ionizing radiation from RA separate construction elements at various distances, were calculated. The calculation of allowable working hours for the staff with RA structural elements was performed. With the help of gamma-ray spectrometer the isotopic composition of radionuclides that determine the surface radiation contamination of internal surfaces of RA reactor air cooling system pipelines, was obtained. Based on these results, the technology of RA reactor decommissioning and technical design of the reactor decommissioning was developed.

УДК 621.039.53

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК КАМПАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Иркимбеков Р.А., Котов В.М.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

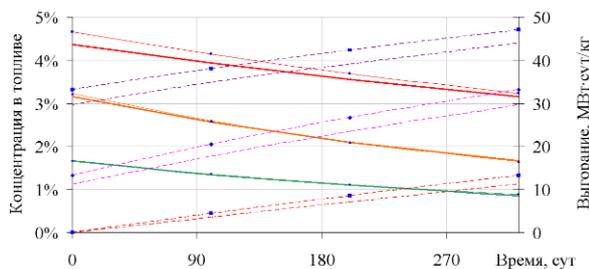
Кратко описаны теоретические основы методики для решения системы дифференциальных уравнений изменения состава материала в активной зоне энергетического реактора.

Создана программа MC-Delta для проведения нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов, связанных с выгоранием топлива, воспроизводством нового ядерного топлива, трансмутацией актиноидов и производством изотопов в материалах облучаемых в активной зоне. Показан принцип работы программы и ее возможности.

ВВЕДЕНИЕ

Для эксплуатации, модернизации и проектирования новых энергетических реакторов, важной частью являются расчет характеристик кампании реакторов. Результаты этих расчетов позволяют узнать такие важные показатели работы реактора как: выгорание топлива, длительность кампании, запас реактивности в зависимости от выгорания и времени работы реактора. При проведении расчетов, важно определить изменение состава топлива в различных участках активной зоны, влияние накопления продуктов деления, воспроизводство нового ядерного топлива и трансмутацию актиноидов во время работы реактора.

Для примера на рисунке 1 приведены расчетные данные о содержании основных делящихся веществ в выгружаемом штатном топливе реактора ВВЭР-1000. Длительность кампании ограничена содержанием делящегося изотопа ²³⁵U к концу кампании и составляет 900 суток работы на номинальной мощности. В ходе кампании проводится три перегрузки топлива. Время работы реактора между перегрузками 300 эффективных суток. Среднее выгорание топлива 41,4 МВт-сут/кг.



	Реактор ВВЭР-1000			Реактор ВВЭР-1000.М		
Концентрация ²³⁵ U	— I	— II	— III	— I	— II	— III
Выгорание топлива	- - - I	- - - II	- - - III	- - - I	- - - II	- - - III

Рисунок 1. Изменение состава топлива и его выгорание в реакторе ВВЭР-1000

ЦЕПОЧКИ ОБРАЗОВАНИЯ НОВЫХ НУКЛИДОВ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

Для расчетов характеристик кампании требуется выяснить, как будет изменяться состав топлива в процессе работы реактора. Необходимо учитывать,

что в реакторе накапливаются продукты деления, вызывающие потери нейтронов. Продукты деления подвержены распаду. На рисунке 2 представлен фрагмент цепочки распадов продуктов деления при участии нейтронных реакций. Практически каждый нуклид в этой цепочке образуется при делении урана-235. Продукты деления могут испытывать β⁻ распад, β⁺ распад, β⁻ распад с излучением нейтрона, распады могут сопровождаться изомерным переходом. В процессе облучения возможны реакции поглощения с различным сечением. Не исключены и более экзотические виды нейтронных реакций.

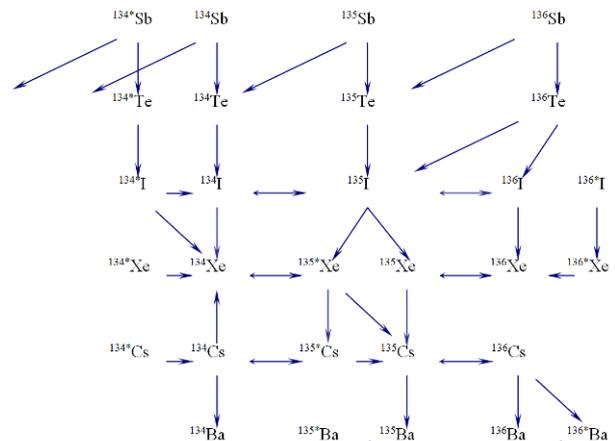


Рисунок 2. Цепочки распадов продуктов деления, A: от 134 до 136 и Z: от 51 до 56

Следует учитывать, что продукты деления образуются от разных делящихся нуклидов с различными вероятностями. Практически все элементы с порядковым номером выше 90, родственные с делящимися веществами, могут испытывать реакцию деления, или иметь большое сечение поглощения. На рисунке 3 представлен пример цепочки образования этих нуклидов.

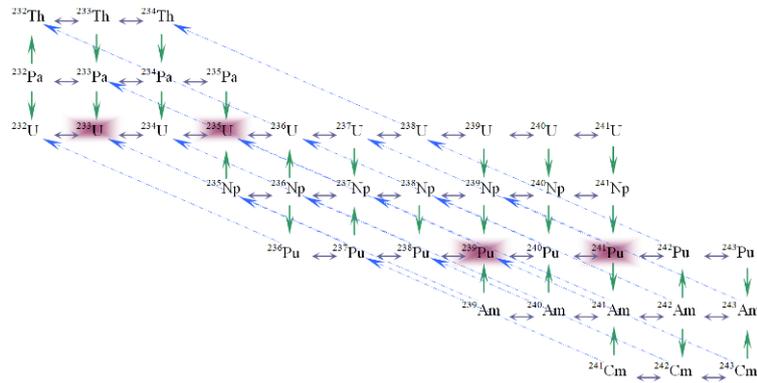


Рисунок 3 Цепочки образования делящихся нуклидов и накопления долгоживущих актиноидов.

При проведении расчетов кампании реактора основной задачей является решение системы дифференциальных уравнений динамики изменения состава топлива:

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = -\lambda_i N_i(t) + \sum_j \lambda_{ji} N_j(t) \quad (1)$$

Для решения этого уравнения необходимо рассчитать спектр нейтронов в реакторе. Обычные инженерные программы для этого используют упрощенную геометрию рассчитываемых систем, т.к. в инженерных программах, в основном, применяются детерминистские сеточные методы. Для описания анизотропии рассеяния, как правило, используется транспортное приближение. При получении групповых сечений непрерывная функция сечения от энергии усредняется по некоторому стандартному спектру. Отличие этого стандартного спектра от спектра нейтронов, который формируется в конкретном реакторе, влияет на методическую погрешность инженерных программ.

MONTE-CARLO DELTA (MC-DELTA)

Использование алгоритмов Монте-Карло позволяет решить указанные проблемы и существенно повысить точность расчета характеристик кампании. Примером программы использующей этот метод является MCNP [1].

С помощью MCNP выполняется расчет нейтронно-физических параметров активной зоны, которые соответствуют ее состоянию в некоторый момент времени работы реактора. Результаты этих расчетов также могут быть использованы для решения уравнения (1). Таким образом, можно решать задачу динамики реактора с привлечением методов программы MCNP.

С целью минимизация затрат времени на разработку модели реактора для динамического НФР и автоматизация процесса проведения расчета и обработки результатов была создана программа для расчета кампании реакторов. Эта программа получила название MC-Delta. В названии программы заложены методы работы программы: метод Monte-Carlo и многоточечная модель реактора с расчетом разветвленных цепочек.

Первая версия программы, предложенная в 2002 году [2], использовала конечно-разностный метод решения этого уравнения. В новой версии программы, написанной в 2007 году, использован аналитический метод решения дифференциального уравнения (1). Впервые программа предложена за основу для расчета кампании реактора в работе «Разработка технологии модернизации реакторного топлива, выпускаемого в Республике Казахстан, для использования на исследовательских реакторах Национального ядерного центра» [3] и в работе «Разработка тепловых ядерных реакторов с эффективным топливным циклом» [4].

Достоинством новой версии программы MC-Delta является ее интеграция с программой MCNP, использующей непрерывный спектр нейтронов для расчета нейтронно-физических характеристик активной зоны. В ней реализован алгоритм, читающий и анализирующий файл результатов расчета MCNP, что в свою очередь предоставляет возможности для быстрого анализа результатов промежуточных расчетов.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

В первой версии программы [2] была реализована точечная модель реактора. В такой модели все характеристики активной зоны реактора усреднялись, и решалось уравнение (1). В новой версии программы этот подход получил развитие в виде многоточечной модели. Вся активная зона реактора разбита на конечное количество областей. В пределах каждой области усредняются все ее характеристики: поток нейтронов, концентрация ядер, тепловая мощность. Примечательным свойством программы является то, что реактор может быть разбит на произвольное количество элементов в зависимости от поставленной задачи.

Исходные данные для программы представляются пользователем в виде двух текстовых файлов.

Первый файл представляет описание модели реактора в программе MCNP. Кроме того, что на первый файл накладываются условия построения модели в MCNP, программа MC-Delta накладывает дополнительные условия на присвоение номеров ячеек, номеров материальных карт и стиля описания модели.

Принципы построения модели реактора в MCNP позволяют установить, как именно активная зона будет разбита на области, а также провести расчет параметров нейтронных реакций в каждой области.

Второй файл используется для задания параметров кампании и для установки перед программой определенной задачи расчета.

Кроме данных предоставляемых пользователем, программа имеет собственный набор необходимых данных:

- массы изотопов;
- энергии деления делящихся элементов;
- независимый выход продуктов реакции деления для делящихся нуклидов ^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Pu ;
- константы распада и спонтанного деления элементов;
- список изотопов, которые необходимо просчитывать в программе;
- список библиотек MCNP, которые следует использовать для пересчета модели.

В процессе работы программа производит запуск расчета модели в программе MCNP для определения необходимых характеристик реактора. После завершения работы MCNP программа самостоятельно производит анализ файла результата, составляет базу констант для расчетной модели, определяет связи нуклидов в цепочках ядерных реакций происходящих в реакторе и выполняет решение системы (1). Общий вид формулы изменения количества изотопа в расчетной области:

$$N_i(t) = N_{0i}e^{-\lambda_i t} + e^{-\lambda_i t} \int_0^t e^{\lambda_i t'} \sum_k C_k \left(\sum_l t^l \right) e^{-\lambda_k t'} dt =$$

$$= \sum_k C_k \left(\sum_l t^l \right) e^{-\lambda_k t} \quad (2)$$

После получения формулы (2) можно рассчитать характеристики реактора для любого момента времени. Результаты расчетов выводятся в отдельный файл. В начале выводятся общие данные кампании: изменение коэффициента размножения, мощности в зависимости от времени.

После этого выводятся результаты задач заданных пользователем. Это может быть расчет количества ядер определенного нуклида, мощности, количества определенных типов нейтронных реакций, вносимые эффекты реактивности. Также можно изменить модель для MCNP для любого момента времени кампании реактора с учетом проведенных расчетов

С помощью программы MC-Delta проводятся расчеты энергетических реакторов. В расчетах учитывается 20 цепочек образования продуктов деления и шлаков, в которые входит 140 элементов продуктов реакций и их распада и 37 элементов способных к делению или к образованию делящихся нуклидов. Указанное количество цепочек и элементов принято, исходя из потребности качества расчета, и не

является методическим или программным ограничением. В целом, результаты расчетов позволяют получить картину изменения состояния реактора в течение его работы. Полнота этой картины будет зависеть от детальности описания реактора в исходных данных.

Несмотря на то, что первоначально программный продукт создавался для расчета характеристик кампании энергетических реакторов. Особенности реализованной методики позволяют распространить ее для расчета пусков некоторых типов исследовательских реакторов, например пуска реактора ИВГ-1М.

Программа не пригодна для расчета пусков импульсных реакторов, так как изменение запаса реактивности импульсных реакторов связано с изменением ядерных свойств материалов активной зоны, которое является следствием их нагрева, расширения или иного возмущения.

Также методику можно применять для расчета накопления продуктов получаемых при облучении материалов потоком нейтронов. В этой области методика применялась для расчетов по проекту К-1566.

ВЫПОЛНЕННЫЕ РАБОТЫ И СОГЛАСОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Ценность программы MC-Delta определяется ее вкладом в проводимые работы. Программа применялась при проведении некоторых работ в ИАЭ, по ее результатам были составлены следующие отчеты:

Отчет о научно-исследовательской работе “Разработка тепловых ядерных реакторов с эффективным топливным циклом”.

Отчет о научно-исследовательской работе “Разработка технологии модернизации реакторного топлива, выпускаемого в республике Казахстан, для использования на исследовательских реакторах национального ядерного центра”.

Отчет по договору № 23-03-02/77 от 25.02.2008 г о проведении научных работ по теме: нейтронно-физические и теплофизические расчеты активных зон энергетических легководных реакторов с перспективными видами ядерного топлива АО “УМЗ”.

Также результаты расчета приведены в технических справках по проекту К-1566 “Очистка облученного бериллия”.

При проведении расчетов по проекту К-1566 “Очистка облученного бериллия” были подтверждены данные о наличии элементов, ответственных за ошлакование образца бериллия.

Работа по расчету реактора ВВЭР-1000 стала первым практическим испытанием программы для коммерческого проекта. Результаты расчетов реактора ВВЭР-1000 с уран-бериллиевым топливом стали основанием для продолжения работ на УМЗ по отработке технологии изготовления этого топлива и проведения реакторных испытаний его образцов.

При верификации программы особое внимание было отдано расчету стандартной конфигурации реактора ВВЭР-1000. Результаты этих расчетов по-

казали, что относительная погрешность расчета количества ядер во время кампании реактора и погрешность расчета выгорания топлива составила 5%. Погрешность была вычислена путем сравнения полученного результата с опытными данными [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работ по проектам НТП развитие атомной энергетики в РК была разработана методика и на её основе программа MC-Delta, позволяющая рассчитывать характеристики кампании энергетических ядерных реакторов с привлечением программы MCNP.

Программа MC-Delta расширяет возможности программы MCNP и позволяет рассчитать выгора-

ние топлива и длительность кампании. Для любого момента времени работы энергетического реактора можно рассчитать состав топлива в определенных участках активной зоны и эффекты реактивности связанные с выгоранием топлива и образованием продуктов деления.

Предлагаемая методика расчета характеристик кампании ядерных реакторов с программным приложением, является основным инструментом при проведении динамических нейтронно-физических расчетов.

Достоверность результатов полученных с помощью MC-Delta находится на уровне известных зарубежных разработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. MCNP-5.1.40 Monte-Carlo N-Particle Transport Code; Los Alamos National Laboratory; Los Alamos, New Mexico – April 24, 2003. [Электронный ресурс]. – прикладная прогр. (3 Гб)
2. Котов, В.М. Программа расчета изменения топливных нуклидов, воспроизводства делящихся веществ и реактивности в ходе кампании реакторов на тепловых нейтронах, работающих в динамическом режиме и с использованием суперпозиции зон/ В.М. Котов, С.В.Котов; Инв.№ 50 - РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 2002 г. [Электронный ресурс]. – прикладная прогр. (500 кб)
3. Разработка технологии использования реакторного топлива, выпускаемого в Республике Казахстан, на исследовательских реакторах Национального ядерного центра: информационный отчет / НЯЦ РК; рук. В.М. Котов – Курчатов, 2007 – 26с.
4. Разработка ядерных реакторов с эффективным топливным циклом: отчет по НТП “Развитие атомной энергетики”/ ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК; рук. В.М. Котов – Курчатов, 2007 – 44с. – Инв. №113.
5. Колобашкин, В.М. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива: справочник/ В.М. Колобашкин, П. А. Рубцов и др. - М., Энергоатомиздат, 1983 г. - 185 стр.

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ РЕАКТОРЛАР КАМПАНИЯСЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫН ЕСЕПТЕУ

Еркінбеков Р.А., Котов В.М.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Энергетикалық реактордың активті аймағындағы материал құрамын өзгертудің дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешуге арналған әдістеменің теориялық негіздері қысқаша сипатталды.

Активті аймақта сәулеленген материалдарда отынның жануымен, жаңа ядролық отынды үдемелі өндірумен, актиноидтар трансмутациясымен және изотоптар өндірумен байланысты ядролық реакторлардың нейтрондық-физикалық есептерін жүргізуге арналған MC-Delta бағдарламасы құрылды. Бағдарламаның жұмыс принципі және оның мүмкіндіктері көрсетілді.

CALCULATION OF THE CAMPAIGN CHARACTERISTICS OF POWER REACTORS

R.A. Irkimbekov, V.M. Kotov

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The theoretical basis of methods for solving of differential equation system of core material composition change in the power reactor is briefly described.

A MC-Delta program is created for neutronic calculations of nuclear reactors, connected with fuel burn-up, the reproduction of new nuclear fuel, transmutation of actinides and isotopes production in the materials irradiated in the core. The principle of the program operation and its capabilities are shown.

УДК 669.017

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ АМПУЛЬНОГО УСТРОЙСТВА «ПРОТОН-1» С ОБРАЗЦОМ ЛИТИЯ

Киричѐк Е.А., Игнашев В.И., Гановичев Д.А.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты расчетных исследований по определению необходимого расхода азота для охлаждения ампульного устройства «Протон-1» в ходе экспериментов при различных режимах работы реактора.

Результаты проведенных исследований были учтены при планировании режимов проведения экспериментов на реакторе ИВГ.1М. Выполнено сравнение расчетной и экспериментальной температуры лития в экспериментальном устройстве.

Настоящая работа была проведена в рамках темы: «Разработка и обоснование проекта макета литиевого дивертора».

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Институте атомной энергии проводятся работы по разработке и обоснованию проекта макета литиевого дивертора токамака КТМ. Для выполнения работ по теме необходимо провести эксперименты по облучению образца лития. Эксперименты должны проводиться на реакторе ИВГ.1М с использованием ампульного устройства «Протон-1». Целью проведения экспериментов является изучение поведения лития при облучении в вакууме.

Для предотвращения испарения лития при проведении эксперимента необходимо, чтобы температура корпуса ампулы на различных режимах работы

реактора не превышала 300°C. С целью соблюдения приведенного условия предусмотрено охлаждение ампульного устройства азотом.

В данной работе выполнен выбор необходимого расхода азота для охлаждения ампульного устройства на различных режимах работы реактора.

КОНСТРУКЦИЯ АМПУЛЬНОГО УСТРОЙСТВА «ПРОТОН-1»

Схема, материальный состав и основные размеры ампульного устройства представлены на рисунке 1[1], построенная для расчета модель - на рисунке 2.

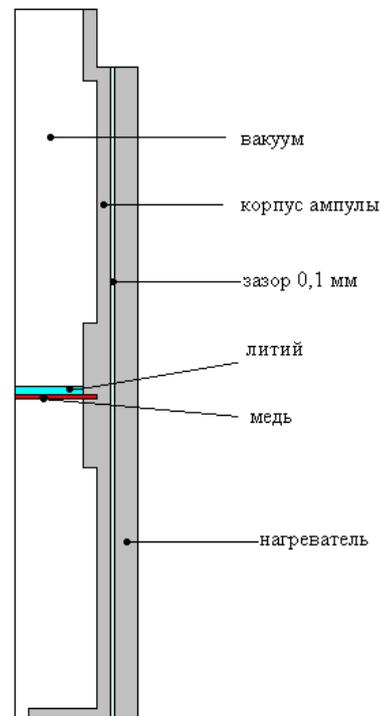
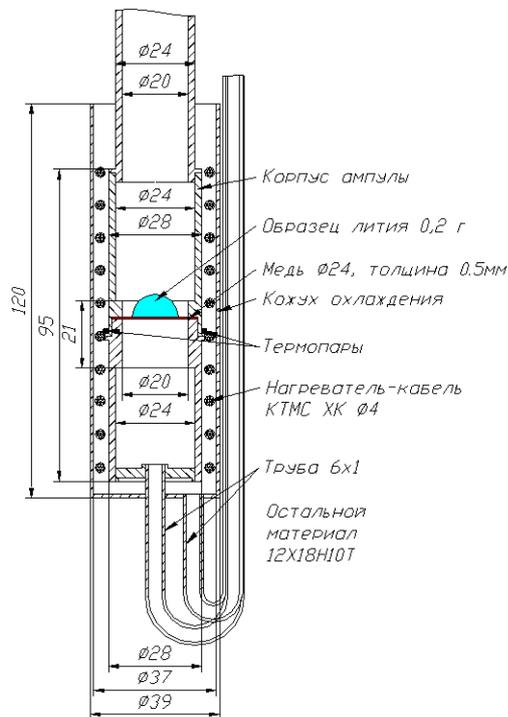


Рисунок 1. Схема ампульного устройства «Протон-1»

Рисунок 2. Расчетная модель ампульного устройства «Протон-1»

Ампула с образцом устанавливается в корпусе ФКЭ центральной ячейки реактора. Образец из лития находится на медной пластине, которая разделяет корпус ампулы на две части и расположена на уровне центра активной зоны. Входная и выходная полости ампулы вакуумируются. Для охлаждения в кольцевой зазор между корпусом ампулы и кожухом ампульного устройства подается азот. На корпусе ампулы установлен нагреватель из кабеля КТМС ХК.

ТЕПЛО ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Температурное поле ампульного устройства определяется с помощью программного комплекса ANSYS. Поскольку ампульное устройство обладает свойством симметрии для построения расчетной модели достаточно использовать половину продольного сечения ампульного устройства (рисунок 2).

По причине достаточно плотной намотки нагревателя на корпус ампулы в расчетной модели кабельный нагреватель смоделирован сплошной стальной стенкой толщиной 4 мм.

Удельная мощность энерговыделения при мощности реактора 1 МВт в элементах, составляющих конструкцию, представлена в таблице 1 [2].

Таблица 1. Удельная мощность энерговыделения в материалах ампульного устройства

Элемент конструкции	Удельная мощность энерговыделения, Вт/см ³
Корпус ампулы	0,70
Медная пластина	0,15
Образец лития	16,57

Температурные поля ампульного устройства построены при условии работы реактора на мощности 0,5; 1; 2; 3; и 6 МВт. Расход азота, необходимый для охлаждения ампулы, определен путем последовательных итераций.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛО ФИЗИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

В результате проведенного теплофизического расчета установлено: при мощности до 3 МВт для охлаждения ампульного устройства достаточно расхода азота, равного 0,08 г/с. При мощности реактора 6 МВт расход азота должен составлять не менее 0,8 г/с.

В таблицах 2 и 3 приведены максимальные значения расчетной температуры корпуса ампулы и образца лития при различных режимах работы реактора при расходе азота, равном 0,8 и 0,08 г/с соответственно.

Таблица 2. Температура элементов ампульного устройства при расходе азота 0,8 г/с

Мощность реактора, МВт	Максимальная температура корпуса ампулы, °С	Температура лития, °С
0,5	43	44
1	66	69
2	113	119
3	160	168
6	298	319

Таблица 3. Температура элементов ампульного устройства при расходе азота 0,08 г/с

Мощность реактора, МВт	Максимальная температура корпуса ампулы, °С	Температура лития, °С
0,5	68	70
1	116	119
2	210	217
3	304	315

Расчетное температурное поле модели ампульного устройства при мощности работы реактора 6 МВт и расходе азота, равном 0,8 г/с, приведено на рисунке 4.

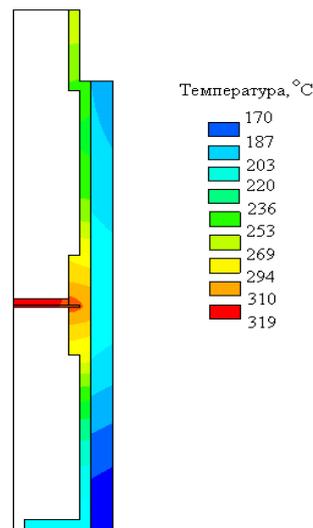


Рисунок 3. Температурное поле модели ампульного устройства

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Для определения пропускной способности системы охлаждения дополнительно проведен расчет потерь давления газа при прохождении его через тракт охлаждения ампульного устройства и трубопроводы подачи и отвода азота. При проведении расчета внутренний диаметр трубопроводов принят равным 4 мм, суммарная длина трубопроводов принята равной 50 м. При расчете также учтено, что трубопроводы имеют десять поворотов на 90°.

В результате проведения гидравлического расчета определено, что при расходе азота равном 0,8 г/с суммарные потери давления азота в охлаждающем тракте не превысят 0,7 МПа. Приведенный расход является допустимым для данной конструкции системы охлаждения ампульного устройства.

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Эксперимент по облучению ампульного устройства «Протон-1» был проведен 21 апреля 2011 года.

На рисунке 5 показаны изменения мощности реактора, температуры медной пластины и расхода азота в ходе эксперимента. Также на рисунке приведена температура лития, полученная в результате расчета, для расхода азота равного 0,8 г/с.

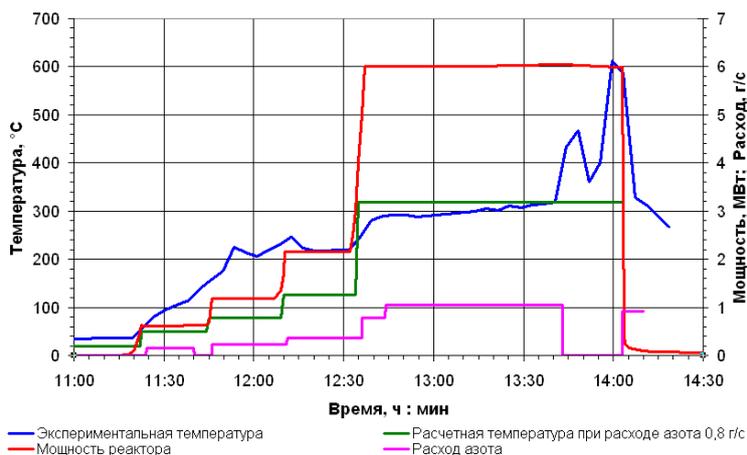


Рисунок 4. Результаты эксперимента П-11-01, проведенного на реакторе ИВГ.1М 21.04.2011 г.

В конце эксперимента расход азота, проходящий по тракту охлаждения, был отключен, поэтому температура медной пластины достигла температуры ~600 °С. В целом данный график показывает хорошее соответствие расчетной и экспериментальной температуры ампульного устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведения расчета можно сделать следующие выводы:

1. Для обеспечения температуры корпуса ампулы не выше 300 °С при мощности реактора 6 МВт расход азота должен составлять не менее 0,8 г/с.

2. При мощности реактора до 3 МВт для охлаждения ампульного устройства достаточно расхода азота равного 0,08 г/с.

3. Для приведенной конфигурации системы охлаждения, при расходе азота 0,8 г/с суммарные потери давления в тракте охлаждения не превысят 0,7 МПа.

Приведенные расходы азота являются допустимыми для данной конструкции ампульного устройства. Проведенный на реакторе ИВГ.1М эксперимент П-11-01 показал хорошее соответствие расчетной и экспериментальной температуры лития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое задание на проведение теплофизического расчета ампулы «Протон-1» №12-230-02/525 от 27.01.2011 г. – 2 с.
2. Расчет нейтронно-физических характеристик ампульного устройства «Протон-1». ДГП ИАЭРГП НЯЦ РК. Уч. № 240-02/50 от 02.06.09 г. – 3 с.
3. Чиркин, В.С Теплофизические свойства материалов ядерной техники / В. С. Чиркин. - М.: Атомиздат, 1968 г. – 484 с.
4. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
5. Штеренлихт, В. Гидравлика / В. Штеренлихт. - М.: Энергоатомиздат, 1984 г. – 640 с.
6. Сборник руководств программы ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ans.com.ru - Загл. с экрана.

ЛИТИЙ ҮЛГІСІМЕН «ПРОТОН-1» АМПУЛАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫСЫН САЛҚЫНДАТУДЫҢ ЕСЕПТІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

Киричѐк Е.А., Игнашев В.И., Гановичев Д.А.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада реактор жұмысының әртүрлі режимдері кезіндегі эксперименттердің барысында «Протон-1» ампулалық қондырғысын салқындатуға арналған азоттың қажетті шығынын анықтау бойынша есептік зерттеу нәтижелері ұсынылған.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері ИВГ.1М реакторында эксперименттерді жүргізу режимдерін жоспарлауда есепке алынды. Эксперименттік қондырғыда литийдің есептік және эксперименттік температурасына салыстыру жүргізілді.

Осы жұмыс «Литий дивертор макетінің жобасын әзірлеу және негіздеу» тақырыбының шеңберінде жүргізілді.

CALCULATIONS OF AMPULE DEVICE "PROTON-1" COOLING WITH LITHIUM SPECIMEN

E.A. Kirichek, V.I. Ignashev, D.A. Ganovichev

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The article presents the results of computational studies to determine the required nitrogen flow for the ampoule device "Proton-1" cooling in the course of experiments with different modes of reactor operation.

The results of these studies were taken into account when planning regimes of the experiments at IVG.1M reactor. A comparison of calculated and experimental temperature of lithium in the experimental device is performed.

The real work within the subject "Development and design substantiation of lithium diverter mock-up" is performed.

УДК 62-533.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ТОКАМАКА КТМ

¹Коровиков А.Г., ¹Ольховик Д.А., ²Павлов В.М.¹Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Разработана 3D тепловая модель вакуумной камеры (ВК) токамака КТМ. Выполнен комплекс исследований характеристик ВК на модели в части моделирования тепловых процессов прогрева, поддержания температуры и остывания. Модельные исследования и полученная на их основе обобщенная модель токамака КТМ, являются основой для создания системы управления технологическим процессом подготовки ВК токамака КТМ к эксперименту. Полученные результаты позволяют создать программный эмулятор ВК для отработки алгоритмов управления, и исследования поведения системы управления в аварийных ситуациях.

ВВЕДЕНИЕ

Токамак КТМ, как и другие токамаки, представляет собой объект повышенной опасности. Проведение каких-либо работ, связанных с исследованием его характеристик, отладкой или настройкой систем автоматического регулирования непосредственно на ВК затруднительно, а в большинстве случаев невозможно. Решением этой проблемы является применение специализированных программно-технических средств (ПТС), обеспечивающих замещение объекта управления моделью, отражающей наиболее существенные и характерные свойства моделируемого объекта применительно к решаемым задачам. К средствам ПТС относится широкий класс моделирующих и имитационных систем [1], основу которых составляет математическая модель исследуемого объекта.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Режим прогрева ВК служит для проведения дегазации оболочки и внутрикамерных элементов в вакууме при температуре 200°C и может быть разделен на три этапа:

- прогрев ВК до 200°C;
- поддержание температуры ВК на уровне 200°C;
- охлаждение ВК.

Во время прогрева ВК температурная неравномерность по оболочке не должна превышать 50°C, температура камеры в процессе дегазации должна поддерживаться длительное время в диапазоне 200 (+50; -10)°C. Прогрев ВК осуществляется с помощью двух источников тепла:

- нагрев вихревыми токами от индуктора – для внутренней части ВК;
- нагрев внешними резистивными нагревателями, расположенными на оболочке для внешней части ВК.

При моделировании рассматривались три этапа работ. В рамках первого этапа определялись полиномы зависимостей изменения температуры в характерных точках оболочки ВК от интегральной мощности $t=f(P)$ и полиномы зависимостей измене-

ния температуры оболочки ВК от времени при режиме остывания $t=f(T)$. В рамках второго этапа определялась, путем варьирования энергии индуктора и/или нагревателя степень их воздействия на величину температурной неравномерности оболочки ВК в процессе нагрева. На третьем этапе проводилась оптимизация процесса нагрева.

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Для построения расчетной модели был выбран 18° сектор оболочки ВК (рисунок 1), в состав модели ВК кроме самой тонкостенной оболочки входили внутрикамерные элементы:

- графитовые плитки со стальной подложкой;
- опоры защитных плиток;
- диверторный стол;
- внешняя теплоизоляция.

Теплофизические свойства материалов при температуре 20°C используемых при построении модели приведены в таблице 1 [2].

Для нахождения нестационарного температурного состояния ВК была разработана трехмерная конечно-элементная ANSYS модель (рисунок 2), которая позволила провести весь необходимый объем расчетных исследований по изучению объекта управления. Количество элементов расчета 675 тысяч. Базовый тип элемента SOLID70, точность расчета не менее 95% [3, 4].

Прогрев ВК осуществляется системой резистивных нагревателей, подключенных к управляемым источникам тока. С точки зрения прогрева ВК представляет собой набор элементов с различными тепловоспринимающими поверхностями и массами. Поэтому, с целью повышения управляемости, вся поверхность ВК разбита на пять частей-зон, обслуживаемых пятью независимыми и регулируемым источниками тока. Максимальная мощность каждого источника не превышает 10 кВт. Для равномерного прогрева система прогрева вакуумной камеры разбивается на ряд параллельных ветвей нагревателей. Источником внешнего поля при индукционном прогреве является центральный соленоид (индуктор) токамака КТМ.

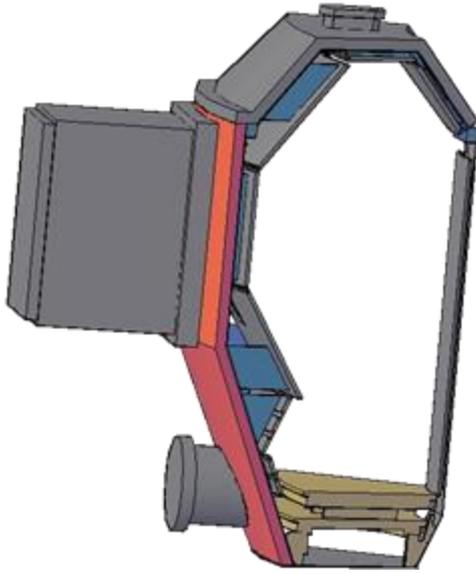


Рисунок 1. Расчетная модель ВК

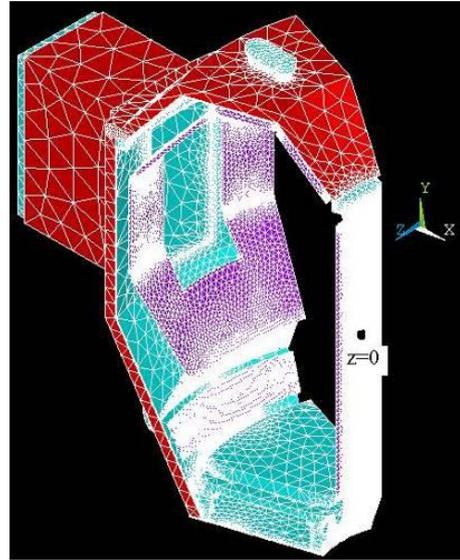


Рисунок 2. Трехмерная конечно-элементная ANSYS модель

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов

	Сталь 12X18H10T	Графит МГГ-8	Ультратонкое базальтовое волокно
Теплопроводность, Вт/(м·С)	16,3	0,112	0,033
Теплоемкость, Дж/(кг·С)	462	90	100
Плотность, кг/м ³	7920	1850	400

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА

Принимая во внимание, что температура оболочки ВК во время нагрева связана определенной функциональной зависимостью с интегральной мощностью $t=f(P)$, а во время остывания со временем остывания $t=f(T)$, для определения зависимостей на первом этапе моделирования на каждую из шести зон оболочки ВК последовательно подавалась нагрузка в виде сигнала (рисунок 3).

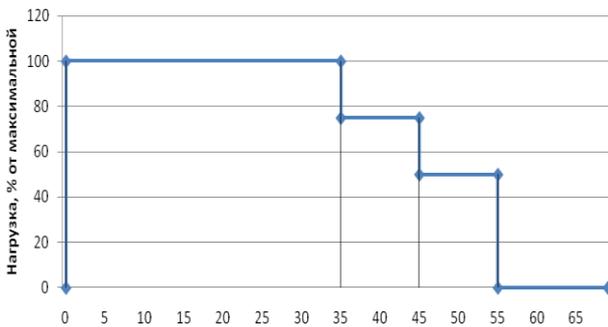


Рисунок 3. График изменения мощности, прикладываемой к зонам оболочки ВК

По результатам проведенных исследований получены табличные данные изменения температуры в характерных точках оболочки ВК (места установки реальных термопар). Данные были обработаны, построены графики изменения температуры от инте-

гральной мощности на интервале от 0 до 45 ч и графики изменения температуры от времени на интервале от 55 до 70 ч.

Зависимости $t=f(P)$ получены для термопар, устанавливаемых в нагреваемой зоне, и термопар в смежных зонах, которые аппроксимированы следующим полиномом.

$$t_{об_n}(P_n) = \sum_{i=0}^4 b_i \times P_n^i,$$

где b_i – коэффициенты полинома.

Зависимости $t=f(T)$ получены для режима остывания для термопар, устанавливаемых в нагретой зоне, и термопар в смежных зонах, которые аппроксимированы следующим полиномом.

$$t(T) = \sum_{i=0}^4 b_i \times T_i,$$

где b_i – коэффициенты полинома.

Полученные в результате зависимости являются основой компьютерной или имитационной модели оболочки ВК, которая позволит осуществлять безопасную настройку системы управления и отработку возможных внештатных ситуаций без последствий для ВК.

Данные модели были верифицированы с экспериментальными данными нагрева вакуумной камеры, максимальная относительная погрешность составляет не более 10% (рисунок 4).

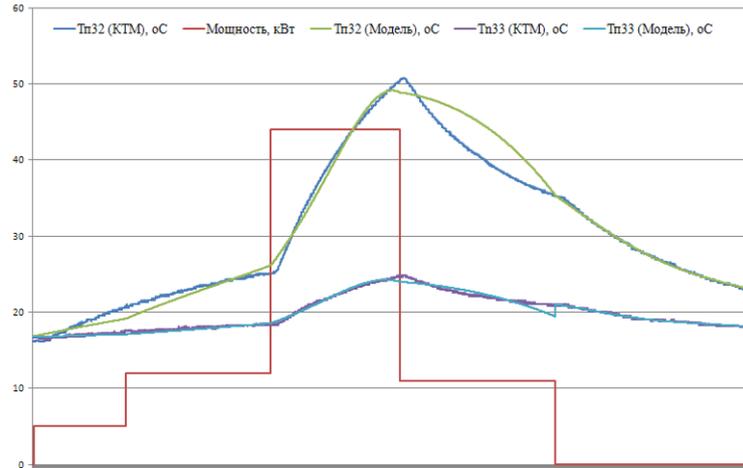


Рисунок 4. Верификация модели

В рамках второго этапа определялась, путем варьирования энергии индуктора и/или нагревателя степень их воздействия на величину температурной неравномерности оболочки ВК в процессе нагрева.

Результаты моделирования режима прогрева вакуумной камеры в виде кривых, описывающих распределение температуры оболочки вакуумной камеры для разных моментов времени, представлены на рисунках 5-9. За начало отсчета поперечной длины была принята точка на внутреннем обводе камеры с координатой $z=0$, обход контура выполняется

против часовой стрелки (верхняя крышка, патрубок, цилиндр, нижняя крышка, внутренний цилиндр) (рисунок 2).

Таблица 7. Комментарии к рисункам 5-9

Рисунок	Энергия омических нагревателей, кВт	Энергия индукционного нагрева, кВт
5	29	8,7
6	40	8,7
7	40	7,1
8	40	8,3

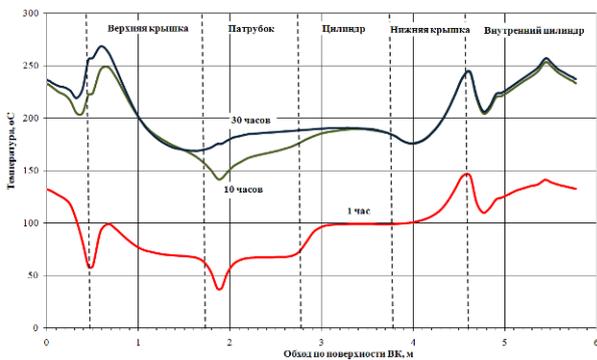


Рисунок 5. Мощность омических нагревателей 29 кВт, мощность индуктора 8,7 кВт

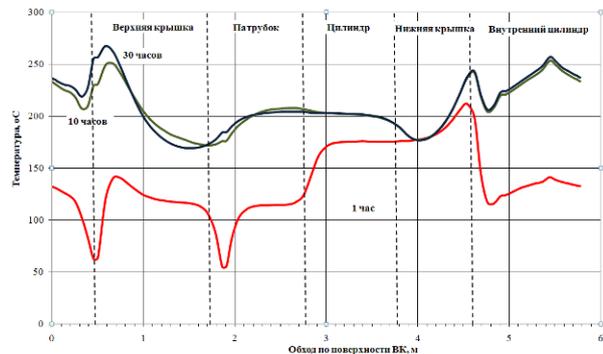


Рисунок 6. Мощность омических нагревателей 40 кВт, мощность индуктора 8,7 кВт

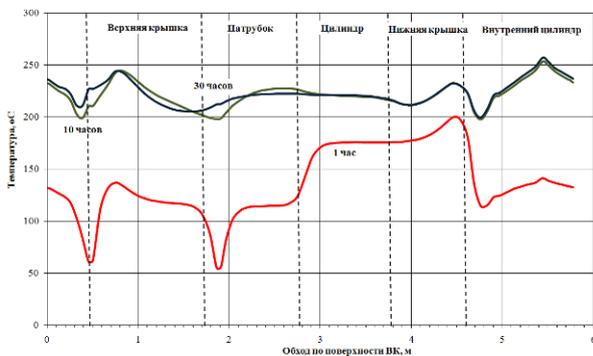


Рисунок 7. Мощность омических нагревателей 40 кВт, мощность индуктора 7,1 кВт

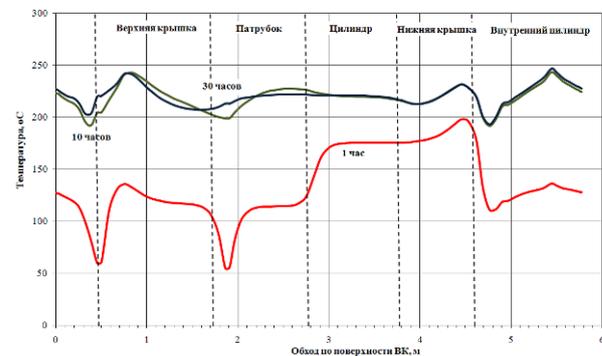


Рисунок 8. Мощность омических нагревателей 40 кВт, мощность индуктора 8,3 кВт

Анализ результатов параметрического теплового расчета, представленных на рисунках 5-8, показывает что:

- увеличение мощности омического нагрева с 25 кВт до 40 кВт приводит к увеличению разницы температур оболочки ВК в области переходов «верхняя крышка/патрубок» и «верхняя крышка/внутренний цилиндр» (рисунок 5-6);
- снижение мощности системы индукционного нагрева до 7,1 кВт приводит к более плоскому (равномерному) профилю температур в области перехода «внутренний цилиндр/нижняя крышка» (рисунок 7);
- снижение энергии индуктора до 8,3 кВт снижает температурную неравномерность на стационарном 200°C уровне (в конце процесса прогрева вакуумной камеры) и превышает 40°C (рисунок 8).

В результате проведенного моделирования при варьировании энергией тепловой мощности омического и индукционного нагревателей удалось найти режимы снижения температурной неравномерности в оболочке по пологоидальному обходу ВК к концу

процесса нагрева до приемлемых 40-50°C. Но в процессе самого нагрева (после ~ 1 часа от начала прогрева вакуумной камеры) получаем сильную неравномерность температур по оболочке ВК из-за сильных оттоков тепла к холодным защитным плиткам и внутрикамерным элементам. Поэтому предлагается ступенчатый режим прогрева ВК, сценарий которого представлен в таблице 8. Температурный отклик оболочки ВК на такой сценарий нагрева представлен на рисунке 9. Видно, что предложенный сценарий прогрева обеспечивает требуемые 40-50°C температурной неравномерности на протяжении всего режима прогрева.

Таблица 8. Разработанный сценарий

Время, час	Энергия индуктора, кВт	Энергия нагревателя, кВт
0÷15	3	13
15÷30	5	22
30÷45	8	40

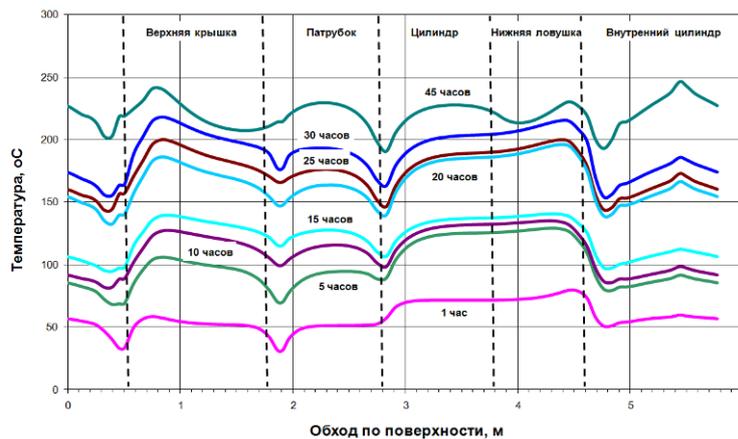


Рисунок 9. Эволюция температурного состояния оболочки ВК в режиме прогрева по разработанному сценарию

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имитационное моделирование в настоящее время становится одним из основных методов получения информации о поведении исследуемого объекта на модели. Это имеет существенное значение в области исследований, когда натурные испытания и исследования недоступны по различным причинам или невозможны вообще. Токамак КТМ относится именно к таким объектам, где проведение различного рода исследований, в частности, связанных с изучением его характеристик непосредственно на установке не представляется возможным.

В данной статье рассмотрен метод моделирования процессов управления с применением специализированного программного обеспечения ANSYS. На базе данного ПО была разработана 3D модель ВК

токамака КТМ. Выполнен комплекс исследований характеристик ВК на модели в части моделирования тепловых процессов прогрева, поддержания температуры и остывания камеры.

1. Приведены результаты модельных исследований токамака КТМ в пакете ANSYS, на основании которых была получена 3D модель токамака КТМ, отражающая поведение ВК при тепловых процессах.

2. Разработан сценарий прогрева обеспечивающий требуемые 40-50°C температурной неравномерности на протяжении всего режима прогрева

3. Полученные результаты позволяют создать программную модель, эмулирующую состояние ВК для отработки алгоритмов, и исследования поведения системы управления в аварийных ситуациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов, А.Н. Имитаторы и тренажеры в системах отладки АСУ ТП / А.Н. Романов, В.П. Жабаяев. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 112 с.
2. Шлямнев, А.П. Коррозионостойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справочное издание / А.П. Шлямнев, Т.В. Свистунова, О.Б. Лапшина – М. : Интермед Инжиниринг, 2000. – 232 с.
3. Басов, К.А. Совместная работа в системах САД и ANSYS / К.А. Басов - М. : КомпьютерПресс, 2002. – 325 с.
4. Каплун, А.Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство / Е.М. Морозов, М.А. Олферьева - М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

КТМ ТОКАМАГІНІҢ ВАКУУМДЫҚ КАМЕРАСЫНЫҢ ЖЫЛУ ҮДЕРІСТЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

¹Коровиков А.Г., ¹Ольховик Д.А., ²Павлов В.М.

¹ҚР ҰАО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

²Томск Ұлттық политехникалық зерттеу университеті, Томск, Ресей

КТМ токамагінің вакуумдық камерасының (ВК) 3D жылу моделі әзірленді. Қыздыру, температураны қолдау және салқындатудың жылу үдерістерін модельдеу бөлігінде модельде ВК сипаттамаларын зерттеу кешені орындалды. Модельдік зерттеулер және оның негізінде алынған КТМ токамагінің жалпылама моделі КТМ токамагінің ВК экспериментке дайындаудың технологиялық үдерісін басқару жүйесін құруға негіз болып табылады. Алынған нәтижелер басқару алгоритмдерін пысықтауға және апаттық жағдайларда басқару жүйесін зерттеуге арналған ВК бағдарламалық эмуляторын құруға мүмкіндік береді.

MODELING OF VACUUM CHAMBER THERMAL PROCESSES OF KTM TOKAMAK

¹A.G. Korovikov, ¹D.A. Olkhovik, ²V.M. Pavlov

¹Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

²National research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Was developed thermal model 3D of vacuum chamber (VC) of tokamak KTM. Was made research efforts of characteristics of the VC on models in parts of modeling of thermal processes of preheating, temperature maintenance and cooling down. Model studies and received on this basis dates of a generalized model of tokamak KTM, are the basis for creation of field control system to preparation VC tokamak KTM for the experiment. Obtained results allow to creating a program emulator program VC for development of control algorithms, and behavioral research of controlling system in exigent conditions.

УДК 50.03.03

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ НАТРИЯ КАК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

¹⁾Кривцов П.Ю., ²⁾Павлов В.М.

¹⁾Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

²⁾Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Получено математическое описание процессов протекающих в химическом реакторе установки по переработке натрия, проведена идентификация химического реактора как технологического объекта управления, получены передаточные функции объекта по каналам поток воды - концентрация раствора и поток раствора – масса раствора, проведен выбор закона управления, определены коэффициенты регуляторов.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие ядерной энергетики как одной из перспективных отраслей производства тепловой и электрической энергии непосредственно связано с решением комплекса задач, решение которых направлено на повышение эффективности и безопасности энергетических объектов, утилизации, переработки и захоронению ядерных отходов. Начатая в Республике Казахстан программа по выводу реактора БН-350 из эксплуатации затрагивает широкий комплекс проблем, одной из которых является переработка и захоронение натрия, который в реакторе использовался в качестве теплоносителя [1].

В данной работе рассматривается ряд аспектов, связанных с изучением жидкофазной технологии переработки натрия, идентификацией химического реактора как технологического объекта управления и синтезом регуляторов основных параметров процесса, что предусматривает выполнение следующих этапов работ:

- формирование математического описания химического реактора;
- идентификация объекта управления и получение его передаточных функций;
- синтез контуров управления химической реакцией.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Структурное представление входных и выходных потоков химического реактора установки по переработке натрия приведено на рисунке 1.

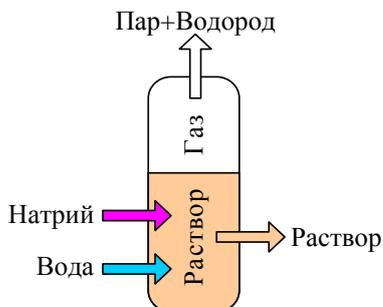
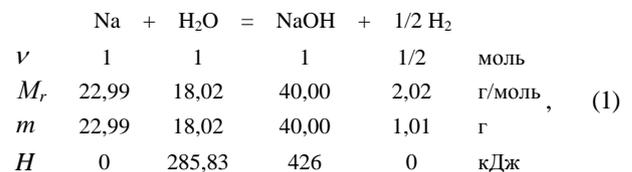


Рисунок 1. Поток реагентов и продуктов химической реакции

Принцип работы установки по переработке натрия заключается в осуществлении реакции натрия с водой в концентрированном растворе гидроксида в химическом реакторе [2]. Для получения раствора заданной концентрации системе управления необходимо осуществлять подачу натрия и воды в строго определенных количествах.

При взаимодействии натрия с водой выделяется большой объем водорода и высвобождается значительное количество тепловой энергии. Избыток тепла отводится за счет испарения воды, температура в химическом реакторе поддерживается на уровне температуры кипения раствора при заданной концентрации.

В реакторе происходит взаимодействие натрия с водой с образованием гидроксида натрия и водорода, а также растворение гидроксида натрия в воде. Обе реакции экзотермические. Уравнение реакции записывается следующим образом:



где ν – количество молей вещества; M_r – молярная масса; m – масса; H – энтальпия образования.

Расчет массовых соотношений производится согласно закону сохранения масс: общая масса реагентов равна суммарной массе получающихся в реакции продуктов. Для расчета массы образующегося в реакторе пара составлено уравнение энергетического баланса. Изменение количества внутренней энергии раствора в реакторе определяется по входным и выходным потокам энергии и зависит от текущей концентрации раствора и его температуры. Поток пара должен быть таким, что температура раствора при заданной концентрации не превышала температуру кипения. Проведена аппроксимация таблично заданной функции плотности щелочи, аргументами которой являются концентрация и температура раствора. Ввиду отсутствия доступной информации о физических свойствах щелочи при температурах выше 100°C, требуемые зависимости определены экстраполяцией [3, 4].

На основе математического описания, в приложении имитационного моделирования Simulink инженерного математического пакета Matlab была разработана математическая модель химического реактора [5]. Получены количественные характеристики материальных потоков основных компонентов и продуктов реакции, исследована скорость протекания процессов при различных начальных условиях. Проведены модельные исследования химического реактора установки по переработке натрия [6].

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ ЕГО ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ

Химический реактор является основным элементом УПН, в котором протекает реакция взаимодействия жидкометаллического натрия с водой в щелочном растворе и в данной работе рассматривается как технологический объект управления. Для поддержания непрерывного процесса переработки, системе управления необходимо обеспечить регулирование концентрации и массы щелочного раствора в емкости реактора. Конструктивные особенности технологического оборудования установки по переработке натрия накладывают определенные ограничения на контур управления концентрацией. В частности, основным требованием к системе управления является обеспечение непрерывного, стабилизированного потока натрия, в связи с чем, регулировать концентрацию раствора щелочи в химическом реакторе можно только за счет входного потока воды. Масса щелочного раствора в емкости реактора регулируется за счет отвода излишков щелочи на участок разбавления, при этом необходимо поддерживать рабочий уровень заполнения емкости.

Таким образом, функциональная схема объекта автоматизации будет содержать три вещественно-энергетических потока, а именно: поток воды, поток натрия и поток раствора, отводимого из реактора (рисунок 2).

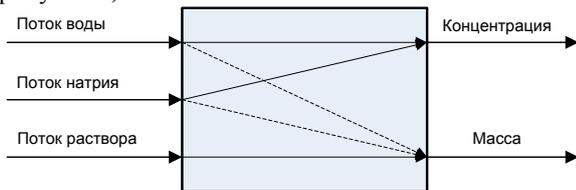


Рисунок 2. Функциональная схема объекта автоматизации

Следовательно, химический реактор является сложным многосвязным объектом с тремя входными и двумя выходными переменными, при этом изменение потоков натрия и воды приводит к изменению концентрации раствора, а изменение потока раствора влияет на его массу. Существует зависимость массы раствора от входных потоков воды и натрия, но регулирующей переменной для массы является поток раствора.

Таким образом, технологический объект управления (ТОУ) описывается двумя передаточными функциями (рисунок 3):

- передаточной функцией (ПФ) по каналу «поток воды – концентрация раствора»;
- ПФ по каналу «поток раствора – масса раствора».

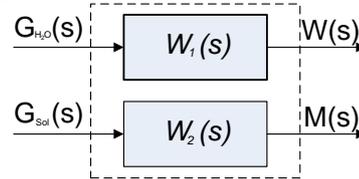


Рисунок 3. Структурное представление ТОУ

Для получения передаточной функции ТОУ по каналу «поток воды – концентрация раствора в реакторе» будем рассматривать объект в стационарном режиме, т.е. считать, что входной поток натрия и отвод раствора постоянны.

Можно записать, что изображение по Лапласу выходной координаты имеет вид:

$$w(s) = W_g(s) \cdot G_{H_2O}(s) + W_f(s) \cdot G_{Steam}(s) = \frac{b_0}{a_0 s} G_{Steam}(s) - \frac{b_0}{a_0 s} G_{H_2O}(s);$$

Таким образом, видно, что объект для малых приращений в окрестности рабочей точки описывается интегрирующим звеном.

Нахождение передаточной функции ТОУ по каналу «поток раствора – масса раствора в реакторе» выполняется при условии нахождения химического реактора в стационарном состоянии, получим передаточную функцию химического реактора по каналу «поток раствора – масса раствора в реакторе», выражение 2.

$$M(s) = \frac{C}{s^2} - \frac{1}{s} G_{Sol}(s). \tag{2}$$

Таким образом, объект управления можно представить двумя передаточными функциями, одна из которых является передаточной функцией по управлению, а вторая – по возмущению. Причем, поскольку в стационарном режиме все потоки, кроме потока раствора, постоянны и в сумме дают константу С, то в этом случае возмущение известно, постоянно и равно С.

СИНТЕЗ КОНТУРОВ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИЕЙ

Применительно к химическому реактору УПН для системы управления технологическим процессом выделены два контура управления:

- регулирование концентрации раствора в реакторе;
- регулирование уровня (массы) раствора в реакторе.

Концентрацию раствора в реакторе можно изменять двумя способами: изменяя входной поток натрия и изменяя входной поток воды. Поскольку система управления потоком натрия предусматривает стабилизацию его на определенном уровне, то для поддержания заданной концентрации раствора используется канал управления потоком воды. Возмущающим воздействием в данном случае является

парообразование, вследствие которого концентрация раствора в емкости реактора повышается.

Учитывая, что объект описывается двумя передаточными функциями (по управлению и возмущению), структурную схему системы автоматического регулирования (САР) можно представить, как показано на рисунке 4.

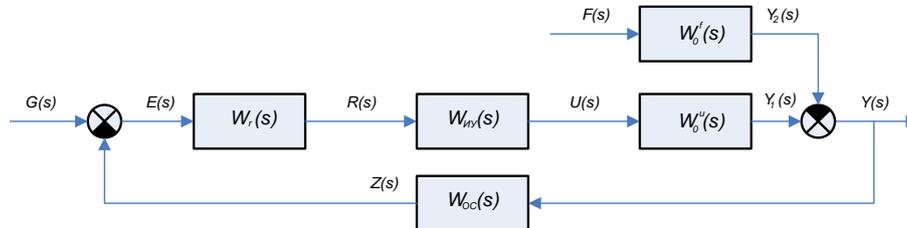


Рисунок 4. Структурная схема САР концентрации щелочи

Ввиду необходимости компенсации САР возмущающего воздействия, закон управления должен позволять компенсировать статическую ошибку, следовательно, регулятор должен быть астатическим. С помощью критерия Рауса-Гурвица [7] проведен анализ устойчивости системы при использовании в регуляторе ПИ, ПД и ПИД законов управления.

Наибольшую устойчивость показала система управления с ПИД регулятором. С помощью частотных характеристик можно свести нахождение настроек регулятора к решению двух уравнений с тремя неизвестными (один коэффициент выбирается произвольно). Для этого нужно задаться необходимым запасом устойчивости по фазе и временем установления (регулирования) переходного процесса.

Полагаем, что система должна удовлетворять следующим требованиям:

- запас устойчивости по фазе $\varphi_m = 45^\circ$;
- время установления 5 минут.

Для коэффициентов передачи регулятора имеем два уравнения [8,9]:

$$K_{II} = \frac{\cos \theta}{|W_0(j\omega_1) \cdot W_{OC}(j\omega_1)|}$$

$$K_D \omega_1 - \frac{K_{II}}{\omega_1} = \frac{\sin \theta}{|W_0(j\omega_1) \cdot W_{OC}(j\omega_1)|}$$

где W_0 – передаточная функция объекта, W_{OC} – передаточная функция датчика в цепи главной обратной связи, ω_1 – частота, на которой обеспечивается запас устойчивости по фазе, θ – фазовый сдвиг, вносимый регулятором.

$$\theta = \arg W_r(j\omega_1) =$$

$$= -180 + \varphi_m - \arg W_0(j\omega_1) W_{OC}(j\omega_1).$$

Частота, на которой обеспечивается запас устойчивости по фазе, находится по следующей формуле [8,9]:

$$\omega_1 = \frac{8}{T_r \tan \varphi_m},$$

где T_r – время регулирования.

Решая полученную систему уравнений, и задав $K_{II}=0.01$, определим пропорциональный и дифференциальный коэффициенты регулятора. $K_{II}=6.094$, $K_D=2.286 \cdot 10^{-3}$.

Для контура поток раствора – масса раствора проведя аналогичные операции, задав $K_{II}=0.05$ получаем $K_{II}=8.601$, $K_D=3.227 \cdot 10^{-3}$

Выводы

- Получено математическое описание технологического процесса переработки натрия;
- Проведена идентификация химического реактора как объекта управления;
- Определены передаточные функции объекта управления по каналам «поток воды – концентрация раствора» и «поток раствора – масса раствора»;
- Проведен анализ законов регулирования для контуров управления концентрацией и массой щелочного раствора в химическом реакторе;
- Определены коэффициенты регуляторов.

Данная работа является важным этапом процесса создания системы управления и контроля технологических параметров на установке по переработке натрия [10,11]. Выбранные законы управления и значения коэффициентов регулирования интегрированы в программные модули системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sodium Coolant Handling Project of BN-350 Fast Breeder Reactor / Tazhibayeva I., [et al] – Almaty a.c. : Glory Ltd., 2010. – 304 p.
2. Garcia, H.E. Modeling and Control of a Sodium Conversion Process Applied to Nuclear Decommissioning Activities / H.E. Garcia // Nuclear Technology. – 1998. – Vol. 123, № 8. – P. 54–60
3. NIST Standard Reference Database Number 69 [Электронный ресурс] / Chemistry WebBook : ред. Daubert T.E., режим доступа: <http://webbook.nist.gov/chemistry>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Caustic Soda Handbook [Электронный ресурс] / Occidental Chemical Corporation : Режим доступа: <http://www.oxychem.com>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Андриевский, Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке Matlab / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. – СПб. : Наука, 2000. – 475 с.
6. Кривцов, П.Ю. Разработка модели химического реактора установки по переработки натриевого теплоносителя / П.Ю. Кривцов, В.М. Павлов // Известия ТПУ – 2011. – №3. – С. 80–86.
7. Филлипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор – М. : Лаборатория базовых знаний, 2001. – 416 с.
8. Клюев, А.С. Автоматическое регулирование / А.С. Клюев – М. : Высшая школа, 1986. – 520 с.
9. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
10. Кривцов, П.Ю. Разработка системы автоматизированного управления технологическим процессом переработки натриевого теплоносителя / П.Ю. Кривцов, А.С. Клименко, О.А. Горбаненко // Вестник НЯЦ РК – 2006. – №3. – С. 117–125.
11. Клименко, А.С. Разработка системы моделирования технологического процесса переработки натриевого теплоносителя / А.С. Клименко, П.Ю. Кривцов // Вестник НЯЦ РК – 2006. – №3. – С. 108–117.

НАТРИЙДІ ҚАЙТА ӨНДЕУ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ РЕАКТОРЫН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БАСҚАРУ ОБЪЕКТИСІ РЕТІНДЕ СӘЙКЕСТЕНДІРУ

¹Кривцов П.Ю., ²Павлов В.М.

¹*Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Курчатов*

²*Томск ұлттық зерттеу политехника университеті, Томск, Ресей*

Натрийді қайта өндеу қондырғысының химиялық реакторында жүретін үдерістердің математикалық сипаттамасы алынды, химиялық реакторды технологиялық басқару объектісі ретінде сәйкестендіру жүргізілді, су ағыны – ерітінді концентрациясы және ерітінді ағыны – ерітінді массасы арналары бойынша объектінің беріліс функциялары алынды, басқару заңына таңдау жасалды, реттеуіштер коэффициенттері анықталды.

IDENTIFICATION OF THE CHEMICAL REACTOR OF SODIUM PROCESS FACILITY AS TECHNOLOGICAL CONTROL SUBJECT

¹P.Yu. Krivtsov, ²V.M. Pavlov

¹*National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov*

²*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

Processes took place in Chemical Reactor of Sodium Processing Facility are mathematically described; Chemical Reactor as technological control subject is identified; transfer functions of the subject through the channels water flow–solution concentration –solution flow – solution mass are provided; law of control is chosen and regulator coefficients are defined.

УДК 621.039:001.89

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С УНИВЕРСАЛЬНЫМ
УПАКОВОЧНЫМ КОМПЛЕКТОМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕЗ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В РК**

Кукушкин С.М.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

В настоящей работе приведены результаты оценки радиационной и ядерной безопасности, проведенной в рамках анализа безопасности обращения с универсальным упаковочным комплектом, предназначенным для транспортировки без предварительной выдержки ОЯТ.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из вариантов существенного снижения уровней рисков распространения ядерных материалов является исключение из операций по обращению с топливом операции по выдержке топлива в пристанционном бассейне – после кратковременной выдержки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в активной зоне остановленного реактора оно будет помещено в специализированные транспортные упаковочные комплекты (ТУК) и сразу же отправлено на завод по переработке или в место временного хранения.

При этом сохраняется риск аварий при обращении с упаковочным комплектом. Для принятия мер по недопущению развития аварий необходимо провести рассмотрение возможных аварийных ситуаций и оценить последствия их развития с целью принятия при проектировании необходимых превентивных мер.

ВЫБОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ

В основу методик по идентификации и анализу опасных факторов легли положения, изложенные в документах Департамента энергетики США [1, 2].

Согласно методике по анализу опасных факторов, анализ состоит из шести этапов:

- Идентификация опасного фактора.
- Определение исходных событий, которые могут повлечь за собой особо опасные аварии.
- Определение мер по предотвращению аварий либо по смягчению их последствий.
- Качественная оценка возможности и частотности аварий.
- Детерминирующие приближенные количественные расчеты радиологической дозы.
- Оценка общего риска.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ

Для идентификации опасных факторов при обращении с проектируемым ТУК:

- Проводится предварительное описание оборудования и площадок предполагаемых к строительству реакторов, включающее природные и техногенные характеристики площадки и ее окружения. Также описываются материалы и вещества, способ-

ные повлиять на проведение работ по упаковке и транспортировке ОЯТ. Здесь же приводятся исторические источники опасности и аварии.

- Проводится обзор технологических процессов непосредственно связанных с эксплуатацией ТУК, и приводится перечень механизмов, установок и материалов, занятых в этих процессах.

- Информация, собранная в предыдущих двух пунктах, подвергается анализу на предмет выявления опасных факторов. Поскольку основной опасностью проекта хранения является ОЯТ, выявляются только те опасные факторы, которые непосредственно могут привести к повреждению защит ОЯТ.

Описание площадок и оборудования

При анализе безопасности рассматривались площадки предполагаемого в Казахстане строительства АЭС, которые будут располагаться вблизи следующих населенных пунктов:

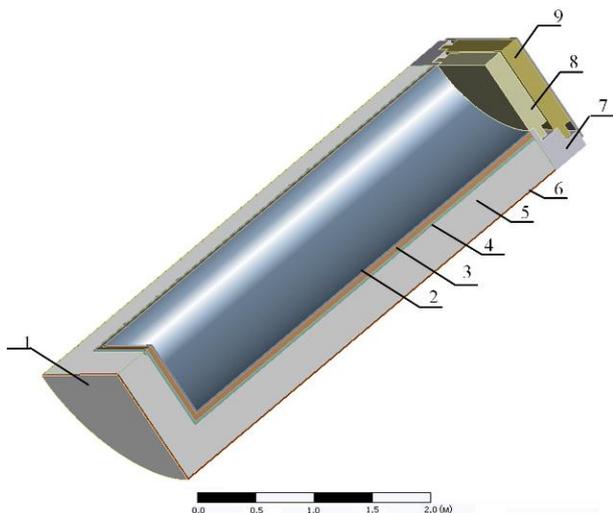
- г. Костанай
- г. Курчатов
- п. Улькен
- г. Тараз
- г. Актау

Площадки предполагаемого строительства находятся в разных климатических зонах. Природные условия районов размещения АЭС не представляют опасности для самих АЭС. Техногенные условия размещения также не представляют значительной опасности для АЭС. Наиболее вероятными источниками опасности являются операции по обращению непосредственно с ОЯТ как на территории АЭС, так и за их пределами.

Описание конструкции контейнера

Разрабатываемый транспортный упаковочный комплект (ТУК) состоит из металлобетонного контейнера (МБК) и дистанционирующей решетки для размещения в МБК чехлов с ОЯТ.

Металлобетонный контейнер (рисунок 1) состоит из цилиндрического корпуса в виде металлобетонной конструкции, двух защитно-герметизирующих крышек и наружного герметизирующего листа.



1 – днище, 2 – внутренний стакан, 3 – внутренний слой бетона, 4 – силовой стакан, 5 - наружный слой бетона, 6 – обечайка, 7 – комингс, 8 – внутренняя крышка, 9 – наружная крышка

Рисунок 1. Металобетонный контейнер

Дистанционирующая решетка (рисунок 2) представляет собой радиально расположенные стрингеры (продольные ребра), с внутренней стороны соединенные между собой сваркой посредством колец, а с наружной стороны – наружными обечайками, в совокупности со стрингерами образующих наружные гнезда для размещения чехлов с ОЯТ.

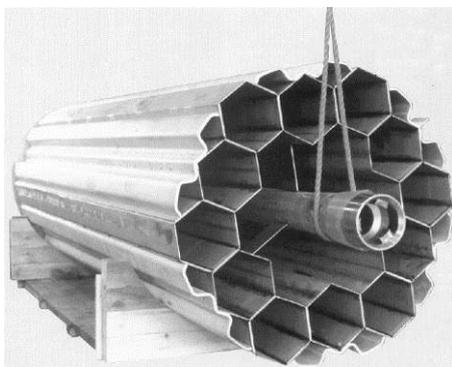


Рисунок 2. Дистанционирующая решетка

Исходные события и сопутствующие сценарии аварий

При составлении перечня исходных событий и аварий при обращении с ОЯТ на территории АЭС, использовался опыт проектирования пункта перегрузки ОЯТ на территории площадки реактора БН-350. Были рассмотрены следующие общие для всех рассматриваемых АЭС исходные события и сопутствующие им сценарии аварий:

При загрузке ОЯТ в ТУК и установке на транспортное средство:

1. падение сборок, чехлов или ТУК с максимально возможной высотой как результат отказа оборудования или ошибки персонала;
2. нарушение герметичности упаковки с выходом радиоактивных продуктов деления;

3. нарушение режима теплоотвода (нарушение способности ТУК отводить тепло);
4. превышение давления из-за отсутствия вентиляции или в результате ошибки персонала;
5. критические ситуации, вызванные нарушением шага размещения;
6. землетрясения;
7. пожары;
8. отказ основной и резервирующих систем энергоснабжения;
9. падение самолета;
10. ударная волна, как результат взрыва на близлежащих установках;
11. взаимодействие с другими устройствами;
12. падение тяжёлых конструкций на сборки, чехлы или ТУК.

При транспортировке ТУК за пределами АЭС:

1. столкновение поезда, перевозящего ОЯТ, с неподвижным препятствием или встречным железнодорожным составом, а также нерельсовым транспортным средством, оказавшимся на пути следования поезда с ОЯТ;
2. сход вагона с ОЯТ, а также других вагонов или локомотива поезда, перевозящего ОЯТ, с рельсов;
3. опрокидывание вагона с ОЯТ, а также других вагонов или локомотива поезда, перевозящего ОЯТ, при движении;
4. сход с рельсов или опрокидывание вагонов или локомотива встречного поезда, движущегося по соседнему пути в момент прохождения поезда с ОЯТ;
5. взрыв взрывчатых или взрывоопасных веществ или грузов в вагонах другого поезда в момент прохождения этого поезда мимо поезда с ОЯТ или во время стоянки этого поезда на соседнем пути рядом с поездом с ОЯТ;
6. воспламенение горючего вещества в вагонах или цистернах другого поезда в момент прохождения этого поезда мимо поезда с ОЯТ по соседнему пути или во время стоянки этого поезда на соседнем пути рядом с поездом с ОЯТ;

Из исторических событий, опубликованных транспортным агентством США [3] было установлено, что общими причинами инцидентов являлось несоблюдение норм по проектированию контейнеров, по следованию процедуре обращения с ОЯТ или использование неадекватной процедуры.

Исходные события, сценарии развития аварий, меры по предотвращению развития аварии, а также оценка возможности и частотности аварий сводились в единую таблицу анализа опасных факторов при обращении с ОЯТ.

Анализ проводился для следующих технологических операций по обращению с ОЯТ, которые являются общими для предполагаемых к строительству типов АЭС.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С УУК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ
БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В РК**

На основании вероятности развития аварии определялась оценка риска воздействия аварии на персонал, население и окружающую среду. Риск определяется как сочетание вероятности развития аварии и степени ее тяжести. Качественно он классифицируется как приемлемый, пограничный и неприемлемый.

Более подробно подход для ранжирования представлен ниже (таблица 1).

В целом, если риск рассматривается как приемлемый, нет необходимости принимать меры в дополнение к существующей практике по снижению

вероятности аварии и степени тяжести ее последствий. В случае пограничного риска необходимо проанализировать, какие дополнительные меры могут быть приняты в целях предотвращения и снижения последствий аварии. Неприемлемый риск указывает на то, что адекватные меры не были приняты, и поэтому их необходимо установить и разработать.

В таблице 2 приводится пример анализа опасных факторов операции по перемещению ОЯТ из АЗ в контейнер.

Таблица 1. Матрица 4-на-4 для ранжирования риска

Вероятность аварии	Тяжесть аварии			
	Незначительная	Низкая	Умеренная	Высокая
Вероятная	Приемлемый	Пограничный	Неприемлемый	Неприемлемый
Маловероятная	Приемлемый	Приемлемый	Пограничный	Неприемлемый
Чрезвычайно маловероятная	Приемлемый	Приемлемый	Приемлемый	Пограничный
Практически невероятная	Приемлемый	Приемлемый	Приемлемый	Приемлемый

Таблица 2. Анализ опасных факторов при обращении с ОЯТ

№	Описание процесса	Опасные материалы	Иницирующие события	Последствия	Меры по предотвращению	Смягчающие обстоятельства	Классификация частотности	Тяжесть аварии	Риск	Комментарии
2	Загрузка и погрузка на транспортное средство ТУК									
	ОЯТ перемещается с помощью телескопического захвата, закрепленного на перегрузочной машине	2354 ТВС (АВВР) 619 ТВС (АР-1000) 408 ТВС (ВВЭР-1000)	Поломка телескопической машины перемещения с обрушением ее в бассейн	Повреждение 1 и более ТВС и выделение ГД	1. Обучение операторов существующим процедурам 2. Машина проходит инспектирование и ТО 3. Машина не может поднять ТВС на расстояние более заданного в проектных ограничениях	1. Выпадение продуктов деления происходит под водой, что ограничивает их выход 2. Оболочки твэлов обладают достаточной прочностью	Чрезвычайно маловероятная	Незначительная	Приемлемый	Падение с подобными последствиями может быть вызвано сейсмическим событием, с меньшей частотой

АНАЛИЗ МАКСИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ АВАРИИ

Проектная авария может быть вызвана на любом этапе обращения с ОЯТ при нарушении правил безопасности. Предполагается, что в результате падения ТУК происходит разрушение оболочек твэлов.

АНАЛИЗ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИИ

Растрескивание ТУК в результате воздействия на него высоких температур

Рассматриваются операции по перемещению тепловозом тележки с ТУК, загруженной ОЯТ внутри здания АЭС и перевозка ТУК железнодорожным транспортом. Предполагается, что вследствие повреждения линии подачи топлива или топливного бака тепловоза происходит разлив топлива и его возгорание. При перевозке ОЯТ на железнодорожном транспорте в результате возгорания или взрыва горючих или взрывчатых веществ, находя-

щихся в другом поезде в момент прохождения этого поезда мимо поезда с ОЯТ или во время стоянки этого поезда на соседнем пути рядом с поездом с ОЯТ возможно опрокидывание вагонов с ОЯТ и(или) их разрушение вследствие падения вагона или воздействия образующихся при взрыве летящих предметов. Кроме разрушения ТУК происходит воздействие на ТУК огня. При пожаре происходит разогрев ТУК. При тушении пожара холодной водой происходит резкое неравномерное охлаждение отдельных элементов конструкции ТУК, а вследствие этого, возникновение значительных градиентов температуры по объему корпуса и слоям бетонной радиационной защиты с последующим растрескиванием бетона. При этом персонал, участвующий в тушении пожара и ликвидации его последствий, подвергается внешнему облучению от ОЯТ. В ре-

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С УУК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ
БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В РК**

зультате деформации корпуса происходит его разгерметизация и выход ГПД за пределы ТУК.

Разрушение ТУК в результате падения на него крана

Предполагается, что в результате запроектного землетрясения (или поломки оси крана и схода его с рельсов) козловой кран опрокидывается и повреждает ТУК. Персонал, находящийся в непосредственной близости от ТУК и население, проживающее в непосредственной близости от ограждения площадки АЭС, подвергается внешнему и внутреннему облучению от облака радиоактивного газа.

Выход продуктов деления при аварии

При расчете дозовых нагрузок на население учитывались индивидуальные дозы облучения от выброса радиоактивных газов и аэрозолей, как от внешнего облучения, так и по ингаляционному пути воздействия. Расчет производился для наихудших погодных условий.

Дозы от облучения населения и персонала от приземной концентрации ГПД приведены ниже (таблица 3).

Расчет доз для персонала, выполняющего непосредственно операции по обращению с ТУК не вошло в задачи автора статьи и здесь не приводится.

Дозовые нагрузки и радиационные поля

Требования по радиационной безопасности и основные дозовые пределы облучения персонала и насе-

ления при нормальной эксплуатации установлены в нормах и правилах СГТПОРБ-2003, НРБ-99 и др.

В соответствии с этими нормами в настоящем проекте приняты следующие основные дозовые пределы для различных категорий облучаемых лиц:

- персонала (группы А и Б);
- всего населения, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Основные дозовые пределы, являющиеся критериями радиационной безопасности, представлены таблице 4.

Таблица 3. Дозы облучения населения при выходе ГПД в атмосферу, Зв

Расстояние от точки выброса, м	АВВР		АР		ВВЭР	
	макс	мин	макс	мин	макс	мин
100	22.77	4.92	8.11	2.70	4.61	1.26
200	7.10	1.54	2.53	0.84	1.44	0.39
300	3.35	0.72	1.19	0.40	0.68	0.18
400	2.01	0.43	0.72	0.24	0.41	0.11
500	1.47	0.32	0.52	0.17	0.30	0.08
600	1.07	0.23	0.38	0.13	0.22	0.06
700	0.87	0.19	0.31	0.10	0.18	0.05
800	0.67	0.14	0.24	0.08	0.14	0.04
900	0.54	0.12	0.19	0.06	0.11	0.03
1000	0.47	0.10	0.17	0.06	0.09	0.03
2000	0.15	0.03	0.05	0.02	0.03	0.01

Таблица 4. Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А) *	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
Хрусталик глаза	150 мЗв	15 мЗв
Кожа	500 мЗв	50 мЗв
Кисти рук и стопы	500 мЗв	50 мЗв

* Дозы облучения персонала группы Б не должны превышать 1/4 значений доз для персонала группы А

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из результатов расчета при запроектных авариях дозы облучения на несколько порядков превысят предельно допустимые 5 мЗв. Это связано с большой активностью невыдержанного после исполь-

зования ОЯТ. Для исключения развития запроектных аварий и смягчения их последствий необходимо предусмотреть ряд организационных мероприятий, исключающих возможность разгерметизации ТУК или нарушение целостности бетона внутри ТУК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Preparation Guide for U.S. Department of Energy Nonreactor Nuclear Facility Safety Analysis Reports, DOE-STD-3009-94, July 1994, 144 p.
2. Hazard Categorization and Accident Analysis Techniques for Compliance with Doe Order 5480.23, Nuclear Safety Analysis Reports. DOE-STD-1027-92, September 1997, 49 p.
3. Nuclear Waste Project Office [Электронный ресурс]/ Agency for nuclear projects; - Электрон. Дан. - Carson City: 1996 – Режим доступа: <http://www.state.nv.us/nucwaste/index.htm>, свободный. – Загл. с экрана

**ҚР-ДА САЛУ ҮШІН ҰСЫНЫЛАТЫН, РЕАКТОРЛАРДЫҢ ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ЯДРОЛЫҚ
ОТЫНЫН (ПЯО) АЛДЫН АЛА ҰСТАУСЫЗ ТАСЫМАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ӘМБЕБАП
БУЫП-ТҮЮ КЕШЕНІН ҚОЛДАНУ ҚАУІПСІЗДІГІН АЛДЫН АЛА ТАЛДАУ**

Кукушкин С.М.

Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов

Бұл жұмыста ПЯО алдын-ала ұстаусыз тасымалдау үшін көзделген әмбебап буып-түю топтамасымен айналысу қауіпсіздігін талдау шегінде жүргізілген радиациялық және ядролық қауіпсіздікті бағалаудың нәтижелері келтірілген.

**PRELIMINARY SAFETY ANALYSIS OF HANDLING WITH UNIVERSAL PACKAGE SET
FOR TRANSPORTATION WITHOUT PRELIMINARY STORING OF SNF
OF THE REACTORS WHICH SUGGEST TO CONSTRUCTION IN RK**

S.M. Kukushkin

National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

Results of radiation and nuclear safety assessment performed under the safety analysis of handling with universal packing set meant for transportation without preliminary WNA holding are represented in this work.

УДК 621.039:001.89

АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С УНИВЕРСАЛЬНЫМ УПАКОВОЧНЫМ КОМПЛЕКТОМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ

Мукенева С.А.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

В настоящей работе приведены результаты анализа радиационной и ядерной безопасности обращения с универсальным упаковочным комплектом, разрабатываемым с целью перевозки и хранения ОЯТ, извлекаемого непосредственно из активной зоны реакторов. Использование таких комплектов позволит отказаться от использования пристанционных хранилищ ОЯТ и сократить вероятность хищения ОЯТ при перевозке.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе был проведен анализ радиационной защищенности и анализ ядерной безопасности ТУК различной вместимости с использованием исходных данных по ОЯТ пяти различных реакторов (АВWR, AP1000, AP600, ВВЭР-1000, ВБЭР-300) с учетом нормативных требований, изложенных в [1-11].

Основной задачей расчетов для условий нормальной эксплуатации является определение максимальной загрузки контейнера ОТВС рассматриваемых реакторов при различных вариантах охлаждения (газовая среда (гелий, аргон, CO₂) или жидкостная среда (вода)). Основными ограничениями здесь выступают размер внутренней полости контейнера (принятый диаметр не более 200 см), ограничения по массе (не более 130 тонн), ограничения по мощности эквивалентной дозы излучения

на поверхности ТУК (в нормальных условиях не более 2.0 мЗв/ч) и подкритичностью системы (Кэфф < 0.95). Температура всех областей ТУК задавалась равной 20°C.

Моделирование контейнеров осуществлялось в трёхмерной геометрии, с использованием расчетного кода MCNP. Для проведения верификации расчетного кода из справочника [12] были выбраны эксперименты с низкообогащенным топливом на основе диоксида урана в водяном замедлителе.

Суммарные исходные данные по конструкциям моделируемых ТВС реакторов различного типа и по радиационным характеристикам ОЯТ приведены в таблице 1. Каждая сборка располагалась в отдельном чехле корзины выполненной из алюминия или, в отдельных расчётных случаях, из сплава MBL05 с толщиной стенки 1 см.

Таблица 1. Характеристики ОЯТ используемые при моделировании контейнеров

Характеристика	Значение				
	АВWR	AP1000	AP600	ВВЭР-1000	ВБЭР-300
Материал ядерного топлива	спеченный диоксид урана				
Длина ТВС (полная), мм	4470	4795	4326	3837	3570
Тип решетки (геометрия расположения твэлов в ТВС)	10×10 (квадратная)	17×17 (квадратная)	17×17 (квадратная)	треугольная	треугольная
Число ТВС в активной зоне	872	157	145	163	85
Число топливных твэлов в ТВС	92	264	264	311	312
Материал оболочки твэла	циркалой-2	ZIRLO	циркалой	сплав Zr+Nb	сплав Zr+Nb
Толщина оболочки твэла, мм	0.66	0.57	0.57	0.67	0.68
Внешний диаметр твэла, мм	10.3	9.5	9.5	9.1	9.1
Вес одной ТВС (включая чехол), кг	300.0	799.7	664.5	680.0	536.0
Интенсивность источников гамма-излучения ПД, фотон/секунда·кгU	5.09·10 ¹⁴	7.79·10 ¹⁴	5.97·10 ¹⁴	8.36·10 ¹⁴	3.12·10 ¹⁴
Интенсивность источников нейтронного излучения, нейтрон/секунда·кгU	3.07·10 ⁶	1.87·10 ⁶	1.89·10 ⁶	2.34·10 ⁶	1.87·10 ⁶

РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОТ РАДИАЦИИ

Анализ радиационной защищенности ТУК проводился с использованием радиационных характеристик ОЯТ для различных времен выдержки с учётом гамма-излучения продуктов деления, нейтронного

излучения ОЯТ, гамма-излучения активационных нуклидов в конструкционных сталях ОТВС.

В настоящей работе рассматривались следующие (последовательно по радиусу) слои защиты: 1. алюминиевая корзина (с веществом поглощающим

**АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С УУК,
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ**

нейтроны или может отсутствовать), 2. сталь (для структурной целостности контейнера), 3. защита на основе железобетона или высокопрочного чугуна (с добавлением оксида обеднённого урана (30% по объёму), свинца (как плоский слой, 50% от объёма защи-

ты), оксида гадолиния (10% по объёму), карбида бора (10% по объёму), 4. внешняя оболочка из стали.

Результаты расчета загрузки контейнера ОТВС различных реакторов и массогабаритных характеристик контейнера при использовании разных защиты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчётов массогабаритных характеристик контейнера для разных защиты

Реактор	Кол-во ОТВС	Внутренний радиус, см	Толщина защиты	Масса ТУК, тонна	Мощность дозы на поверхности, мЗв/час		
					γ-кванты	нейтроны	общая
Железобетонная защита ($\rho=4 \text{ г/см}^3$)							
Газовое охлаждение							
ABWR	9	40	80	100	2.02	$4.40 \cdot 10^{-3}$	2.02
AP1000	4	40	85	104	1.32	$1.67 \cdot 10^{-3}$	1.32
AP600	5	40	85	104	0.91	$2.09 \cdot 10^{-3}$	0.92
ВВЭР-1000	3	40	85	103	2.04	$2.06 \cdot 10^{-3}$	2.04
ВБЭР-300	3	40	80	100	1.46	$2.39 \cdot 10^{-3}$	1.47
Водяное охлаждение							
ABWR	8	40	80	103	1.04	$3.08 \cdot 10^{-2}$	1.07
AP1000	4	40	80	97	1.68	$1.34 \cdot 10^{-2}$	1.69
AP600	4	40	80	97	1.45	$1.35 \cdot 10^{-2}$	1.47
ВВЭР-1000	4	45	80	103	1.37	$1.53 \cdot 10^{-2}$	1.39
ВБЭР-300	5	50	75	101	1.43	$2.90 \cdot 10^{-2}$	1.46
Защита из железобетона с добавлением DUO_2 (50% по объёму, $\rho=7.2 \text{ г/см}^3$)							
Газовое охлаждение							
ABWR	37	70	45	112	0.90	0.17	1.07
AP1000	21	80	45	129	1.47	0.13	1.60
AP600	21	75	45	121	1.19	0.14	1.33
ВВЭР-1000	9	70	45	107	1.90	1.11	2.01
ВБЭР-300	9	70	45	107	0.74	$8.58 \cdot 10^{-2}$	0.83
Водяное охлаждение							
ABWR	25	70	45	116	0.52	0.20	0.72
AP1000	12	75	45	125	0.77	0.21	0.98
AP600	12	75	45	124	0.55	0.22	0.77
ВВЭР-1000	8	70	45	114	0.45	0.13	0.58
ВБЭР-300	8	70	40	101	0.84	0.22	1.06
Защита из чугуна ($\rho=7.2 \text{ г/см}^3$)							
Газовое охлаждение							
ABWR	21	55	60	130	$5.25 \cdot 10^{-2}$	1.68	1.74
AP1000	9	60	55	124	0.33	1.67	2.00
AP600	9	60	55	122	0.27	1.65	1.93
ВВЭР-1000	7	60	55	122	0.42	1.61	2.02
ВБЭР-300	9	70	55	130	0.15	1.49	1.64
Водяное охлаждение							
ABWR	21	70	50	130	0.43	0.62	1.05
AP1000	5	55	50	106	0.55	0.97	1.52
AP600	9	65	55	130	0.13	1.89	2.02
ВВЭР-1000	8	70	50	130	0.50	0.60	1.10
ВБЭР-300	8	70	45	115	0.75	1.38	2.13
Защита из чугуна с добавлением DUO_2 (50% по объёму, $\rho=8.8 \text{ г/см}^3$)							
Газовое охлаждение							
ABWR	37	70	45	130	$5.84 \cdot 10^{-2}$	1.65	1.71
AP1000	13	75	40	121	0.59	1.59	2.18
AP600	13	75	40	120	0.45	1.64	2.09
ВВЭР-1000	9	70	45	128	$9.96 \cdot 10^{-2}$	0.99	1.09
ВБЭР-300	13	85	40	130	0.30	1.63	1.93
Водяное охлаждение							
ABWR	21	65	35	97	1.50	0.37	1.87
AP1000	9	65	45	129	$4.93 \cdot 10^{-2}$	1.29	1.34
AP600	9	65	45	127	$3.63 \cdot 10^{-2}$	1.09	1.13
ВВЭР-1000	8	70	40	118	0.22	0.86	1.08
ВБЭР-300	8	70	35	103	0.46	1.25	1.71

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

В качестве отражателя рассматривался бесконечный слой стали.

При расчетах загрузки контейнера ОТВС различных реакторов при газовом охлаждении сборки располагались по квадратной плотноупакованной решётке.

Результаты расчета загрузки контейнера ОТВС различных реакторов при газовом охлаждении приведены на рисунке 1.

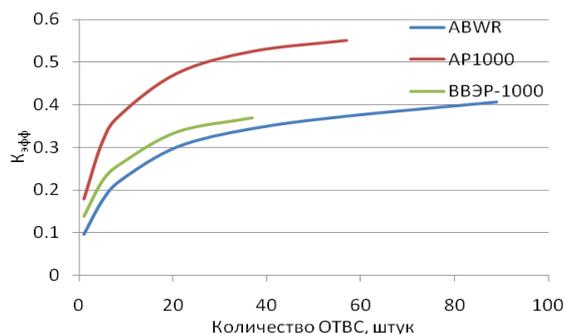


Рисунок 1. Зависимость критичности от загрузки ОТВС при газовом охлаждении

Результаты расчета загрузки контейнера ОТВС различных реакторов при водяном охлаждении (та же квадратная плотноупакованная решётка, что и для случая газового охлаждения) приведены на рисунке 2.

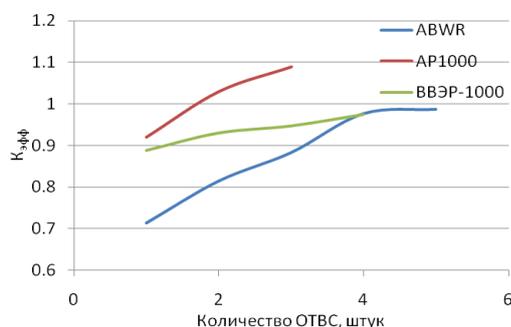


Рисунок 2. Зависимость критичности от загрузки ОТВС при водяном охлаждении (плотноупакованная решётка)

Поскольку загрузка контейнера ОТВС по плотноупакованной решётке оказалась очень мала, так же рассматривался вариант расположения сборок по квадратной разреженной решётке (в шахматном порядке).

Результаты расчета загрузки контейнера ОТВС различных реакторов, расположенных по разреженной решётке при водяном охлаждении приведены на рисунке 3.

Кроме того, для случая водяного охлаждения исследовался вариант расположения сборок по квадратной плотноупакованной решётке в корзине из

сплава MBL05. Этот материал представляет собой сплав алюминия с карбидом бора (5%) с естественным обогащением по ¹⁰B. Результаты расчета загрузки контейнера ОТВС различных реакторов для этого варианта приведены на рисунке 4.

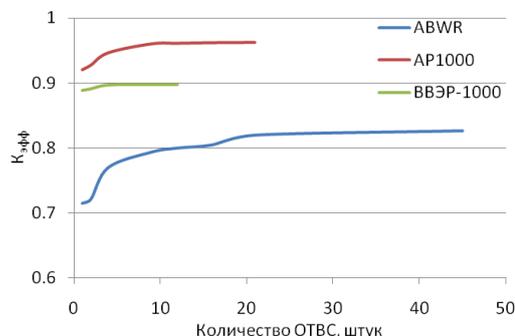


Рисунок 3. Зависимость критичности от загрузки ОТВС при водяном охлаждении (разреженная решётка)

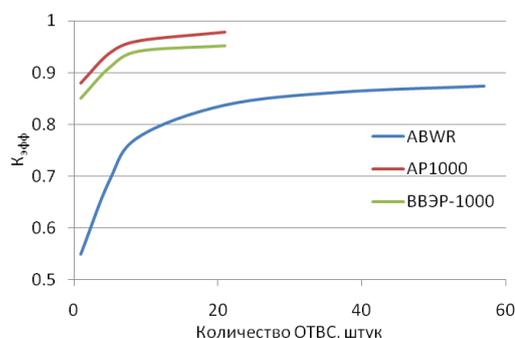


Рисунок 4. Зависимость критичности от загрузки ОТВС при водяном охлаждении (плотноупакованная решётка, корзина из сплава MBL05)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты применения ограничений к конструкции контейнера, сформулированных на основании проведённых нейтронно-физических, расчетов радиационной защиты и других расчетов сведены в таблицу 4.

Ниже представлены результаты расчета минимального количества ТУК, которое должно быть в наличии при одноразовой частичной перегрузке реактора, и для которых необходимо предусмотреть площадку хранения на АЭС.

В результате наименьшее количество контейнеров необходимо при использовании защиты контейнера из Ж/Б с добавлением обедненного оксида урана, что является наиболее оптимальным вариантом. Наихудшим вариантом является защита из чистого Ж/Б, и данный материал защиты контейнера не рекомендуется рассматривать в дальнейшем.

**АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С УУК,
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ**

Таблица 4. Рекомендуемые параметры контейнеров загруженных ОТВС различных реакторов для нескольких вариантов защит и охлаждения

Вариант	Количество ОТВС					Внутренний радиус, см	Толщина защиты	Масса ТУК, тонна
	ABWR	AP1000	AP600	ВВЭР-1000	ВБЭР-300			
Газовое охлаждение (или жидкостное по плотной решётке в корзине с поглотителем нейтронов)								
Ж/б	9	4	5	3	3	40	85	104
Ж/б+DUO ₂	37	8	12	9	9	80	45	129
Чугун	21	6	9	7	7	60	60	130
Чугун+DUO ₂	36	8	12	9	11	75	45	130
Жидкостное охлаждение (по разреженной решётке в корзине без поглотителя нейтронов)								
Ж/б	8	4	4	4	4	45	80	103
Ж/б+DUO ₂	25	8	12	8	8	75	45	125
Чугун	21	5	7	8	8	70	50	130
Чугун+DUO ₂	21	6	9	8	8	65	45	129

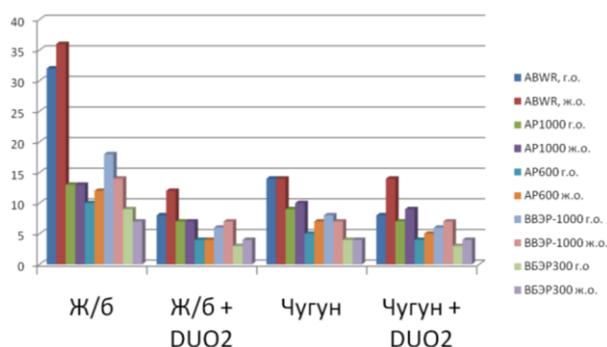


Рисунок 5. Результаты расчета минимального количества ТУК, которое должно быть в наличии при одноразовой частичной перегрузке реактора

ЛИТЕРАТУРА

1. ПБПРМ-99. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. Агентство по атомной энергии Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Алматы 1999.-4с.
2. ГОСТ Р51964-2002. Упаковка отработавшего ядерного топлива. Типы и основные параметры; введ. в действие 01.07.03.-3с.
3. ГОСТ 26013-83. Комплекты упаковочные транспортные для отработавших тепловыделяющих сборок ядерных реакторов. Общие технические требования.- Взамен ГОСТ20.39.309-77; введен16.12.1983.-М.-6с.
4. ПИНАЭ 5.6-86. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. – введен 29.12.1986. -М., 1986.-5с.
5. РБ-006-98. Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ. М., 1998.-33с.
6. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. – Введен 01.09.90.- Москва, 1989.-6с.
7. ПНАЭ Г-14-029-91. Правила безопасности при хранении и транспортировке ядерного топлива на объектах атомной энергетики. – Введен 01.07.92. – Москва, 1992. -27с.
8. НП-0162000. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ); М., 2000. -26с.
9. ПБЯ-06-08-77. Правила ядерной безопасности при транспортировании отработавшего ядерного топлива. – М., 1978. -15с.
10. Правила безопасного транспортирования радиоактивных материалов. Издание 1996 г. Требования. Серия безопасности. МАГАТЭ, Вена, 1996.-77с
11. Серия изданий по безопасности. Справочный материал по правилам МАГАТЭ по безопасной перевозке радиоактивных веществ (издание 1985 г.). Третье издание, МАГАТЭ, 1990.-65с
12. International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments. Volume IV. Paris, September 2003.-43с.

РЕАКТОРЛАРДЫҢ ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ЯДРОЛЫҚ ОТЫНЫН (ПЯО) АЛДЫН АЛА ҰСТАУСЫЗ ТАСЫМАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ӘМБЕБАП БУЫП-ТҮЮ КЕШЕНІН ҚОЛДАНУДЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЯДРОЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІН ТАЛДАУ

Мүкенева С.А.

Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов

Осы жұмыста реакторлардың активті аймақтарынан тікелей алынған ПЯО тасымалдау және сақтау мақсатымен әзірленетін әмбебап буып-түю кешенін қолдану қауіпсіздігін талдау нәтижелері берілген. Мұндай

кешендерді қолдану станцияның жанындағы қоймаларды пайдаланудан бас тартуға және тасымалдау кезінде ПЯО ұрлау ықтималдығын азайтуға мүмкіндік береді.

**PRELIMINARY SAFETY ANALYSIS OF HANDLING WITH UNIVERSAL
PACKAGE SET FOR TRANSPORTATION WITHOUT PRELIMINARY STORING
OF SNF OF THE REACTORS WHICH SUGGEST TO CONSTRUCTION IN RK**

S.A. Mukeneva

National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

The present work results contain the analysis of radiating and nuclear safety handling with the universal packing set develop develops for transportation and storing SNF are from reactor core. Using of this packages make it possible to refuse from station storages and reduce probability of SNF stealage on transportation.

УДК 621.039:001.89

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ «ГОРЯЧЕГО» БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Перепелкин Д.И.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

В настоящей работе представлены результаты исследований прочностных характеристик конструкций металлобетонного контейнера универсального транспортного комплекта, разрабатываемого с целью перевозки «горячего» без предварительной выдержки ОЯТ. Использование таких комплектов позволит отказаться от использования пристанционных хранилищ ОЯТ, снизить риск распространения ОЯТ и повысить безопасность эксплуатации атомных станций.

ВВЕДЕНИЕ

Динамическое развитие экономики Республики Казахстан и рост благосостояния ее граждан делают вопрос обеспечения страны электрической и тепловой энергией все более актуальным. Решение вопроса в рамках государственной программы «Развитие ядерно-энергетической отрасли в Республике Казахстан» предусматривает строительство сети атомных станций (АС) и создание инфраструктуры по обращению с отработанным ядерным топливом (ОЯТ).

Современные технологии обращения с ОЯТ предусматривают по завершению компании его трех–пятилетнюю выдержку в пристанционном бассейне и транспортировку в страны, обладающие технологиями его вторичной переработки.

Одним из вариантов существенного снижения уровней рисков, связанных с содержанием в бассейнах значительного количества ОЯТ и опасностью его распространения, является исключение операции по его выдержки. ОЯТ будет помещено в специализированные транспортные упаковочные комплекты (ТУК) и сразу отправлено из страны. Создание таких комплектов усложняется тем, что необходимо предусмотреть существенный уровень теплоотвода от ОЯТ и возможность применения одних и тех же ТУК для перевозки разных типов топлива. Вопросу обеспечения надежности и необходимого запаса прочности создаваемого ТУК посвящена данная работа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Описание расчетных случаев нагружения

На основании требований [1,2], правил [3] для расчета ТУК при испытаниях, имитирующих

✓ нормальные условия транспортирования, принимаются следующие расчетные случаи:

- 1) падение ТУК с высоты 0,3 м на жесткое недеформируемое основание (скорость соударения $V_0 = 2.43$ м/с):
 - a. в вертикальном положении на днище (крышку);
 - b. в горизонтальном положении на боковую поверхность;

- 2) удар стержнем диаметром 3,2 см и массой 6 кг, сбрасываемым вертикально с высоты 1 м (скорость соударения $V_0 = 4.43$ м/с)
- 3) воздействие на ТУК внутреннего давления $p_{вн} = 1.1$ МПа (11 кгс/см²).
- ✓ при аварийных ситуациях транспортирования принимаются следующие расчетные случаи:
 - 4) падение ТУК с высоты 9 м на жесткое основание (скорость соударения ТУК с жестким основанием $V_0 = 13.29$ м/с):
 - a. в вертикальном положении;
 - b. в горизонтальном положении;
 - c. под углами к поверхности жесткого основания, равными при падении на днище 5°, 30°, 65°;
 - 5) падение ТУК с высоты 1 м на штырь диаметром 15 см, выполненный из мягкой стали с пределом текучести 280 МПа (скорость соударения ТУК со штырем $V_0 = 4.43$ м/с);
 - 6) воздействие на ТУК наружного давления $p_n = 2$ МПа (20 кгс/см²).

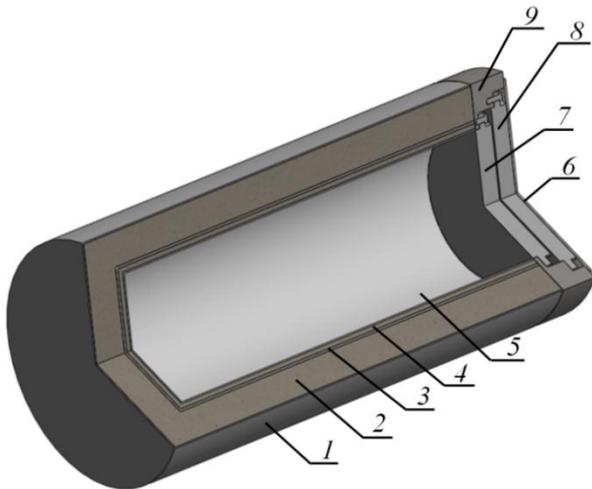
Описание конструкции контейнера

Разрабатываемый транспортный упаковочный комплект (ТУК) состоит из металлобетонного контейнера (МБК) и дистанционирующей решетки для размещения в МБК чехлов с ОЯТ.

МБК (рисунок 1) состоит из цилиндрического корпуса в виде металлобетонной конструкции, двух защитно-герметизирующих крышек и наружного герметизирующего листа.

Дистанционирующая решетка (рисунок 2) служит для упорядоченного размещения чехлов с ОЯТ в МБК. Решетка устанавливается в вертикально стоящий МБК на опорные элементы, расположенные на стрингерах и днищах решетки, и соединяется с МБК при помощи специальных кронштейнов, установленных на боковой поверхности решетки и внутренней оболочке контейнера, и семью стержнями, проходящими через эти кронштейны.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА
ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ «ГОРЯЧЕГО» БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**



1 – наружная обечайка, 2 - наружный слой бетона (B90),
3 – силовой стакан, 4 – внутренний слой бетона (B80),
5 – внутренний стакан, 6 – герметизирующий лист,
7 – внутренняя крышка, 8 – наружная крышка, 9 – комингс

Рисунок 1. Металлобетонный контейнер

Универсальность транспортного контейнера заключается в его способности перевозить различные топливные элементы за счет выбора соответствующей дистанционирующей решетки с универсальными креплениями.

Исходные данные

Расчетная модель для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) представлена

на рисунке 3. Данные материалов, использованных при расчете, указаны в таблицах 1 и 2. Необходимо отметить, что данными для расчета послужили значения толщин стенок МБК, которые были получены при исследовании радиационной защиты [4].

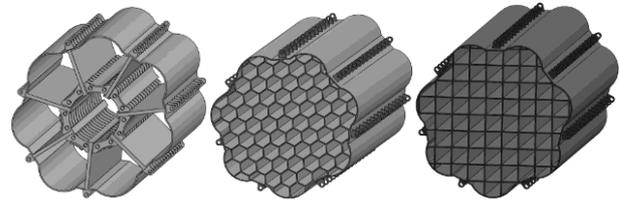


Рисунок 2. Типы дистанционирующих решеток

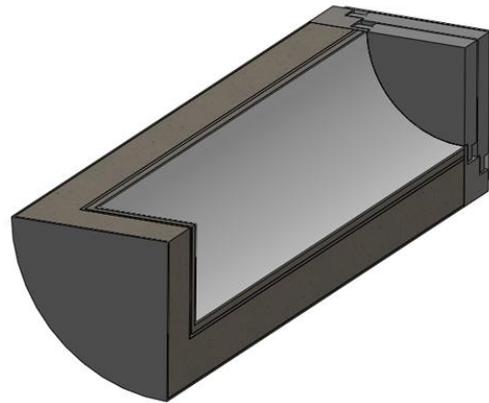


Рисунок 3. Расчетная модель ТУК для расчета НДС под действием внутреннего и внешнего давлений

Таблица 1. Механические характеристики бетонов

Параметр бетона	Параметр, размерность	Значение параметра	
Класс прочности на сжатие	B	B90	B80
Средняя прочность класса	R, МПа	101.3	89.8
Расчетное сопротивление на сжатие	R _b , МПа	64.7	57.5
Расчетное сопротивление на растяжение	R _{bt} , МПа	3.25	2.95
Начальный модуль упругости	E _b ·10 ⁻³ , МПа	42	40
Предельная деформация на сжатие	ε _{bn} , %	0.264	0.256
Предельная деформация на растяжение	ε _{bnt} , %	0.0168	0.0162
Коэффициент Пуассона	ν	0.25	0.25

Таблица 2. Механические характеристики материалов металлоконструкций

Элемент конструкции	Материал	Характеристики материала			
		σ _{0.2} , МПа	σ _b , МПа	δ ₅ , %	Ψ, %
Стакан внутренний	Сталь 12Х18Н10Т	235	530	38	40
Герметизирующий лист	ГОСТ 7350-77	235	530	38	40
Стакан силовой	Сталь 09Г2СА-А	245	430	20	40
Обечайка наружная	ТУ 0900-004-05764417-99	245	430	20	40
Крышка наружная	Сталь 09Г2СА-А	245	430	19	42
Крышка внутренняя	ТУ 05764417-064-97	245	430	19	42
Комингс		245	430	19	42
Шпильки М48/56 крепления крышек	Сталь 38ХНЗМФА	685	-	12	50
Гайки М46/56 крепления крышек	ГОСТ 4543-71	685	-	12	50

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ
КОНСТРУКЦИИ**

Современные методы исследования твердотельных моделей произвольной геометрии основаны на методе конечных элементов (МКЭ). Суть метода заключается в разбиении модели на конечные эле-

менты и численном решении системы дифференциальных уравнений равновесия. Применение МКЭ позволяет рассчитать статическое НДС конструкции в линейно-упругой области, а также провести динамический расчет при наличии деформаций пластичности и ползучести.

Для проведения качественного анализа НДС используются встроенные критерии прочности, наиболее распространенным и часто используемым из которых является четвертая теория прочности (энергетическая гипотеза Хубера-Мизеса). Согласно этой теории, опасное состояние наступает тогда, когда удельная потенциальная энергия формоизменения достигает своего предельного значения, которое определяется из опытов на простое растяжение-сжатие (формула 1).

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (1)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения

В расчетных моделях корпус представлен совокупностью осесимметричных элементов. При этом конструкция разбита на элементы таким образом, что внутренний, силовой стаканы и наружная оболочка, а также слои бетона моделируются элементами из изотропных материалов. В ходе работы была смоделирована четвертая часть МБК и на соответствующих гранях были заданы условия симметрии (рисунок 4).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведения расчетов на действие внутреннего и внешнего давлений были получены данные, представленные в таблицах 3-4.

Разработка принципиальной модели ТУК находится в стадии научного обоснования. В создаваемой модели на данном этапе работ не могут быть

определены параметры крышек контейнера, поэтому для расчета контейнера были взяты данные, которые использовались при расчете крышек контейнера для реактора БН-350. Данное допущение корректно, поскольку предлагаемые конструкции крышек ТУК принципиально совпадают

Для проведения динамических расчетов ТУК была создана твердотельная модель из чугуна, толщиной стенки 600 мм [4]. Максимальные эквивалентные напряжения при расчетных случаях представлены в таблице 5. Иллюстрации распределений эквивалентных напряжения при падении с высоты 9 метров горизонтально на жесткое основании представлены на рисунке 5. Максимальные эквивалентные напряжения по всем рассматриваемым случаям нагружения иллюстрирует таблица 5.

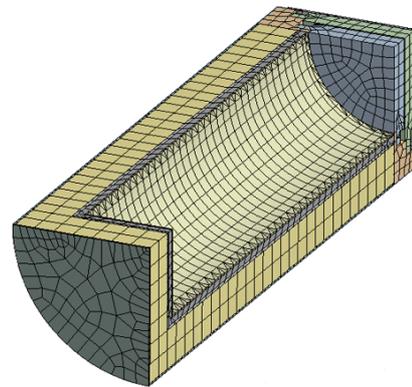


Рисунок 4. Конечно-элементная модель ТУК

Таблица 3. Максимальные напряжения в элементах корпуса при действии внутреннего давления

Элемент конструкции		Приведенное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$, МПа	Допускаемое напряжение, $1.35[\sigma]$, МПа
Днище	днище внутреннего стакана	4.67	212
	днище силового стакана	3.88	
	днище наружной обечайки	9.3	
Комингс		6.5	220
Боковая стенка корпуса	Оболочка внутреннего стакана	13.9	
	Оболочка силового стакана	11.5	
	Наружная обечайка	4.7	

Таблица 4. Максимальные напряжения в элементах корпуса при действии внешнего давления

Элемент конструкции		Приведенное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$, МПа	Допускаемое напряжение, $1.35[\sigma]$, МПа
Днище	днище внутреннего стакана	18.1	282
	днище силового стакана	6.1	
	днище наружной обечайки	12.7	
Комингс		16.1	294
Боковая стенка корпуса	оболочка в внутреннего стакана	18.0	
	оболочка силового стакана	14.5	
	наружная обечайка	10.9	294

Таблица 5. Максимальные напряжения в корпусе при динамический воздействиях

Расчетный случай нагружения	Приведенное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$, МПа	Допускаемое напряжение, $1.8[\sigma]$, МПа
Падение с h=0.3м горизонтально	5.5	480
Падение с h=0.3м вертикально	139.1	
Сброс стержня массой 6 кг с h=1м	2.1	
Падение с h=1м на штырь	290.8	
Падение с h=9м горизонтально	192.3	
Падение с h=9м вертикально	468.9	
Падение с h=9м под углом 5°	256.6	
Падение с h=9м под углом 30°	197.5	
Падение с h=9м под углом 65°	543.92	

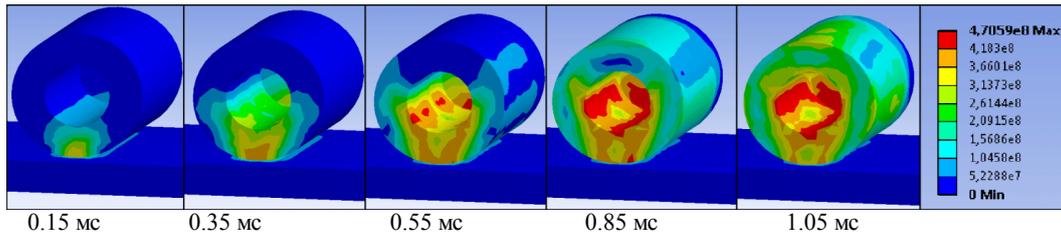


Рисунок 5. Кинограмма изменения распределения эквивалентных напряжений в корпусе ТУК при падении горизонтально с высоты 9 метров на жесткое основание

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При вертикальном падении с высоты 0.3 м, а также при падении на боковую поверхность с высоты 0.3 м конструкция МБК работает упруго. Действующие усилия меньше допустимых предельных усилий для поперечных сечений корпуса контейнера. Прочность контейнера при падении с высоты 0.3 м обеспечена.

В результате проведенных расчетов на случаи нагружения при нормальных условиях эксплуатации, можно сделать вывод, что опасности для разрушения конструкции нет.

ЛИТЕРАТУРА

1. ПБПРМ-99. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. – Взамен "Правил безопасной перевозки радиоактивных материалов"; введ. от 01.03.99 до 03.09.02. – Алма Ата: Агентство по атомной энергии Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, 2002 - 15 с.
2. ГОСТ 26013-83. Комплекты упаковочные транспортные для отработавших тепловыделяющих сборок ядерных реакторов. – Взамен ГОСТ 20.39.309-77; введ. 16.12.77 до 01.07.85. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 9 с
3. НП-053-04. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. – Введ. 05.01.2005. – М.: Федеральное агентство по атомной энергии, 2004. – 71с.
4. Расчетно-аналитические исследования и разработка универсального упаковочного комплекта для транспортирования без предварительной выдержки ОЯТ: отчет о НИР (промежуточ.) / Национальный Ядерный Центр Республики Казахстан (НЯЦ РК); рук. В.М. Цынгаев. – Курчатов, 2010. – 80 с.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН «ЫСТЫҚ» ЯДРОЛЫҚ ОТЫНДЫ АЛДЫН АЛА ҰСТАУСЫЗ ТАСЫМАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ӘМБЕБАП КӨЛІК КОНТЕЙНЕРІ КОНСТРУКЦИЯСЫНЫҢ ТӨЗІМДІЛІК СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Перепелкин Д.И.

Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов

Осы жұмыста ПЯО тасымалдау және сақтау мақсатымен әзірленетін әмбебап көлік кешенінің металбетон контейнерінің конструкциялық төзімділік сипаттамаларын зерттеу нәтижелері берілген. Мұндай кешендерді қолдану станцияның жанындағы ПЯО қоймаларын пайдаланудан бас тартуға, тасымалдау кезінде ПЯО таралу қаупін азайтуға және атом станцияларын пайдалану қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді.

RESEARCH STRENGTH CHARACTERISTICS CONSTRUCTION UNIVERSAL PACKAGE SET FOR TRANSPORTATION WITHOUT PRELIMINARY STORING OF SNF

D.I. Perepelkin

National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

The effort presents results of research strength property construction reinforced concrete universal package set which develop for transportation SNF withdrawing from reactor core. Using of this packages make it possible to refuse from station storages, reduce risk propagation of SNF and enhance safety operation atomic stations.

УДК 621.039.55

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ ГЕЛИЯ И ТРИТИЯ В ОБЛУЧЕННОМ БЕРИЛЛИИ

Садвакасова А.О., Гордиенко Ю.Н., Барсуков Н.И., Понкратов Ю.В.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В работе приводятся результаты исследования взаимодействия атомов гелия и трития в облученном бериллии. Актуальность проводимых исследований связана с необходимостью решения задачи детритизации накопленных бериллиевых материалов, а так же с целью расширения представлений о механизмах процессов взаимодействия трития с бериллием, который планируется использовать в будущих ТЯР.

Работа включает в себя ряд ключевых этапов таких, как: проведение термодесорбционных исследований по температурно-программируемой десорбции образцов облученного бериллия БН-350, обработка и анализ экспериментальных результатов; разработка феноменологической модели для описания процессов миграции гелия и трития в облученном бериллии; создание программы на основе разработанной модели.

Моделирование экспериментальных кинетик позволило определить основные параметры взаимодействия гелия и трития с облученным бериллием, необходимых для оценки возможности использования процедуры высокотемпературной дегазации в качестве метода детритизации, а также для расчета распределения трития в бериллиевых материалах ТЯР.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Объект исследования. Исследуемым материалом служил образец из бериллий-сурьмяного источника нейтронов реактора БН-350 из спеченного дистиллированного бериллия марки ДВ-56, изготовленный на Ульяновском машиностроительном заводе и облученный на реакторе БН-350 в течение 300 эффективных суток до флюенса по быстрым нейтронам ($E > 0.1$ Mev) порядка $5 \cdot 10^{21}$ н/см². Бериллиевый образец представлял собой цилиндр диаметром 9 мм и длиной 48,5 мм (рисунок 1).

Для проведения термодесорбционных (далее ТДС) экспериментов по изучению газовой выделению трития из облученного бериллиевого стержня были вырезаны образцы диаметром 9 мм и толщиной 1 мм.

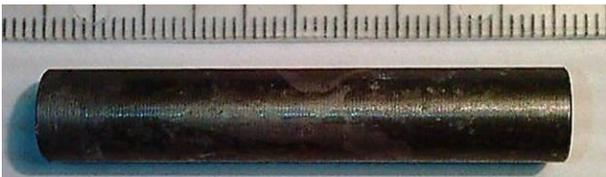


Рисунок 1. Бериллиевый образец марки ДВ-56, облученный на реакторе БН-350

Химический и фракционный состав бериллия ДВ-56 представлены в таблице 1 и на рисунке 2 соответственно.

Таблица 1. Химический состав Be (ДВ-56)

Элементы	Be	Si	Fe	Al	C	BeO
Содержание, %	98,64	0,013	0,055	0,02	0,072	1,2

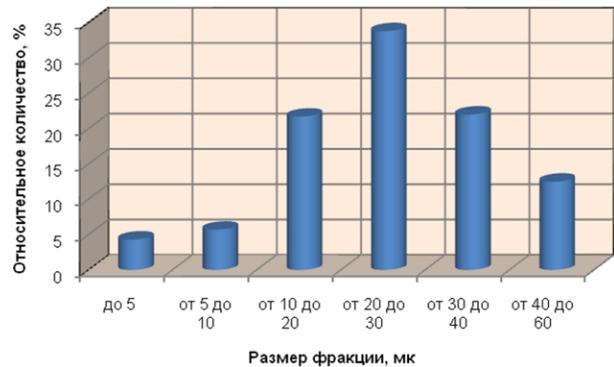


Рисунок 2. Фракционный состав порошка

Экспериментальная установка. Исследования облученных бериллиевых образцов проводились на экспериментальной установке ВИКА, которая позволяет проводить эксперименты по термодесорбции методом температурно-программируемой десорбции в интервале температур от 293 до 1773 К с масс-спектрометрической регистрацией выделяющихся газов. Подробное описание установки ВИКА, а так же методика проведения экспериментов представлена в работе [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ АНАЛИЗ

За время проведения ТДС эксперимента с облученным образцом бериллия получены временные зависимости изменения парциальных давлений исследуемых газов (с массовыми числами 2; 4; 6; 18; 20; 22).

На кривых газовой выделения, полученных в результате ТДС-экспериментов с исследуемыми образцами зафиксировано, что интенсивное газовой выделение происходит в интервале температур от 1443 до 1513 К, при температурах близких к температуре плавления бериллия ($T_{пл.} \approx 1558$ К).

Анализ кривых газовой выделенности исследуемых газов из бериллиевых образцов проводился по двум временным интервалам ТДС экспериментов. Первый временной интервал соответствует температурной области до температуры образца 1223 К – низкотемпературная область, второй временной интервал соответствует высокотемпературной области (температура образца от 1223 до 1513 К). Кинетики газовой выделенности исследуемых газов из образцов бериллия в температурной области до 1223 К и в области высоких температур представлены на рисунках 3 и 4.

Диаграммы относительного вклада интегрального выделения газов из образца в низкотемпературной и высокотемпературной областях в процессе линейного нагрева образца показаны на рисунке 5. Более подробно результаты экспериментов представлены в работе [1].

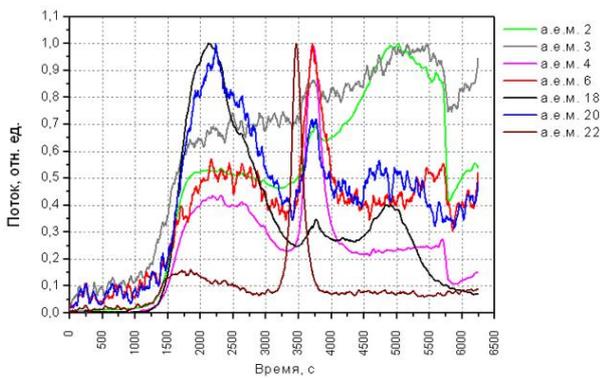


Рисунок 3. Выделение исследуемых газов из образцов в низкотемпературной области при скорости нагрева образцов 10 К/мин

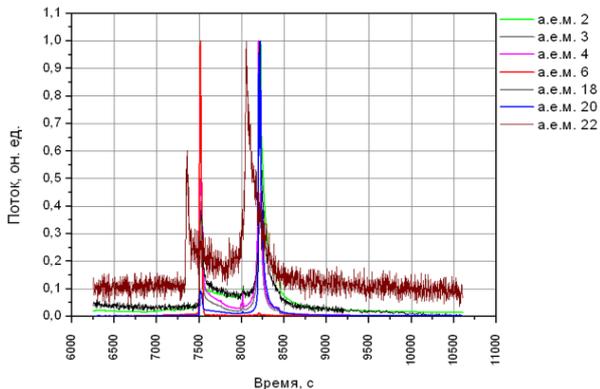


Рисунок 4. Выделение исследуемых газов из образцов в области высоких температур при скорости нагрева образцов 10 К/мин

Анализ результатов экспериментов. При анализе результатов ТДС экспериментов бериллия были определены основные тенденции в выделении трития и гелия, которые заключаются в следующем:

интегральное количество выделившегося ⁴Не составило 650 ppm; интегральное количество выделившегося трития - 15 ppm. Учет суммарного выделения атомов трития (для различных молекул содержащих тритий) и атомов ³Не (образованных при распаде трития за время хранения образцов) показал, что экспериментально определенное значение отношения атомов наработанного гелия к атомам наработанного трития составляет примерно 43; при анализе ТДС спектров из образцов бериллия оказалось, что присутствует две области, в которых эффективно выделяется тритий: низкотемпературная (298 до 1023 К) и высокотемпературная область (1223 до 1523 К), в последнем выделение трития происходит наиболее интенсивно; в представленных ТДС экспериментах были впервые получены кинетики выделения трития с учетом его распределения по молекулам Т₂, НТ, НТО, Т₂О, также раздельно фиксировалось выделение ⁴Не, ³Не и Н₂. Анализ относительного вклада интегрального выделения молекул Т₂, НТ, НТО, Т₂О в общее выделение трития показал, что тритий в основном выделяется в виде молекулы НТ (около 60 %) и молекулы Т₂ (около 25 %).

РАЗРАБОТКА ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ ГЕЛИЯ И ТРИТИЯ В ОБЛУЧЕННОМ БЕРИЛЛИИ

К основным параметрам модели прежде всего относятся размеры исследуемых образцов (в нашем случае это «тонкие» образцы в виде дисков и полудисков с площадью S, диаметром d и толщиной l (причем l << d)), начальные концентрации атомов гелия (⁴Не, ³Не) и трития (Т₂) в образце. В результате микроструктурных исследований были оценены размеры зерна λ и размеры пузырьков, а также рассчитанная концентрация пузырьков N в единице объема, так же входящие в число исходных данных.

Для описания экспериментов по ТДС была выбрана модель газовой выделенности из бериллиевых образцов, которая принимает во внимание одновременное движение атомов газа, осаждение в пузыри и миграцию к границам зерна.

Такие процессы могут быть описаны следующей системой скоростей реакции:

$$\begin{cases} \frac{\partial c_{gr}}{\partial t} = -Kc_{gr} - Hc_{gr}, & (1) \\ \frac{\partial c_{bb}}{\partial t} = Kc_{gr} - Uc_{bb}, & (2) \\ \frac{\partial c_{bnd}}{\partial t} = Hc_{gr} + Uc_{bb}, & (3) \end{cases}$$

Таблица 2. Основные параметры модели

l, мм	d, мм	C _{4He} , моль/м ³	C _{3He} , моль/м ³	λ, μм	г, нм	N, ат/м ³	χ
1	9	2,1	124	50	1÷12	10 ²⁶	0,8

Выражение (1) описывает динамическое растворение атомов газа. Концентрация газа c_{gr} при растворении уменьшается, если атомы газа, диффундирующие в решетке, удерживаются пузырьками, (параметр захвата Kc_{gr}) или если они достигают границ зерна (параметр, отвечающий за выделение на границу зерна - Hc_{gr}). Параметр захвата учитывает дополнительный вклад в увеличение концентрации газа в пузырьках c_{bb} (2), пока другой член покидания границы зерна увеличивает количество газа на границах зерна и, следовательно, выделившегося газа c_{bnd} (3). В отсутствии соответствующей миграции пузыря к границам зерна единственным механизмом, позволяющим осевшему газу выделиться, является выход из пузырей (параметр выхода из пузырька - Uc_{bb}).

Диффузия, осаждение и миграция к границам зерен. Временная константа захвата K связана с вероятностью того, что атомы будут захвачены скоплением пузырьков внутри зерна:

$$K = \chi k_{sc}^2 D = \chi 4\pi r_i N_i D. \quad (4)$$

Внутренний фактор захвата χ (<1) учитывает снижение эффективности пузырьков за счет недостачи необходимого числа вакансий при напряжении, вызванном дополнительным захватом атомов газа в равновесном состоянии [2].

Временная константа миграции на границы зерен H связана с вероятностью того, что атомы газа, не захваченные пузырьками, достигают границы зерен:

$$H = k_{sg}^2 D = 3 \frac{\sqrt{\chi} k_{sc}}{\lambda} D.$$

Выделение пузырьков. Осажденный в пузырьках газ не может выделиться при помощи диффузии по поверхности зерен, т.к. время его движения намного больше, чем продолжительность процесса. В действительности, начиная только с 1500 К, газ, захваченный пузырьками внутри зерна, начинает выделяться посредством слияния пузырьков и их выхода. Для описания выделения газа в этом диапазоне в выражении (3) представлен член стока для учета газа в пузырьках. Временная константа для выхода пузырька:

$$U = TU_0 \exp\left(-\frac{Q'}{kT}\right).$$

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для описания процессов выделения T_2 и ^4He согласно представленной феноменологической модели была разработана программа основного алгоритма уравнений диффузии, заключающаяся в численном решении системы дифференциальных уравнений скоростей реакции (1, 2, 3) и позволяющая моделировать экспериментальные кинетики выделения газов различных масс с определением основных пара-

метры взаимодействия газа с облученным бериллием. На рисунках 5 и 6 представлены графики моделирования диффузионных пиков низкотемпературной области экспериментальных кривых выделения молекул T_2 и ^4He из облученного бериллиевого образца. Как видно из графиков, смоделированные диффузионные пики повторяют форму экспериментальных кинетик выделения T_2 и ^4He и лежат вблизи температуры 800 К.

Моделирование экспериментальных кривых T_2 и ^4He модели позволило получить коэффициенты диффузии T_2 и ^4He в исследуемых образцах, а также энергии активации этих процессов:

$$D_{T_2} = 9 \cdot 10^{-2} \exp\left(-\frac{152}{RT}\right), \quad (5)$$

$$D_{^4\text{He}} = 5 \exp\left(-\frac{180}{RT}\right), \quad (6)$$

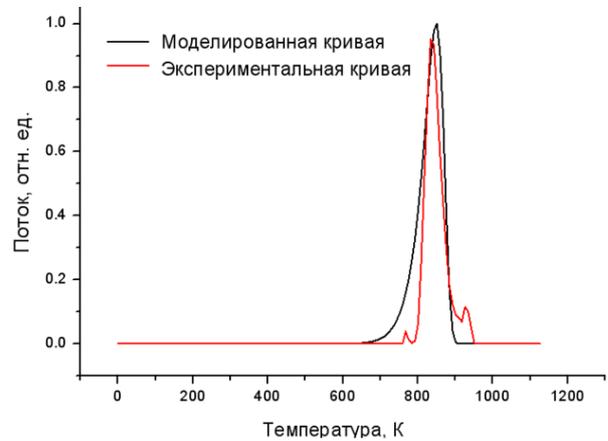


Рисунок 5. Моделированная кривая выделения T_2 облученного бериллия

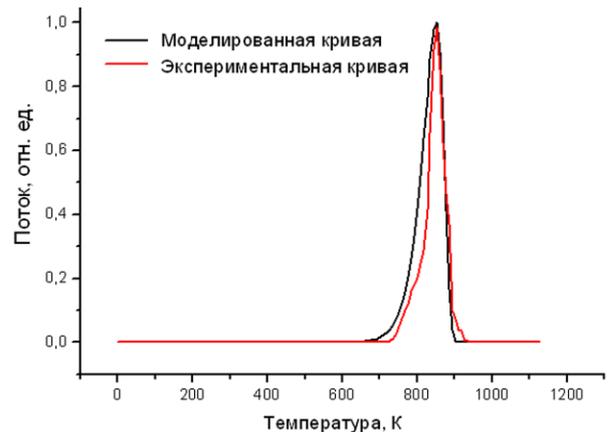


Рисунок 6. Моделированная кривая выделения ^4He облученного бериллия

Рассчитанная погрешность результатов газовой выделения составила приблизительно 20-25%. Результаты согласуются с литературными данными других авторов [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были проведены ТДС эксперименты по газовыделению из облученного бериллия реактора БН-350, получены кинетики выделения газа из образца в форме различных молекул; было установлено, что основные пики выделения исследуемых газов из бериллиевых образцов присутствуют в двух температурных интервалах; были определены интегральные количества T_2 и 4He в образце и оценен вклад каждой тритийсодержащей молекулы

в общее количество выделившегося трития. Была разработана феноменологическая модель возможного механизма процессов взаимодействия T_2 и 4He с облученным бериллием, основанная на учете процессов диффузии трития в объеме и на границе зерен, а также процессов поглощения и выделения трития пузырьками гелия. На основе модели создана программа для моделирования кинетик выделения T_2 и 4He из облученного бериллия, определены основные параметры выделения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульсартов, Т.В. Исследование влияния реакторного излучения на взаимодействие изотопов водорода с вольфрамом/ Т. В. Кульсартов [и др.] // Ядерная энергетика Республики Казахстан. ЯЭ-2008: доклады Междунар. конф., Курчатов Казахстан, 11 – 13 июня 2008 г. – Курчатов, ИАЭ НЯЦ РК – С. 111–115.
2. Ronchi, C. On diffusion and precipitation of gas-in-solid/ C. Ronchi // J. Nucl. Mater. - Vol. 148. – 1987. – P. 316.
3. Rabaglino, E. Helium and tritium kinetics in irradiated beryllium pebbles/ E. Rabaglino, J.P. Hiernaut, C. Ronchi, F.Scaffidi-Argentina// Journal of Nuclear Materials. – Vol. 307–311.– 2002.– P. 1424–1429.

СӘУЛЕЛЕНГЕН БЕРИЛИЙДЕГІ ГЕЛИЙ МЕН ТРИТИЙДІҢ ЖЫЛЫСТАУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Сәдуақасова Ә.О., Гордиенко Ю.Н., Барсуков Н.И., Понкратов Ю.В.

ҚР ҰАО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Бұл жұмыста гелий мен тритий атомдарының сәулеленген бериллийде өзара әрекеттесуі зерттеледі. Жүргізілген зерттеулердің маңыздылығы бериллий материалдарының жинақталуының детритизациялық тапсырмасын шешумен байланысты, сонымен қатар келешек ТЯР-да тритийдің бериллиймен өзара әрекеттесуі кезінде жүретін процесстердің механизмі туралы мәлімет алу болып табылады.

Жұмыс келесі кезең бойынша орындалады: БН-350-дің сәулеленген бериллий үлгілеріне температуралық-бағдарламалық десорбция бойынша термодесорбциялық зерттеулер жүргізу, эксперименттік нәтижелер талдамасын өңдеу, сәулеленген бериллийдегі тритий мен гелийдің жылыстау процесін сипаттау үшін феноменологиялық модель әзірлеу, әзірленген модель негізінде бағдарлама жасау.

Эксперименттік кинетикаларды модельдеу детритизация әдісі ретінде жоғары температуралы дегазация процедурасының қолдану мүмкіндігіне баға беру, сонымен қатар ТЯР бериллий материалдарында тритийдің таралуын есептеу үшін қажет етілетін гелий мен тритийдің сәулеленген бериллиймен өзара әрекеттесуінің негізгі параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

RESEARCH OF HELIUM AND TRITIUM MIGRATION PROCESSES IN IRRADIATED BERYLLIUM

A.O. Sadvakassova, Yu.N. Gordienko, N.I. Barsukov, Yu.V. Ponkratov

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

In this work the investigation of helium and tritium atoms with irradiated beryllium interaction is presented. The urgency of spent researches is connected with necessity of the decision of a saved up beryllium detritization's issues, and also for expansion of representation about mechanisms of the processes occurring at tritium interaction with beryllium planned to use as the plasma-facing material in future fusion energy reactors.

The study includes a number of key stages such as: carrying out of thermo-desorption experiments upon the gas release from beryllium irradiated in BN-350 reactor, processing the analysis of experimental results; working out of phenomenological model for the description of helium and tritium migration in irradiated beryllium; creation of the program for the modeling.

Modeling of the experimental kinetics allows to definite the basic parameters of helium and tritium interaction with irradiated beryllium needed for estimation of high-temperature decontamination procedure use as a detritization method, and also for tritium distribution's calculation in beryllium materials of fusion reactors.

УДК 621.039.53.536

ПОСТЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИМИТАТОРА РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ БЫСТРОГО РЕАКТОРА С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Салембаев Н.Е., Кукушкин И.М., Бакланов В.В.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье приведены результаты материаловедческого исследования продуктов взаимодействия имитатора расплава активной зоны быстрого реактора с натриевым теплоносителем. Основной задачей проводимого исследования являлось определение состояния и изучение состава и свойств продуктов взаимодействия расплава имитатора кориума (Al_2O_3) с натрием после эксперимента по моделированию тяжёлой аварии на ядерном реакторе на экспериментальном стенде «EAGLE».

ВВЕДЕНИЕ

Одной из концепций локализации тяжёлой аварии с плавлением активной зоны реактора, является предотвращение непосредственного контакта между расплавом кориума и корпусом реактора, что предполагается осуществлять за счет фрагментации расплава при взаимодействии с теплоносителем, удержании и охлаждении фрагментированного материала на системе специальных поддонов. При этом необходимо обеспечить устойчивое охлаждение и удерживание фрагментированного кориума на поддоне для предотвращения возникновения повторной критичности реактора. Также должно выполняться удовлетворение критическому условию $L_f < L_d$, при котором расстояние фрагментации L_f должно быть меньше расстояния до поддона L_d .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Исследования по изучению взаимодействия в системах «кориум-теплоноситель (натрий)» проводились на экспериментальной установке стенда «EAGLE» [1,2], принципиальная схема которого приведена на рисунке 1. В качестве имитатора кориума используется расплав окиси алюминия (Al_2O_3). В предыдущих экспериментах было установлено, что во время плавки шихты с диоксидом урана в графитовом тигле высокотемпературный расплав взаимодействует с материалом плавильного тигля ЭПП (графитом). В результате этого в расплаве образуются карбиды урана, которые по своим теплофизическим свойствам существенно отличаются от свойства расплава диоксида урана. Поэтому в качестве имитатора оксидного кориума при испытаниях с натрием используется расплав окиси алюминия, который по ряду теплофизических свойств подходит в качестве имитатора расплава материалов активной зоны реактора, но имеет более низкую температуру плавления ($\sim 2000^\circ C$).

Масса спеченной окиси алюминия, загруженная в тигель, составляла 15,05 кг. При проведении эксперимента был произведен разогрев шихты до температуры плавления, плавление и подогрев расплава до температуры $\sim 2100^\circ C$. При этом интегральное количество энергии, реализованное в печи, составило 240 МДж. Расплав из тигля, после скола пробки, по-

пал в верхнюю ловушку, затем, проплавив тонкостенный участок сливной трубы, по ней же попал в нижнюю ловушку, где взаимодействовал с натрием. Температура натрия в нижней ловушке расплава составляла около $400^\circ C$. Давление в полости нижней ловушки расплава – 0,35 МПа. Окись алюминия была расплавлена в полном объеме. Уровень расплава в верхней ловушке составлял около 300 мм [3].

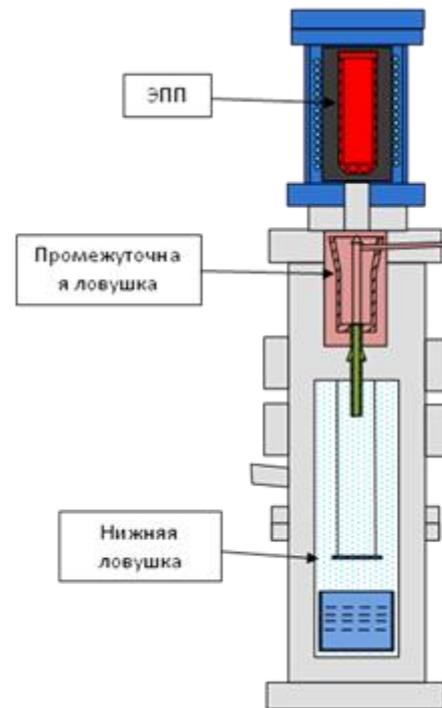


Рисунок 1. Схема установки «EAGLE» при проведении экспериментов серии FR

ОБРАЗЦЫ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

После эксперимента производился демонтаж установки, в ходе которой отбиралось представительное количество материала затвердевшего расплава с узлов установки для материаловедческого исследования. При этом образцы, содержавшие натрий подвергались обработке парогазовой смесью для перевода металлического натрия в окисленное состояние. Данные о местах отбора и характеристи-

**ПОСТЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ИМИТАТОРА РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ БЫСТРОГО РЕАКТОРА С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ**

ка материала с деталей и узлов нижней ловушки приведены в таблице 1.

Процедуры подготовки материалов для анализа включали в себя растворение в воде продуктов окисления натрия, отделение нерастворимого материала затвердевшего расплава, отстаивание и выпаривание растворов. После промывки и высушивания для нерастворенных фрагментов материала затвердевшего расплава окиси алюминия было выполнено фракционирование (просеивание) через набор сит с характерными размерами ячеек. Для определения концентрации растворенных веществ,

производилось взвешивание сухих материалов затвердевшего расплава, порций растворов и сухих остатков, образовавшихся после выпаривания растворов. Результаты взвешиваний показали, что основную массу извлеченного материала (от 60% до 70%) составляют растворимые в воде соединения, доля материала затвердевшего расплава окиси алюминия составляет около от 30% до 40%.

Для анализа отбирались представительные порции (пробы) полученных материалов. Обозначения и характеристика проб для анализа материала из нижней ловушки приведены в таблице 3.

Таблица 1. Места отбора и характеристика материалов, отобранных в процессе демонтажа

№ пакета	Обозначение проб	Характеристика материала
1	LTM-1	Материал с поверхностей крышки нижней ловушки и корзины
2	LTM-2	Материал с защитного диска и узлов нижней ловушки.
3	LTM-3.1	Крупные фрагменты материала из корзины приема расплава после обработки «острым» паром
4	LTM-3.2	Относительно мелкие фрагменты материала из корзины приема расплава после обработки «острым» паром

Таблица 3. Обозначение и характеристика проб для анализа материала из нижней ловушки

№	Обозначение проб	Характеристика материала проб
1	LTM-1.1	Крупные фрагменты (размерот 5 мм до10 мм) с белой и черной поверхностью из отбора LTM-1, отмытые в спирте и в воде.
2	LTM-1.1.1	Выпарка из раствора, полученного при отмывке спиртом, а затем водой LTM-1.1
3	LTM-1.1.2	Черный осадок из раствора, полученного при отмывке водой LTM-1.1. Осадок высушен и покален на плитке.
7	LTM-3.2 F7÷F15	Представительные порции частиц из фракций промытого материала LTM-3.2
8	LTM-3.2.p	Выпарка из раствора после промывки материала отбора LTM-3.2
9	LTM-3.2.o	Хлопьевидный осадок после промывки части материала отбора LTM-3.2
10	LTM-3.1.p	Выпарка из раствора после промывки материала LTM-3.1
11	LTM-3.1.o	Хлопьевидный осадок после промывки материала LTM-3.1

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рентгеновский флуоресцентный элементный анализ

Анализ содержания атомов элементов выполнялся на рентгеновском флуоресцентном спектрометре Spectroscan с диапазоном определяемых элементов от Ca до U. Погрешность анализа не превышает 10% относительно определяемых значений.

Пор результатам анализа элементного состава было выявлено присутствие компонентов нержавеющей стали в том или ином количестве практически во всех образцах. Самое высокое содержание железа (до 43% массовых) отмечено в осадках отмыточных растворов материала из корзины приёма расплава) Соотношение концентраций Fe, Ni, Cr и Mn хорошо соответствует соотношению концентраций компонентов нержавеющей стали 12X18N10Г. В образцах из материала рассева частиц расплава заметно увеличение содержания компонентов нержавеющей стали с 0,5 % для фракций крупных частиц до 2,7 % для фракции частиц размером менее 50 мкм.

Рентгеновский фазовый анализ

Рентгеновский фазовый анализ проводился методом рентгеновской дифрактометрии поликристаллов на аппарате ДРОН-3 в медном излучении.

Материал образцов фрагментов затвердевшего расплава из ловушки расплава после промывки от растворимых соединений натрия состоял из окиси алюминия в различных кристаллических модификациях.

В отличие от фазового состава образцов материала затвердевшего расплава с верхних уровней установки, где основной кристаллической модификацией для всех образцов затвердевшего расплава имитатора является α -Al₂O₃, основной кристаллической модификацией материала из нижней ловушки является γ -Al₂O₃ с кубической решеткой пространственной группы Fd3m и параметром решетки a=0,792 нм.

Вторая фаза, присутствие линий которой характерно для дифрактограмм образцов затвердевшего расплава, идентифицируется как β -Al₂O₃. Линиям этой фазы на дифрактограммах образцов можно с хорошей степенью соответствия сопоставить данные целого ряда кристаллографических карточек соединений типа Sodium Aluminum Oxide, а также фазы β -Al₂O₃. Все они принадлежат

веществам с гексагональной симметрией кристаллической решетки. В связи с возможностью взаимодействия расплава или паров металлического натрия с высокотемпературной окисью алюминия, можно ожидать образование в пределах даже одного образца целого спектра кристаллических фаз близкого или различающегося химического состава.

Основной фазой в составе образцов мелких фракций фрагментов затвердевшего расплава из ловушки расплава является $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Содержание этой фазы в образцах возрастает с 30% для крупных частиц до 99 % для фракций F13 ÷ F14. Относительное содержание $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ растет с увеличением размера частиц. Относительное содержание $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ с увеличением размера частиц также явно растет до частиц с размером 400 ÷ 800 мкм, далее остается на уровне 15 ÷ 30 % по объему. Начиная с характерного размера частиц 200 ÷ 400 мкм содержание $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ уменьшаться с уменьшением размера частиц, а в фазовом составе частиц размером менее 50 мкм ее присутствие не обнаруживается. Такое распределение фазового состава хорошо согласуется с предположением об образовании фазы $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ за счет поверхностного взаимодействия расплава имитатора с жидким натрием.

Результаты анализа прокаленных материалов, выпаренных из растворов, установили присутствие в основном кристаллической фазы Na_2CO_3 . В образцах материалов, прошедших обработку парогазовой смесью (образцы LTM-3.2.p1,2, образцы LTM-3.1.p), после прокаливания уверенно идентифицировано присутствие фазы NaAlO_2 . Содержание этой фазы в образцах оценивается величиной до 40 % по объему. В растворах образовавшихся после промывки материалов, обработанных в спирте, соединения, содержащие алюминий не обнаружены.

Таким образом, присутствие атомов алюминия в растворе, кристаллизация которого приводит к образованию кристаллической фазы NaAlO_2 , обнару-

жено в промывочных растворах отборов материала из нижней ловушки. Этот факт говорит о взаимодействии компонентов расплава-имитатора в процессах отмывки материалов от натрия парогазовой смесью и водой.

В образцах материала хлопьевидного коричневого осадка после прокаливания до 900 °С и 1100 °С кроме размытых линий фазы $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ обнаружены линии фаз, имеющих кубическую решетку типа шпинели, общую формулу которых можно выразить как $\text{Me}_1\text{Me}_2\text{O}_4$, где в качестве металлов выступают железо, хром и никель (FeFe_2O_4 , $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$, FeCr_2O_4 , NiCr_2O_4 , NiFe_2O_4 , др.).

Исследование фракционного состава

Для изучения характера распределения частиц затвердевшего расплава по размерам после промывки в воде и сушки был проведен их «сухой рассев». Параметры отсева, полученные для материала LTM-3.2 приведены в таблице 3.

Распределение частиц по размерам анализировалось по распределениям Розина–Раммлера и Година–Шумана с применением программы WASMSize.XLS, полученной по сети InterNet. Результаты анализа приведены в таблице 4.

На основании данных вышеприведенных таблиц построены логарифмические графики распределения частиц по размерам для оценки согласования теоретических и экспериментальных результатов (рисунок 2).

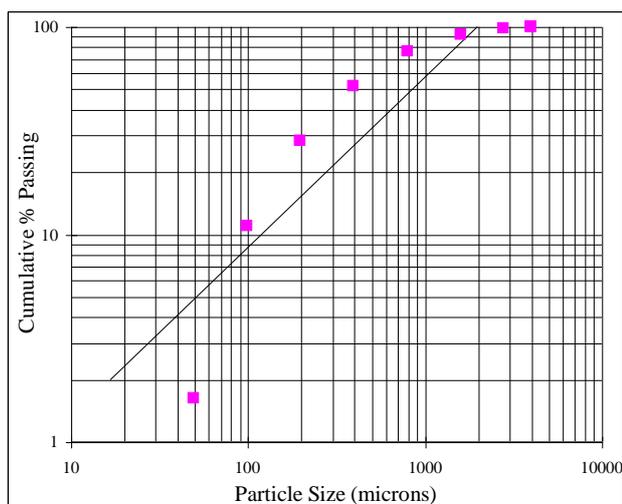
Несовпадение экспериментальных данных с расчетными прямыми, характерными для выбранных распределений, свидетельствует о том, что образование формы и размера частиц могло происходить не только в результате "первичной" фрагментации во время слива расплава в нижнюю ловушку. В частности, поверхностное взаимодействие окиси алюминия с натрием или его соединениями могло привести к уменьшению их первоначального размера.

Таблица 3. Результаты деления на фракции частиц затвердевшего расплава

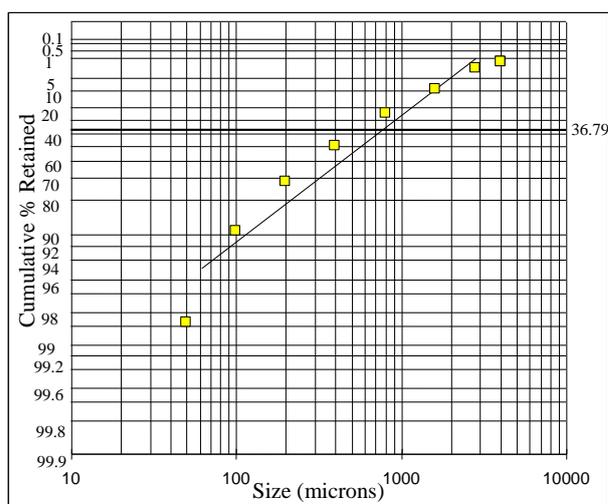
Обозначение фракции	Апертура, мкм		Масса, г	Масса, %	Совокупная масса, %	
	просеянная (-)	оставшаяся (+)			оставшаяся	просеянная
F7		4000	7,59	1,4	1,4	100,0
F8	4000	2800	4,58	0,9	2,3	98,6
F9	2800	1600	37,01	7,1	9,4	97,7
F10	1600	800	76,66	14,6	24,0	90,6
F11	800	400	129,52	24,7	48,8	76,0
F12	400	200	121,19	23,1	71,9	51,2
F13	200	100	90,05	17,2	89,1	28,1
F14	100	50	48,63	9,3	98,4	10,9
F15	50	0	8,49	1,6	100,0	1,6
Совокупная масса			523,72	100,0		

Таблица 4. Параметры распределений Розина–Раммлера и Година–Шумана

Година–Шумана				Розина–Раммлера			
Параметр распределения	Параметр размера	Размер 80-процентного просеивания	Размер 50-процентного просеивания	Параметр распределения	Параметр размера	Размер 80-процентного просеивания	Размер 50-процентного просеивания
a (-)	k (мкм)	(мкм)	(мкм)	b (-)	x' (мкм)	(мкм)	(мкм)
0,821	1969,2	1500,5	846,4	1,172	780,6	1171,5	571,0



а



б

Рисунок 2. Графики Година-Шумана (а) и Розина-Раммлера (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были отработаны процедуры исследования продуктов взаимодействия имитатора расплава материалов активной зоны с жидкометаллическим теплоносителем.

Были получены данные о продуктах взаимодействия расплава с натрием, характеризующие картину взаимодействия имитатора кориума с натриевым теплоносителем. При попадании расплава в бассейн с натриевым теплоносителем происходит фрагментация струи расплава, охлаждение и затвердевание образовавшихся фрагментов, перемещение затвер-

девших фрагментов и оседание на дне нижней ловушки.

Полученные данные экспериментально подтверждают возможность охлаждения расплавленного топлива активной зоны реактора в бассейне с натриевым теплоносителем, дают оценочные характеристики степени фрагментации струи расплава.

В процессе работы выявлена необходимость уточнения процедуры исследований с целью определения причин и момента перехода окиси алюминия в растворимые в воде соединения с натрием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследования процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны: отчет о НИР (промежуточный) / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК; рук. А. А. Колодешников, А. Д. Вурим. - 2008. - 133 с. - Гос. инв. № 0208РК00948. - Инв. №116.
2. Исследования процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны: отчет о НИР (заключительный) / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК; рук. А. А. Колодешников, А. Д. Вурим. - 2009. - 77 с. - № ГР 0105РК00016. - Инв. № 0209РК00987.
3. Протокол эксперимента FR-1 на установке EAGLE./ Институт Атомной энергии ДГП НЯЦ РК – 88с ; уч. № 13-240-02 / 174 от 10.12.2010г.

НАТРИЙ ЖЫЛУ ТАСЫМАЛДАҒЫШЫНДАҒЫ ШАПШАҢ РЕАКТОРДЫҢ АКТИВТІ АЙМАҒЫНЫҢ БАЛҚЫМА ИМИТАТОРЫНЫҢ ӘРЕКЕТТЕСУ ӨНІМДЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТЕН КЕЙІН ЗЕРТТЕУ

Сәлембаев Н.Е., Кукушкин И.М., Бакланов В.В.

ҚР ҰАО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада натрий жылу тасымалдағышындағы шапшаң реактордың активті аймағының балқыма имитаторының әрекеттесу өнімдеріне материалтану зерттеулерін жүргізу нәтижелері берілген. Жүргізілген зерттеудің негізгі міндеті «EAGLE» эксперименттік стендіде ядролық реактордағы ауыр апатты модельдеу экспериментінен кейін (Al_2O_3) кориум имитаторы балқымасының жай-күйін анықтау, натриймен әрекеттесу өнімдерінің құрамы мен қасиетін зерттеу болып табылады.

**POST-EXPERIMENTAL RESEARCHES OF INTERACTION PRODUCTS
OF FAST REACTOR CORE MELT SIMULATOR WITH SODIUM COOLANT**

N.E. Salembaev, I.M. Kukushkin, V.V. Baklanov

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper deals with the results of material testing research of interaction products of fast reactor core melt simulator with sodium coolant. The main objective of the research was to determine the state, to study the composition and properties of the interaction products material of corium simulator (Al_2O_3) with sodium after the experiment on modeling a severe accident at the nuclear reactor at "EAGLE" experimental test bench.

УДК 621.039.55

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТИЕВЫХ КПС

Тулубаев Е.Ю., Понкратов Ю.В., Кульсартов Т.В., Барсуков Н.И., Гордиенко Ю.Н., Садвакасова А.О.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В данной работе приведены результаты экспериментов по исследованию взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС.

По полученным в проведенных экспериментах кривым были рассчитаны константы скорости взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС.

В результате проведенных исследований был выявлен эффект влияния натекания атмосферных газов, который выражен в снижении скорости поглощения изотопов водорода и уменьшении константы взаимодействия. Данный эффект предположительно можно объяснить тем что при взаимодействии атмосферных газов с поверхностью жидкого лития происходит образование на поверхности нерастворимых в литии пленок и тем самым снижается эффективная площадь взаимодействия литиевой КПС с изотопами водорода.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Казахстане проводятся работы по созданию материаловедческого токамака КТМ, который будет использоваться для исследований в обоснование конструкции и безопасности энергетического термоядерного реактора. Установка КТМ должна быть приспособлена для решения различных задач, одной из которых является развитие нового направления исследований по экспериментальному и расчетному обоснованию концепции использования нового типа материала для защиты внутрикамерных энергонапряженных элементов токамаков – литиевых капиллярно-пористых систем [1].

ИССЛЕДУЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

Идея использования жидкого лития в токамаках получила развитие на основе использования сил поверхностного натяжения в капиллярных каналах, так называемых капиллярно-пористых систем (КПС).[2]. Этот композитный материал с жидкой и твердой составляющими может рассматриваться как новый класс материалов для токамаков, что позволит реализовать все преимущества жидких металлов и преодолеть инженерные проблемы при их использовании. Для проведения исследований был изготовлен образец литиевой КПС рисунок 1.

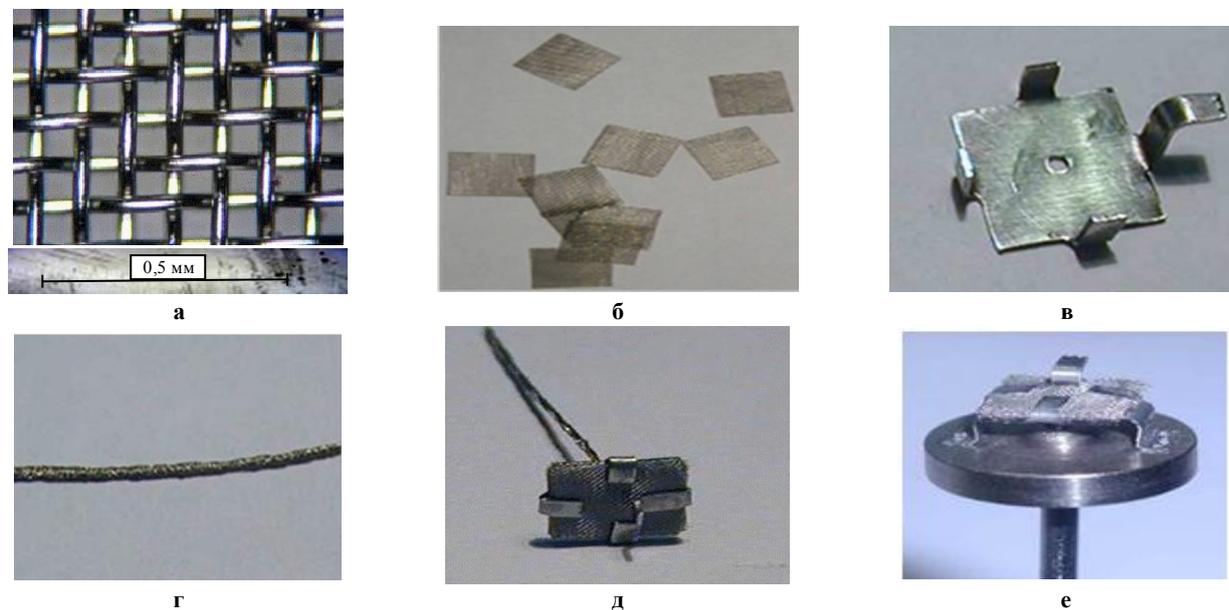


Рисунок 1. Элементы образца КПС: а) сетка из стали 12X18H10T; б) загготовки КПС; в) подложка из стали 12X18H10T; г) фитиль; д) КПС с фитилем в сборе; е) установленная на дне КПС перед сваркой в экспериментальное устройство

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эксперименты по исследованию взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС проводились на установке ВИКА рисунок 2.

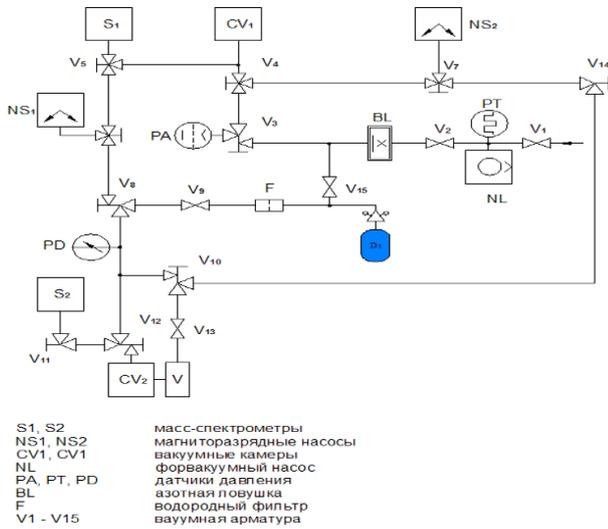


Рисунок 2. Принципиальная схема установки ВИКА

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для проведения исследований по взаимодействию изотопов водорода с образцом литиевой КПС был выбран наиболее простой и информативный метод, метод газовой абсорбции.

Условия проведенных исследований были следующими:

- изотопы водорода – H_2 , D_2 ;
- исследуемый температурный интервал – 200-350 °С;
- входное давление изотопов водорода – 100-550 Па;
- калиброванная течь с атмосферы – $1,12 \cdot 10^{-10}$ моль/с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Проведенные эксперименты были посвящены оценке влияния атмосферных газов на параметры взаимодействия водорода с литиевой КПС. В результате проведенных экспериментов были получены временные зависимости давления водорода над образцом при различных вакуумных условиях – без натекания и с натеканием атмосферных газов через калиброванную течь. Температура литиевой КПС составляла 200°С. Первоначальное давление, подаваемое в экспериментальное устройство с образцом составляло 100 Па (рисунок 3) и 100 – 550 Па (рисунок 4).

Из графика, приведенного на рисунке 3 видно, что скорость поглощения водорода образцом литиевой КПС при наличии натекания атмосферных газов меньше, чем при отсутствии течи. На рисунке 4 по-

казан график поглощения водорода образцом при различном первоначальном давлении в экспериментальном устройстве.

Для корректной оценки влияния натекания атмосферных газов на параметры взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС были определены спектры газов в камере с образцом литиевой КПС без натекания и с натеканием рисунок 5, также был получено изменение давления атмосферных газов над литиевой КПС рисунок 6.

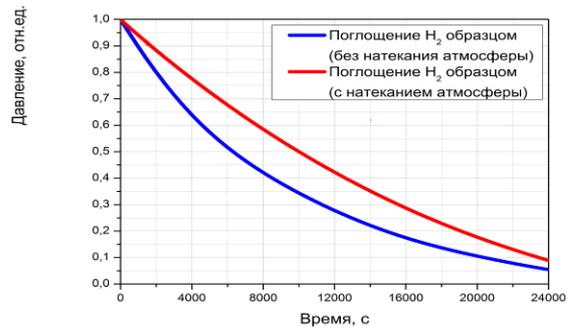


Рисунок 3. Нормированный график изменения давления водорода в экспериментальном устройстве при температуре образца 200 °С

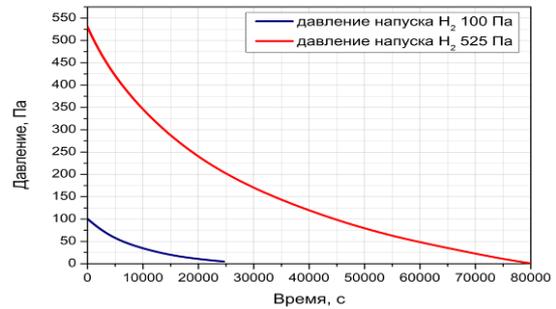


Рисунок 4. График изменения давления водорода в экспериментальном устройстве при температуре образца 200 °С

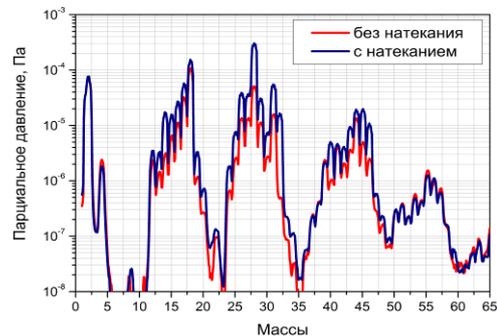


Рисунок 5. Спектры остаточных газов в экспериментальном устройстве при температуре КПС 20 °С

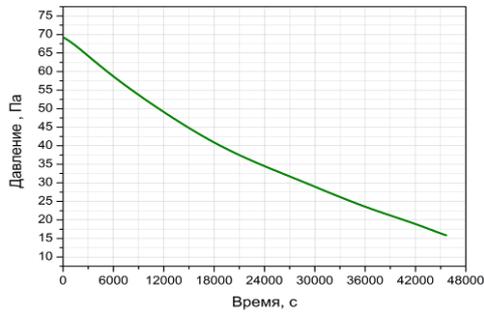


Рисунок 6. График изменения давления атмосферных газов в экспериментальном устройстве при температуре образца 200°C

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА С ЛИТИЕВОЙ КПС

По полученным в проведенных экспериментах кривым были рассчитаны константы скорости взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС.

Перед проведением расчета параметров взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС все полученные временные зависимости давления в экспериментальном устройстве с образцом были описаны полиномиальной функцией 9 порядка. Расчет проводился по схеме приведенной ниже. Для экспериментов, проведенных в условиях без натекания атмосферных газов из графика, приведенного на рисунке 3 по формуле 1 была рассчитана k - константа взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС

$$k = - \frac{\frac{\partial P}{\partial t}}{P(t)} \cdot \frac{V}{R \cdot T \cdot S_{cps}} \quad (1)$$

где, V – объем экспериментального устройства с литиевой КПС; R – универсальная газовая постоянная; T – температура газа; P – давление газа в экспериментальном устройстве; $\frac{\partial P}{\partial t}$ – скорость изменения

давления газа в экспериментальном устройстве S_{cps} – площадь поверхности литиевой КПС. Для определения константы взаимодействия изотопов водорода с

литиевой КПС при наличии натекания атмосферных газов в экспериментальное устройство в процессе проведения экспериментов были проведены следующие расчеты: по формуле 2 была рассчитана скорость натекания атмосферных газов в экспериментальное устройство через калиброванную течь

$$v_{нат} = - \left\langle \frac{dP(t)}{dt} \right\rangle V \quad (2)$$

$$\frac{1}{R \cdot T}$$

где, $\left\langle \frac{dP(t)}{dt} \right\rangle$ - средняя скорость изменения давления атмосферных газов; $P_{ам}$ – скорость натекания атмосферных газов в экспериментальное устройство.

Далее по формулам 3 и 4 (определена константа взаимодействия литиевой КПС с атмосферными газами) $P_{амм}$ – давление атмосферных газов в экспериментальном устройстве

$$k = - \frac{\left(\frac{dP_{амм}(t)}{dt} + f \right)}{P(t)} \cdot \frac{V}{R \cdot T \cdot S_{cps}} \quad (3)$$

$$f = \frac{v_{нат} \cdot R \cdot T}{V} \quad (4)$$

После чего по формуле 5 была рассчитана константа взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС при натекании в экспериментальное устройство атмосферных газов со скоростью $1,2 \cdot 10^{-10}$ моль/с.

$$k = \left(\frac{P_i(t)}{dt} + \frac{k_{ам}(P(t) - P_i(t))}{P_i(t)} - \frac{v_{нат}}{P_i(t)} \right) \cdot \frac{1}{S_{cps}} \quad (5)$$

где, P_i – давление изотопов водорода в экспериментальном устройстве

Рассчитанные значения константы взаимодействия по начальным участкам сорбционных кривы приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что значение константа взаимодействия в условиях натекания атмосферы уменьшается.

Таблица 1. Константа взаимодействия изотопов водорода с литиевыми КПС

Температура КПС, °C	Константа взаимодействия с водородом, $P_0=100$ Па, моль/(с·Па·м ²)	Константа взаимодействия с водородом, $P_0=100$ Па в условиях влияния атмосферы, моль/(с·Па·м ²)	Константа взаимодействия с водородом, $P_0=550$ Па в условиях влияния атмосферы., моль/(с·Па·м ²)	Константа взаимодействия с дейтерием, $P_0=550$ Па в условиях влияния атмосферы моль/(с·Па·м ²)	
200	$1,68 \cdot 10^{-7}$	$1,09 \cdot 10^{-7}$	$0,96 \cdot 10^{-7}$	—	
250	—	—	—	$6,61 \cdot 10^{-8}$	
350	—	—	—	$1,34 \cdot 10^{-7}$	
Литературные данные по определению константы взаимодействия водорода с литием [3]	Температура лития, °C	520	485	455	200
	Константа взаимодействия, моль/(с·Па·м ²)	$4,89 \cdot 10^{-6}$	$4,35 \cdot 10^{-6}$	$3,89 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-7}$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных исследований были рассчитаны основные параметры взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС.

Был выявлен эффект влияния натекания атмосферных газов который выражен в снижении скорости поглощения изотопов водорода и уменьшением константы взаимодействия.

Данный эффект предположительно можно объяснить тем что при взаимодействии атмосферных газов с поверхностью жидкого лития происходит

образование на поверхности нерастворимых в литии пленок и тем самым снижается эффективная площадь взаимодействия литиевой КПС с изотопами водорода.

Полученные параметры взаимодействия изотопов водорода с литиевыми КПС будут в дальнейшем использоваться для расчета и оптимизации скорости напуска рабочего газа в предстоящих в скором будущем экспериментах с макетом модуля литиевого дивертора токамака КТМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Golubchikov, L.G. Development of a liquid-metal fusion reactor divertor with a capillary -pore system /L.G Golubchikov, V.A.Evtikhin, I.E. Lyublinski, A.V Vertkov., V.I. Pistunovich, I.N.Potapov, A.N Chumanov // J. Nucl. Mater. 1996. Vol. 233-237. P. 667-672.
2. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. М. : Машиностроение, 1975. 45-48.
3. Литий / Субботин В. И.[и др.]. – М. : ИзДАТ, 1999. – 263 с

ЛИТИЙ ҚЫЛТҮКТИ-КЕУЕКТИ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ (ҚКЖ) СІңІРУ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Тулубаев Е.Ю., Понкратов Ю.В., Кульсартов Т.В., Барсуков Н.И., Гордиенко Ю.Н, Сәдуақасова А.О.

ҚР ҰАО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Берілген жұмыста сутегі изотобының литий ҚКЖ-мен әрекеттесуін зерттеу экспериментінің нәтижелері көрсетілген.

Жүргізілген экспериментте алынған қисықтар бойынша сутегі изотобының литий ҚКЖ-мен әрекеттесу жылдамдығының тұрақтысы есептелді.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде атмосфералық газдардың ағу әсерінің тиімділігі анықталды, ол сутегі изотоптарының жұту жылдамдығынан және әрекеттесу тұрақтысының төмендеуінен байқалады. Бұл әсерді шамамен былай түсіндіруге болады: атмосфералық газдардың сұйық литий бетімен әрекеттесуі кезінде литийдің бетінде ерімейтін қабыршақ пайда болады және осыған байланысты литий ҚКЖ-нің сутегі изотоптарымен әрекеттесуінің тиімді ауданы азаяды.

RESEARCH SORPTION CHARACTERISTICS LITHIUM CPS

Y.Yu. Tulubayev, Yu.V. Ponkratov, T.V. Kulsartov, N.I. Barsukov, Ju.N. Gordienko, A.O. Sadvokassova

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

In the given work results of experiments on research of interaction of isotopes of hydrogen with lithium CPS are resulted.

On the curves received in spent experiments constants of speed of interaction of isotopes of hydrogen with lithium CPS have been calculated.

As a result of the spent researches the effect of influence leaking atmospheric gases which is expressed in decrease in speed of absorption of isotopes of hydrogen and reduction of a constant of interaction has been revealed. It is presumably possible to explain the given effect to those that at interaction of atmospheric gases to a surface of liquid lithium there is a formation on a surface insoluble in lithium films and by that the effective area of interaction lithium CPS with hydrogen isotopes decreases.

УДК 691.039.61

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ ТОКАМАКА КТМ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА

Чектыбаев Б.Ж., Шаповалов Г.В., Маулимбердин Е.К.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Разработана методика определения магнитных полей внутри вакуумной камеры токамака КТМ с использованием датчиков Холла. Методика позволяет проводить прямые измерения магнитного поля с высокой точностью. Измерение производится линейкой из 32 датчиков Холла, установленных внутри вакуумной камеры, измеряющих вертикальную и горизонтальную составляющую магнитного поля. Для калибровки датчиков Холла выбран способ, позволяющий калибровать всю линейку датчиков Холла непосредственно внутри вакуумной камеры в составе используемой измерительной системы, что позволяет повысить точность измерений, а так же упростить и уменьшить время её проведения. Полученные результаты измерений магнитного поля сравниваются с результатами работы расчетного кода, использующего сигналы с датчиков напряжения обхода токамака КТМ.

ВВЕДЕНИЕ

На начальном этапе запуска токамака КТМ одной из важных задач является получения необходимой конфигурации магнитного поля внутри вакуумной камеры для организации плазменного пробоя.

Для определения конфигурации созданного магнитного поля от электромагнитных катушек на токамаке КТМ существует возможность использовать имеющиеся электромагнитные датчики (датчики напряжения обхода) находящиеся внутри вакуумной камеры. Обработанный сигнал с датчиков напряжения обхода (ДНО) используется специальным расчетным кодом, который и определяет значение магнитного поля внутри вакуумной камеры. Однако существует необходимость проверки достоверности результатов расчетного кода. С этой целью была разработана методика прямого измерения магнитного поля внутри вакуумной камеры с использованием миниатюрных датчиков Холла.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ РАСЧЕТНОГО КОДА.

Решение задачи определения карты магнитного поля в вакуумной камере (ВК) по магнитным измерениям находит ряд важных применений для обеспечения режимов работы токамака. Одно из основных применений – это нахождение структуры магнитного поля в момент пробоя плазмы, когда требуется обеспечить определенный уровень рассеянных полей в заданной области ВК. Специально для токамака КТМ был разработан расчетный код [1] для определения карты магнитного поля в вакуумной камере по магнитным измерениям с использованием обработанных данных датчиков напряжения обхода. Датчики напряжения обхода представляют из себя полнообходные петли, проложенные вдоль тороидального обхода вакуумной камеры, на которых наводится напряжение согласно закону электромагнитной индукции. Внутри вакуумной камеры КТМ установлено двенадцать штатных ДНО. С целью проверки влияния количества

ДНО на точность определения магнитных полей внутри вакуумной камеры были установлены еще двенадцать дополнительных ДНО. На рисунке 1 показано расположение ДНО внутри ВК КТМ.

На рисунке 2 показан пример результата работы расчетного кода при разряде высоковольтной конденсаторной батареи на последовательное соединение обмоток CS, PF1, PF4 токамака КТМ. Внутри камеры изображены линии равного значения модуля индукции магнитного поля. Зелеными точками отображены ДНО. Также на рисунке показаны катушки электромагнитной системы.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА

Для определения достоверности результатов полученных при использовании расчетного кода были использованы датчики Холла (ДХ) модели A1321LUA компании Allegro Microsystems [2]. На рисунке 3 показан внешний вид используемого датчика Холла. Датчик Холла модели A1321LUA имеет небольшие габариты 3×4×1,5 мм и представляет собой монолитную интегральную схему, где на одном кристалле объединены элементы Холла, линейный усилитель и оконечный каскад усиления мощности класса А. Кроме того, для увеличения точности преобразования и обеспечения температурной стабильности в микросхеме реализована система автоматической коррекции напряжения смещения и фильтрации сигнала после линейного усилителя, а также имеет схему динамической компенсации дрейфа. Программирование на фабрике, проходящее после всех операций производства и корпусирования, обеспечивает точный контроль чувствительности и смещения микросхемы. На рисунке 4 показано устройство датчика Холла.

Датчики относятся к классу прецизионных калиброванных ЛДХ и сохраняют высокую точность и линейность преобразования в температурном диапазоне от -40 до +150 °С.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ ТОКАМАКА КТМ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА**

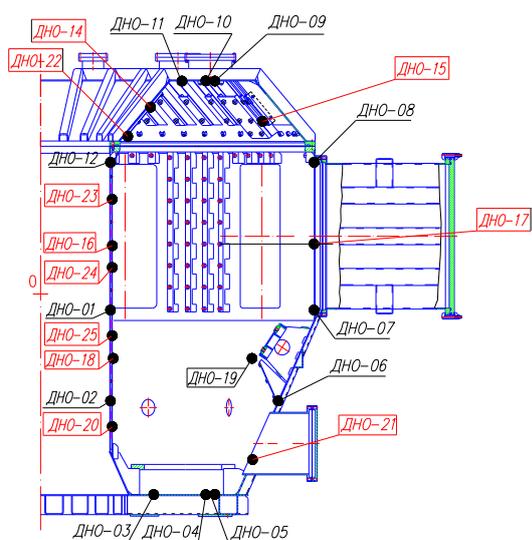


Рисунок 1. Размещение ДНО внутри ВК КТМ (красным цветом показаны дополнительные датчики)

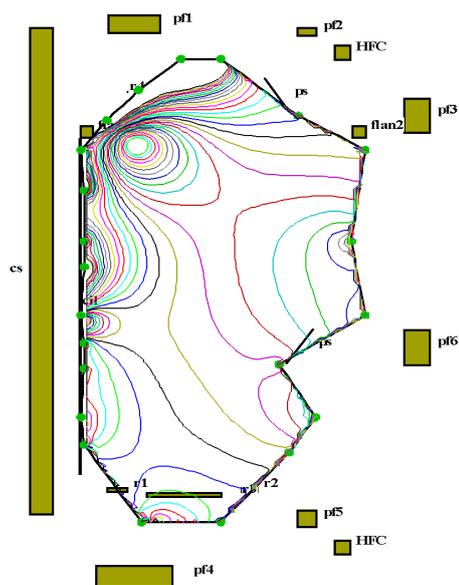


Рисунок 2. Карта магнитных полей внутри вакуумной камеры КТМ

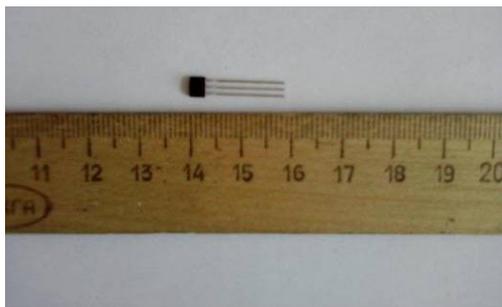


Рисунок 3. Датчик Холла модели A1321LUA

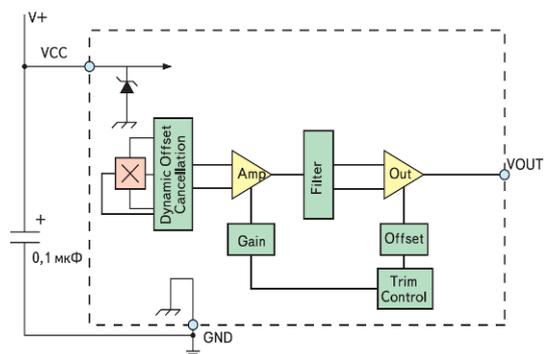


Рисунок 4. Функциональная блок-схема датчика Холла модели A1321LUA

Таблица 1. Технические характеристики датчиков Холла модели A1321LUA

Характеристика	Значение	Единицы
Максимальное измеряемое магнитное поле	440	Гс
Выходное напряжение при отсутствии магнитного поля	2,5	В
Напряжение питания	5	В
Чувствительность	5	мВ/Гс
Диапазон рабочих частот	30	кГц
Уровень шума (от пика к пику)	40	мВ

В таблице 1 приведены основные технические характеристики используемых ДХ.

Для проведения магнитных измерений внутри ВК КТМ была сконструирована специальная штанга позволяющая размещать 32 ДХ. В конструкции предусмотрено размещение 16 ДХ для измерения вертикальной составляющей магнитного поля и 16 ДХ, измеряющих горизонтальную составляющую магнитного поля. На рисунках 6 – а,б,в показана кон-

струкция для размещения датчиков Холла. Вся конструкция выполнена из немагнитных материалов.

Предусмотрено двенадцать вариантов размещения линейки ДХ внутри вакуумной камеры. Для проведения измерений в нижней, более узкой, части вакуумной камеры была изготовлена несущая штанга меньшей длины.

Выставление штанги внутри вакуумной камеры осуществлялось при помощи уровня, при этом точность установки составляло 15-20'.

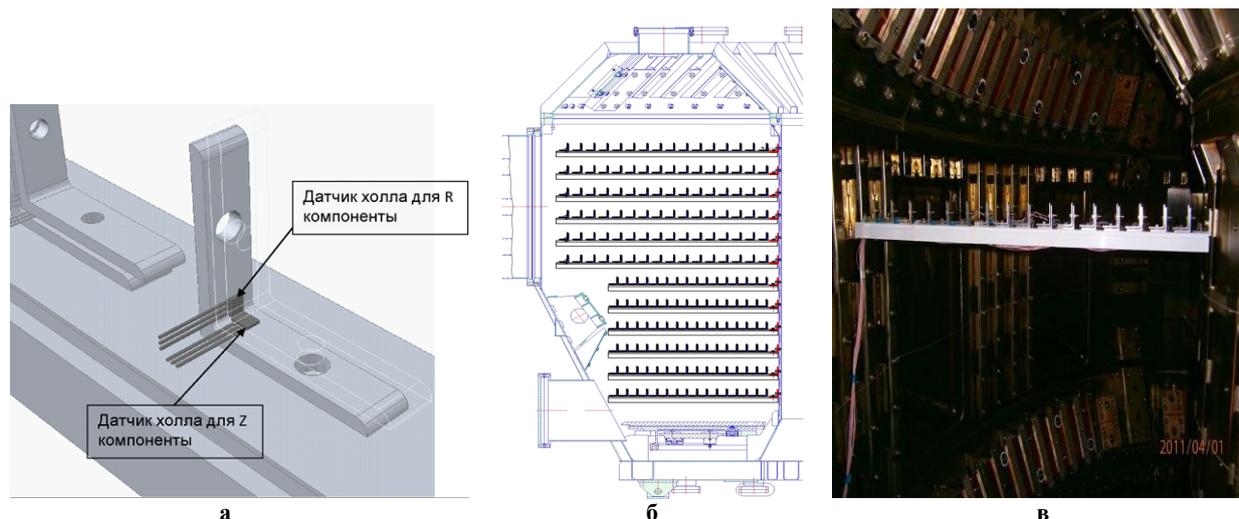


Рисунок 6. Размещение линейки датчиков Холла

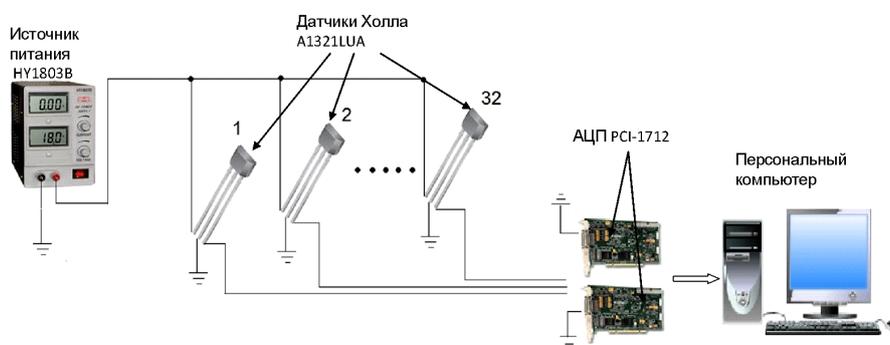


Рисунок 7. Схема измерения электрических сигналов с датчиков Холла

При проведении экспериментов сигналы с датчиков Холла регистрировались на две шестнадцатиканальные АЦП фирмы Advantech PCI-1712 с частотой регистрации 62,5 кГц на канал и разрядностью 12 bit. Схема измерительной системы приведена на рисунке 7.

Питание всех датчиков осуществляется от одного лабораторного источника питания фирмы Mastech модели НУ1803D.

КАЛИБРОВКА ЛИНЕЙКИ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА

Для тестирования и проведения калибровки ДХ изначально планировалось использовать и была изготовлена небольшая катушка Гельмгольца, позволяющая создавать однородное вертикальное магнитное поле с известной величиной. Однако как показал опыт, такая схема калибровки не очень удобна, так как занимает достаточно много времени в силу проведения необходимых манипуляций (выемки из линейки, фиксация внутри катушки Гельмгольца, подключения к измерительной линии и т.п.) с каждым из тридцати двух датчиков поочередно. Однако в токамаке КТМ есть две катушки PF3, PF6 предназначенные для создания вертикального магнитного поля. Катушки имеют одинаковые геометрические параметры и при последовательном соеди-

нении представляют собой большой аналог катушки Гельмгольца. Таким образом, было решено проводить калибровку всей линейки датчиков Холла непосредственно внутри вакуумной камеры.

Такая схема имеет ряд преимуществ: одновременная калибровка шестнадцати датчиков одной компоненты, проведение калибровки в условиях вакуумной камеры, калибровка в составе используемой системы регистрации. На рисунке 8 показано размещение линейки ДХ внутри вакуумной камеры при проведении калибровки. Вся линейка размещается в центре обмоток PF3, PF6.

После проведения калибровки погрешность определения магнитного поля составила ≤ 1 Гс, причем эта величина является постоянной и не зависит от уровня магнитного поля.

Так как чувствительность ДХ несколько изменяется при отклонении напряжения питания и температуры от номинальных параметров, то во время проведения калибровки контролировался уровень напряжения питания, а также измерялась температура воздуха. Для достижения точности последующих измерений датчиками Холла после калибровки все эксперименты проводились при тех же уровнях напряжения питания и температуры.

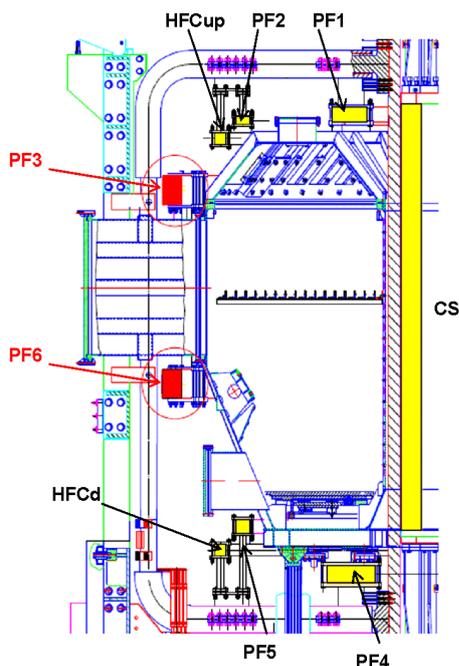


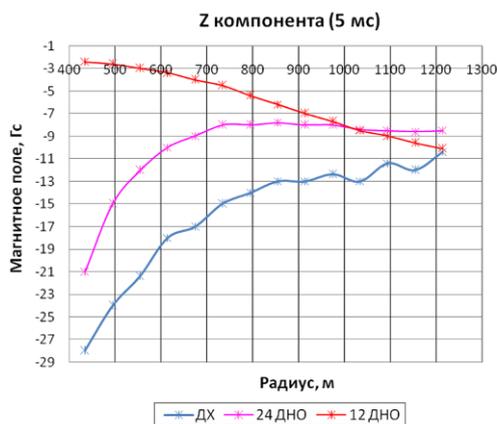
Рисунок 8. Размещение линейки ДХ при проведении калибровки

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

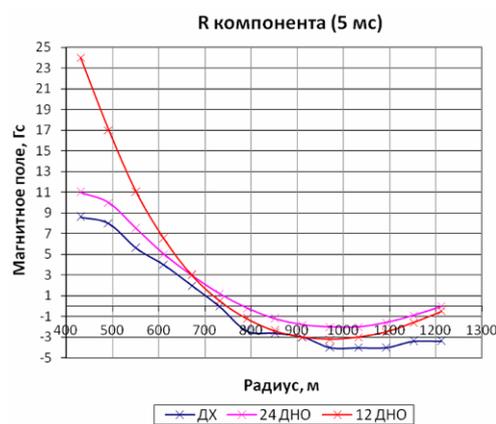
На рисунке 9 представлены кривые распределения магнитного поля, измеренного датчиками Холла. Результаты измерений сравниваются с данными, полученными с помощью расчетного кода с использованием данных с 12 и 24 датчиков напряжения обхода, соответственно.

Как видно из приведенных зависимостей кривые распределения магнитного поля, полученные с помощью ДХ и расчетного кода с использованием 24 ДНО весьма близки по характеру, однако несколько отличаются по значению, что видимо, связано с неточностью определения магнитного поля по расчетному коду.

Также из рисунка 9 видно, что значения магнитного поля, найденные по расчетному коду и десяти ДНО, резко отличаются при уменьшении радиуса, что связано, скорее всего, с сильными электрическими наводками на элементах внутренней стенки вакуумной камеры, недостаточностью количества ДНО и неточностью восстановления магнитного поля с использованием расчетного кода.



а – вертикальная составляющая магнитного поля



б – горизонтальная составляющая магнитного поля

Рисунок 9. Результаты определения магнитного поля с использованием датчиков Холла и расчетного кода.

ВЫВОДЫ

Отработана экспериментальная методика определения магнитных полей внутри вакуумной камеры токамака КТМ с использованием датчиков Холла. Разработана методика, позволяющая относительно просто и быстро проводить калибровку всей линейки датчиков Холла. Установлено, что используемый расчетный код для восстановления магнитного поля

достаточно хорошо показывает качественную картину магнитного поля, однако абсолютное значение магнитного поля несколько отличается от действительного, особенно вблизи внутреннего обхода ВК КТМ. Также установлено, что при увеличении количества ДНО точность определения магнитного поля возрастает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кавин, А.А. Методическое пособие по использованию расчетного кода для восстановления карты магнитного поля в вакуумной камере токамака КТМ по магнитным измерениям и токам в полоидальных обмотках. /Кавин А.А., Лобанов К.М. – ФГУП «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», 2009 г. – 17 с.
2. Ratiometric Linear Hall Effect Sensor ICs for High-Temperature Operation [Электронный ресурс] : Allegro MicroSystems, Inc. 115 Northeast Cutoff, Worcester, MA 01606 USA., 2011. – Режим доступа: <http://www.allegromicro.com>, свободный. – Загл. с экрана.

**ХОЛЛ ДАТЧИКТЕРІНІҢ НЕГІЗІНДЕ КТМ ТОКАМАГІНІҢ ВАКУУМДЫҚ КАМЕРАСЫНДА
МАГНИТТІК ӨРІСТЕРДІ АНЫҚТАУДЫҢ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ӘДІСТЕМЕСІ**

Шектібаев Б.Ж., Шаповалов Г.В., Мәулімбердин Е.К.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Холл датчиктерін қолдану арқылы КТМ токамагінің вакуумдық камерасындағы магнит өрісін анықтау әдістемесі жасалды. Әдістеме магнит өрісін жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Өлшеу вакуумдық камера ішінде орнатылған, магнит өрісінің тік және көлденең құраушысын өлшейтін, 32 Холл датчигінен тұратын сызғышпен жүргізіледі. Холл датчиктерін мөлшерлеу үшін вакуумдық камера ішінде қолданылатын өлшеуіш жүйенің құрамында Холл датчигінің сызғышын түгелімен калибрлеуге мүмкіндік беретін әдіс таңдалды. Бұл өлшеудің дәлдігін жоғарылатып, өлшеуді жеңілдетуге және оның уақытын азайтуға мүмкіндік береді. Алынған магнит өрісінің өлшеу нәтижелері КТМ токамагінің айналысындағы кернеу датчигінің сигналын қолданатын есеп кодының нәтижелерімен салыстырылады.

**EXPERIMENTAL METHODOLOGY TO DEFINE MAGNET FIELD
IN KTM TOKAMAK VACUUM CHAMBER BASED ON HALL SENSOR**

B.Zh. Chektybayev, G.V. Shapovalov, E.K. Maulimberdin

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Method for determination of magnetic fields inside the vacuum vessel of KTM tokamak was developed. This method allows making direct measurements of the magnetic field with high accuracy. Set of thirty two Hall sensors are using for measure vertical and horizontal components of magnetic field. Calibration method for Hall sensors was chosen, it allow calibrate all set of Hall sensors inside the vacuum chamber together with data acquisition system. It allows increase accuracy and simplifies calibration. Obtained measurement results compared with calculating code which using data from voltage loops of KTM tokamak.

УДК 621.039

АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ НА РЕАКТОРЕ ИГР

¹⁾Мухамедов Н.Е., ²⁾Витюк В.А.

¹⁾Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, Семей, Казахстан

²⁾Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты оценки теплового состояния экспериментального устройства с использованием расчетного комплекса ANSYS. Рассмотрены вопросы подготовки и проведения реакторных экспериментов, условия и порядок проведения расчетов в обоснование конструкции и режимов испытаний экспериментального устройства.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Интенсивное развитие атомной энергетики является тенденцией современного мира. Повышенные требования к АЭС обусловлены увеличением объемов потребления энергии, ростом мировых цен на горючие углеводороды, ограниченностью их запасов, а также высокими экологическими требованиями. Возможность расположения атомных электростанций вблизи предполагаемых нагрузок, высокая калорийность ядерного топлива, обеспечение чистоты воздушного бассейна и низкого радиационного фона в районе расположения АЭС дает право утверждать, что у атомной энергетики есть будущее.

Ермоленко М.В. Для создания реакторов повышенной безопасности и систем локализации проектных и запроектных аварий необходим детальный анализ процессов, связанных с плавлением активной зоны, поведением топлива, материалов и конструкций ядерных реакторов в переходных и аварийных режимах. Одним из направлений работ в обоснование безопасности атомной энергетики является экспериментальное моделирование процессов, сопровождающих отдельные стадии развития тяжелых аварий на АЭС с плавлением активной зоны реактора. В рамках таких работ в Институте атомной энергии Национального ядерного центра Республики Казахстан проводятся эксперименты для исследований поведения топлива энергетического реактора в условиях моделирования аварии на реакторе ИГР. Целью таких исследований является получение количественной и качественной информации о поведении ТВЭЛ и тепло выделяющей сборки (далее ТВС) в переходных и аварийных режимах эксплуатации. Одним из основных ожидаемых результатов исследования процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны, является экспериментальное подтверждение возможности создания активной зоны, защищенной от аварии с повторной критичностью, которая может произойти в случае образования компактного бассейна расплавленного топлива.

Устранение проблемы повторной критичности может быть достигнуто путем установления ясной логики, основанной на экспериментальных доказательствах, которые показывают, что активная зона

реактора имеет внутренне присущие свойства, исключающие возможность возникновения повторной критичности в условиях разрушения активной зоны. Если предположить, что расплавленное топливо не выводится из активной зоны, в ее объеме может быть сформирован большой бассейн расплава, который периодически будет достигать состояния повторной критичности. В противоположность этому, если обеспечить раннее выведение топлива из активной зоны, она становится свободной от такого недостатка как возможность возникновения повторной критичности. Расплавленное топливо с накопленной в нем энергией могло бы быть удалено из активной зоны в процессе ее плавления через специальные каналы выведения расплава, вид которых зависит от конструкции реактора.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данной работы являлось определение теплотехнических характеристик предложенного варианта конструкции экспериментального устройства при проведении внутриреакторных экспериментов. Объект испытаний - экспериментальное устройство (далее ЭУ). Цель испытаний - получение экспериментальных данных, необходимых для определения величины теплового потока от расплава стали к стальной стенке, охлаждаемой натрием, возникающего в результате развития аварии с плавлением активной зоны реактора на быстрых нейтронах.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) разработка трехмерной расчетной модели экспериментального устройства ID-3; 2) оценка теплового состояния экспериментального устройства в ходе реализации калибровочного и исследовательского пусков.

В состав объекта испытаний - ЭУ, входят следующие основные узлы и элементы [2]: силовой корпус; кассета ТВС; ловушка; сливная труба; система измерения параметров. Мощность энерговыделения в экспериментальном устройстве ID-3 является основным управляемым параметром в эксперименте. Диаграмма изменения мощности энерговыделения в экспериментальном устройстве ID-3 выбрана такой, чтобы мощность энерговыделения в топливе была меньше чем энергия плавления топлива, но достаточная для плавления внутренней стальной трубы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

При проведении расчетов использовался программный пакет ANSYS, который обеспечивает создание расчетных моделей в трехмерном приближении, позволяет выполнить детальное описание теплонапряженных узлов, учитывать изменение теплофизических свойств материалов (теплоемкости, плотности и теплопроводности) в зависимости от давления и температуры, учитывать тепловые процессы, протекающие при фазовых переходах и другие важные для описания теплообмена свойства материалов и особенности конкретной конструкции [1]. Использовались также программные блоки теплофизических свойств материалов, сформированные на основе библиотеки «Теплофизических свойств материалов Аргоннской национальной лаборатории теплофизических свойств и теплофизических свойств нетрадиционных материалов». Для реализации расчетов была разработана трехмерная расчетная модель, описывающая конструкцию экспериментального устройства на уровне расположения ТВС. В модели были заданы теплоемкости фазовых переходов компонентов ТВС. Тепловые расчеты выполнены для следующих условий (рисунок 1):

- теплопередача в конструктивных элементах модели осуществляется за счет теплопроводности;
- зазоры между таблетками и решеткой заполнены аргоном;
- полость внутренней трубы заполнена натрием.

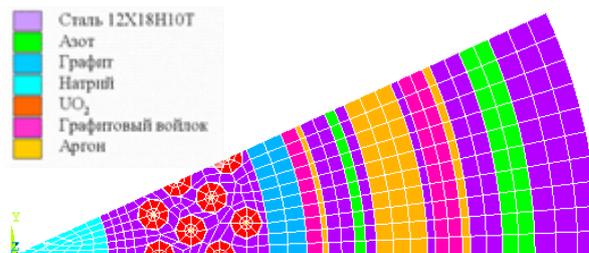


Рисунок 1. Расчетная модель чехла ТВС ЭУ ID-3

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЭУ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ КАЛИБРОВОЧНОГО ПУСКА

Калибровочный пуск должен быть выполнен в режиме «нейтронная вспышка». По результатам калибровочного пуска выбирается оптимальное энерговыделение для исследовательского пуска. С учетом этого расчет проведен для следующих условий:

- начальная температура всех конструктивных элементов равна 300 К;
- передача тепла осуществляется за счет теплопроводности;
- на наружной поверхности силового корпуса задан конвективный теплообмен с окружающей средой, коэффициент теплоотдачи – 5 Вт/м²·К.

Изменения температур в контрольных точках ЭУ ID-3 в сечении на уровне центра активной зоны в процессе калибровочного пуска показаны на рисунке 2.

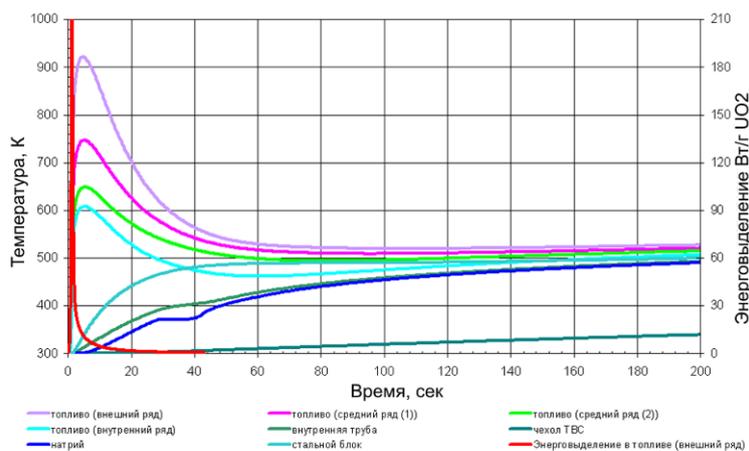


Рисунок 2. Изменение температур в контрольных точках ЭУ ID-3 в сечении на уровне центра активной зоны в процессе калибровочного пуска

Как следует из рисунка 2, тепловое состояние ЭУ ID-3 в ходе реализации калибровочного пуска, характеризуется следующими параметрами: максимальная температура топлива - 922 К; плавление натрия начнется с 26 с от момента реализации диаграммы мощности в топливе.

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЭУ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПУСКА

Исследовательский пуск должен быть выполнен в режиме «импульс». Предварительная оценка требуемого энерговыделения в топливе экспериментального устройства ID-3 выполнена на основании решения уравнения теплового баланса для ТВС.

Диаграмма энерговыделения в топливе, с учетом отношения энерговыделения в топливе к энерговыделению в реакторе по форме и длительности, аналогична диаграмме работы реактора в калибровочном пуске с экспериментальным устройством SFD. С учетом этого расчет проеден для следующих условий:

- начальная температура всех конструктивных элементов равна 670 К;
- передача тепла осуществляется за счет теплопроводности;
- на наружной поверхности силового корпуса задан конвективный теплообмен с окружающей средой, коэффициент теплоотдачи – $5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$;
- продолжительность диаграммы энерговыделения в топливе – 100 с.

Изменения температур в контрольных точках ЭУ ID-3 в сечении на уровне центра активной зоны в

процессе исследовательского пуска показаны на рисунке 3.

Как следует из рисунка 3, тепловое состояние ЭУ ID-3 в ходе реализации исследовательского пуска, характеризуется следующими параметрами:

- максимальная температура топлива - 3003 К;
- кипение натрия при температуре 1155 К, начнется с 46 с от момента реализации диаграммы мощности в топливе;
- стальной блок ТВС начнет плавиться с 65 с от момента реализации диаграммы мощности в топливе;
- разрушение внутренней трубы начнется с 105 с от момента реализации диаграммы мощности в топливе или спустя 40 с от момента образования бассейна расплава стали;
- температура чехла ТВС не превысит 990 К.

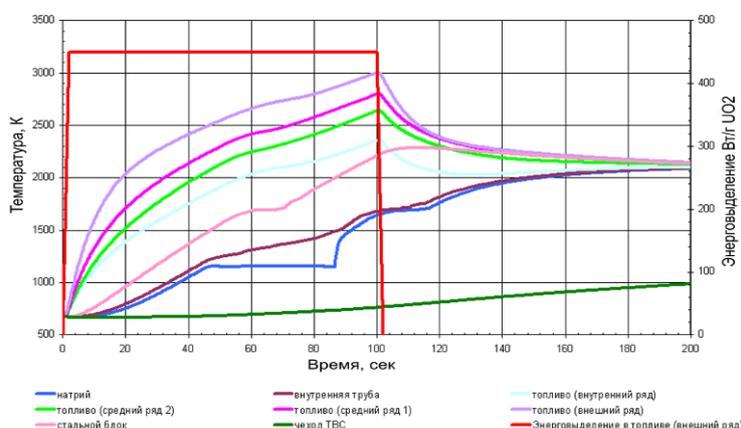


Рисунок 3. Изменение температуры в контрольных точках ЭУ ID-3 в сечении на уровне центра активной зоны в процессе исследовательского пуска

ВЫВОДЫ

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- с целью предотвращения роста давления в центральной части внутренней трубы, обусловленного температурным расширением натрия на уровне активной зоны реактора при проведении калибровочного пуска, перед пуском должен быть осуществлен предварительный разогрев натрия, находящегося во внутренней трубе, до температуры плавления;

дующегося во внутренней трубе, до температуры плавления;

- конструкция экспериментального устройства обеспечивает достижение цели эксперимента и безопасные условия проведения реакторных пусков при реализации выбранных режимов испытаний;
- при реализации заданной диаграммы энерговыделения в топливе в исследовательском пуске обеспечивается полное плавление стальных блоков ТВС, при этом топливо сохраняет свою целостность.

ЛИТЕРАТУРА

1. ANSYS Release 7.0. ANSYS 7.0 Documentation; SAS IP, Inc.; 2002. – 108 с.
2. Эксперимент ID-3: принципиальная программа испытаний / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК; рук. А.Д. Вурим. – Курчатова. 2010. – 24 с.

**ИГР РЕАКТОРЫНДА СЫНАУЛАР ЖҮРГІЗУ КЕЗІНДЕГІ
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ ЖЫЛУЛЫҚ КҮЙІН ТАЛДАУ**

¹⁾Мұхамедов Н.Е., ²⁾Витюк В.А.

¹⁾*Шәкәрім атындағы Семей мемлекеттік университеті, Семей, Қазақстан*

²⁾*ҚР ҰЯО Атом энергетикасы институты, Қурчатов, Қазақстан*

Эксперименттік құрылғының жылулық күйін ANSYS есептік кешенін қолдану арқылы бағалау нәтижелері берілген. Реакторлық эксперименттерді дайындау мен жүргізу мәселелері, эксперименттік құрылғының конструкциясы мен сынау режимдерін негіздеуге арналған есептер жүргізу жағдайлары мен тәртібі қаралған.

THERMAL ANALYSIS OF AN EXPERIMENTAL DEVICE WHILE TESTING ON EGR REACTOR

¹⁾N.E. Mukhamedov, ²⁾V.A. Vityuk

¹⁾*Semipalatinsk State University after Shakarim, Semey, Kazakhstan*

²⁾*Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

Thermal condition assessment of an experimental device using ANSYS has been provided in this paper. The paper presented issues on preparation and conduction of experiments on reactors, calculation procedures to justify designed construction and testing regimes of an experimental device.

УДК 539.21:539.12.043:669.3

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ

Токтогулова Д.А., Максимкин О.П., Мережко М.С.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Исследованы сталь 12X18Н10Т и сплав 03Х20Н45М4БРЦ в исходном аустенизированном состоянии и после нейтронного облучения до различных флюенсов. Для исследуемых материалов получены кривые «истинное напряжение – истинная деформация» и определена величина предельной плотности энергии деформации. Рассмотрено влияние дозы нейтронного облучения на способность осваивать подводимую энергию на стадиях равномерной и локализованной деформации.

ВВЕДЕНИЕ

Создание радиационно-стойких материалов в настоящее время является актуальной задачей повышения эффективности атомных реакторов, для решения которой разрабатываются различные методы. Энергетический подход к анализу стойкости реакторных материалов по отношению к интенсивным внешним воздействиям является одним из наиболее общих и перспективных.

В процессе облучения или пластической деформации вплоть до разрушения материал поглощает подводимую извне энергию. Когда в локальном объеме материала плотность внутренней энергии достигает критической величины, то появляется микротрещина критических размеров, происходит резкая локализация деформации и последующее разрушение. Таким образом, критерием разрушения служит предельная плотность внутренней энергии [1]. Величина предельной плотности энергии деформации, W_c , не зависит от условий нагружения и является фундаментальной характеристикой сопротивления материала разрушению [2]. Общая плотность энергии, необходимая для разрушения единицы объема металла, состоит из энергии упругой деформации, энергии пластической деформации и энергии движения трещины. При этом энергия пластической деформации намного превышает другие составляющие. Gillemot F. показал, что энергию, поглощенную единицей объема при деформации до разрушения, можно определить, рассчитав площадь

под кривой «истинное напряжение, $\sigma_{ист}$ – истинная деформация, $\varepsilon_{ист}$ » [3]:

$$W_c = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij}, \quad (1)$$

Как было показано в работах [1,3] величина W_c является практически важной, поскольку определяется величиной межатомных сил. Целью настоящей работы было экспериментальное определение предельной плотности энергии деформации реакторных материалов, облученных нейтронами.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовали аустенитную нержавеющую сталь 12X18Н10Т и аустенитный сплав на основе никеля 03Х20Н45М4БРЦ (ЧС-43), химический состав которых приведен в таблице 1. Цилиндрические образцы с размерами рабочей части 1,7×10мм после термообработки (сталь 12X18Н10Т – отжиг 1050, 30мин, сплав 03Х20Н45М4БРЦ – отжиг 1150, 1 ч) облучали на реакторе ВВР-К ($E > 0.1$ МэВ, $T_{обл} < 80^\circ\text{C}$). Облученные образцы подвергались естественному старению в течение 25 лет. Испытания на одноосное растяжение проводили на универсальной испытательной машине «Instron 1195» при температуре 20°C, скорости деформации 0,5 мм/мин. Измерения габаритных размеров рабочей части используемых образцов осуществляли с помощью цифрового микрометра «Sony» (Япония) с погрешностью ± 1 мкм.

Таблица 1. Химический состав исследуемых материалов (вес.%)

Материал	C	Cr	Ni	Ti	Si	P	S	Mn	Mo	Nb	Fe
12X18Н10Т	0.1	17.00	10.66	0.5	0.34	0.032	0.032	1.67			ост
03Х20Н45М4БРЦ	0.03	19.7	44.6	-	0.26	0.001	0.007	0.44	3.8	0.8	ост

Построение «истинной» диаграммы напряжений сопряжено с определенными трудностями, поскольку деформирование ведется пошагово с последующим полным снятием нагрузки и измерением геометрических размеров шейки. При работе с радиоактивными образцами такой метод испытания не вполне приемлем. Поэтому в настоящей работе в ходе эксперимента производилось фотографирова-

ние образца. Сопоставление геометрических размеров до деформации, полученных с использованием микрометра и по фотоснимку, позволяло определить «цену» пикселя. В дальнейшем, определение размеров образца в ходе деформации проводилось только по фотоснимкам с погрешностью $< 1\%$. Для построения «истинной» кривой деформационного упрочнения и анализа результатов механических испыта-

ний использовалась методика, изложенная в [4]. За момент начала локализации деформации приняли достижение максимальной нагрузки.

Наряду с формулой (1), определение предельной плотности энергии деформации для сравнения проводили также, применяя расчетный метод Gilletot F.

$$W_c = \frac{\sigma_{02} + 2\sigma_B}{3} \left(\frac{d_0^2}{d_m^2} - 1 \right) + \left(\sigma_B \frac{d_0^2}{d_m^2} + \sigma_{cr.уст} \right) \ln \frac{d_m}{d_n}, [МДж/м^3] \quad (2)$$

где σ_{02} – условный предел текучести; σ_B – предел прочности; $\sigma_{cr.уст}$ – истинное сопротивление разрушению; d_0 – начальный диаметр образца; d_m – диаметр при максимальной нагрузке; d_n – наименьший диаметр, измеренный после разрушения образца.

Для того чтобы судить о закономерностях пластического деформирования материала на различных стадиях необходимо учитывать плотность энергии деформации для области равномерного и сосредоточенного течения. В методе [4] дано определение плотности энергии разрушения U_f :

$$U_f = W_c = U_m + U_{nf}$$

где U_m – удельная энергия деформации до момента локализации, $МДж/м^3$

$$U_m = \frac{\sigma_B(1 + \delta_p) \ln(1 + \delta_p)}{\ln(1 + \delta_p) + 1}, \quad (3)$$

U_{nf} – удельная энергия деформации от предела прочности до разрушения, $МДж/м^3$

$$U_{nf} = \left[\frac{\sigma_B(1 - \psi) + \sigma_{cr}}{2(1 - \psi)} \right] \cdot \left[\ln \frac{1}{1 - \psi} - \ln(1 + \delta_p) \right], \quad (4)$$

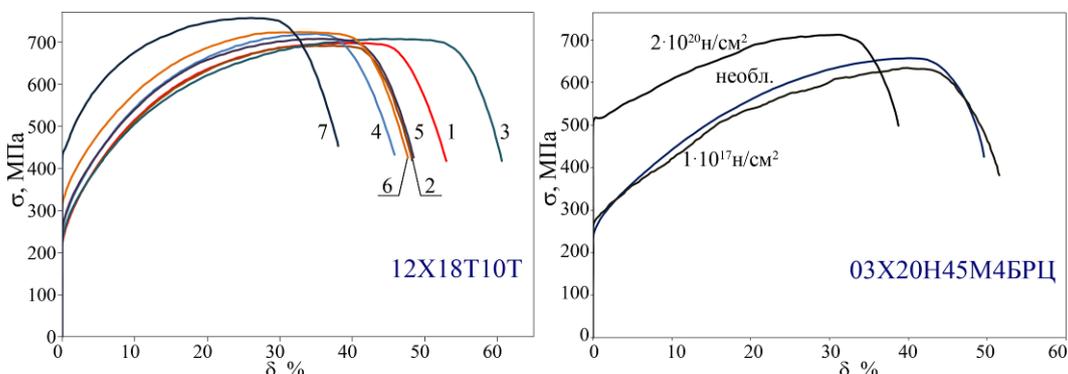
$\psi = (S_0 - S_n)/S_0$ – относительное сужение; δ_p – относительное равномерное удлинение; σ_{cr} – напряжение при разрушении, $МПа$; S_0 – начальная площадь поперечного сечения, $мм^2$; S_n – площадь поперечного сечения в шейке после разрушения, $мм^2$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Инженерные диаграммы растяжения для стали 12Х18Н10Т и сплава 03Х20Н45М4БРЦ в необлученном и облученном нейтронами до различных флюенсов состояниях представлены на рисунке 1, рассчитанные из них характеристики прочности и пластичности – в таблице 2. С ростом флюенса наблюдается повышение прочностных характеристик исследуемых материалов, причем наиболее значительно изменяется предел текучести. Нейтронное облучение стали 12Х18Н10Т привело к снижению равномерной и полной деформации. В то же время при $\Phi = 5 \cdot 10^{17}$ н/см² наблюдается эффект аномального увеличения пластичности. Сравнение механических характеристик, полученных в настоящей работе и непосредственно после облучения [5], показало, что длительное естественное старение в течение 25 лет привело к повышению пластичности нержавеющей стали, облученной до флюенса $5 \cdot 10^{18}$ н/см².

Из инженерных диаграмм растяжения получены значения удельной работы равномерной деформации, A_p , и удельной работы до разрушения образца, A (таблица 2). Можно видеть, что с увеличением флюенса величина удельной работы деформации снижается. Вероятнее всего это связано с уменьшением пластичности облученного материала по сравнению с необлученным. Исходя из данных, представленных в таблице 2, видно, что большая часть работы приходится на область равномерной деформации. Это связано с тем, что в предлагаемом в данном методе расчета не учитывается изменение площади поперечного сечения образца при переходе к локализованному течению. Определенная таким способом удельная работа деформации является характеристикой материала, усредненной по всей рабочей части образца.

В то же время на основании анализа изменений диаметра образца установлено, что когда деформация сосредотачивается в малом объеме рабочей части образца, локальные деформации могут достигать 150-170%. Таким образом, плотность энергии деформации, W_c , при расчетах которой учитывается именно этот объем, намного больше, чем работа A , усредненная по образцу.



Состояние: 1 – исх., 2 – $2,5 \cdot 10^{17}$; 3 – $5 \cdot 10^{17}$; 4 – $1 \cdot 10^{18}$ н/см², 5 – $2 \cdot 10^{18}$ н/см², 6 – $5 \cdot 10^{18}$ н/см², 7 – $1 \cdot 10^{19}$ н/см².

Рисунок 1. Типичные инженерные кривые стали 12Х18Н10Т и сплава 03Х20Н45М4БРЦ

Таблица 2. Механические и энергетические характеристики необлученной и облученной нейтронами стали 12Х18Н10Т и сплава 03Х20Н45М4БРЦ

Материал	Флюенс, н/см ²	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_p , %	δ , %	A_p , МДж/м ³	A , МДж/м ³
12Х18Н10Т	Необл.	237	698	40	53	234	316
	$2,5 \cdot 10^{17}$	242	693	37	48,3	227	283
	$5 \cdot 10^{17}$	244	707	45	61	265	368
	$1 \cdot 10^{18}$	266	720	35	45,8	211	277
	$2 \cdot 10^{18}$	271	706	38	48,5	227	294
	$5 \cdot 10^{18}$	328	724	34	47,6	212	300
	$1 \cdot 10^{19}$	441	757	26	38	178	257
03Х20Н45М4БРЦ	Необл.	250	657	40	50	213	268
	$1 \cdot 10^{17}$	273	634	40	51,5	202	268
	$2 \cdot 10^{20}$	516	711	31	38,7	200	248

Соответственно анализ свойств материала корректнее проводить, основываясь на кривых «истинное напряжение — истинная деформация». Такие диаграммы позволяют получить «истинные» характеристики материала, являются более физичными по сравнению с инженерными кривыми «нагрузка-удлинение» поскольку оперируют с понятиями локализованного объема, который принимает участие в деформации. Для всех исследуемых материалов были построены «истинные» кривые деформационного упрочнения. На рисунке 2 в качестве примера приведены кривые « $\sigma_{ист}$ — $\epsilon_{ист}$ » для сплава 03Х20Н45М4БРЦ.

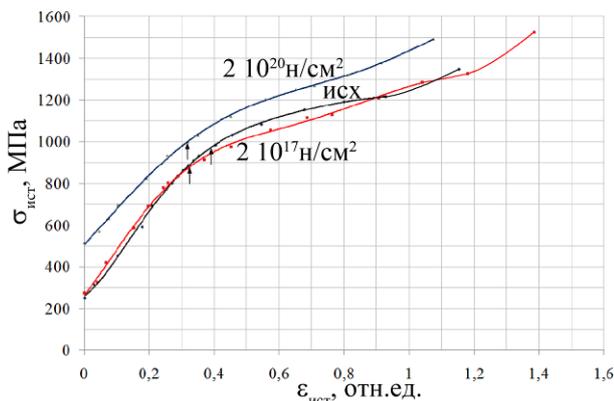


Рисунок 2. Кривые «истинное напряжение — истинная деформация» для сплава 03Х20Н45М4БРЦ в исходном состоянии и после нейтронного облучения. Стрелками показан момент начала сосредоточенной деформации

Расчитанные из «истинных» диаграмм значения предельной плотности энергии деформации исследуемых материалов, необлученных и облученных нейтронами до различных флюенсов, представлены на рисунке 3. Следует отметить, что W_c для стали 12Х18Н10Т вдвое больше, чем для сплава 03Х20Н45М4БРЦ.

Анализ значений энергии, поглощаемой материалом на различных стадиях деформации, показал, что плотность энергии деформации до предела прочности, $U_{пв}$ для исследуемых материалов практически одинакова (~ 200 МДж/м³). При этом для

стали 12Х18Н10Т величина U_m составляет $\sim 10\%$ от W_c , для сплава 03Х20Н45М4БРЦ — $\sim 16\%$. Из рисунка 3 видно, что значения плотностей энергии деформации U_m и U_{nf} для стали 12Х18Н10Т остаются практически неизменными до флюенса $1 \cdot 10^{19}$ н/см². Данный факт подтверждается в работе [6], где показано, что латентный период простирается вплоть до дозы 1сна.

На рисунке 3 для сравнения также приведены величины W_c , U_m и U_{nf} , полученные по формулам (2)-(4). Видно, что рассчитанные и экспериментальные значения, достаточно хорошо совпадают.

Обращает на себя внимание следующее обстоятельство. Несмотря на то, что исследуемые материалы близки по химическому составу и по механическим свойствам в необлученном состоянии [5], в то же время удельная энергия деформации от предела прочности до момента разрушения — U_{nf} — для сплава 03Х20Н45М4БРЦ оказалась значительно меньше, чем для стали 12Х18Н10Т.

Возможно, это связано с тем, что сталь является метастабильной, т.е. склонна к мартенситному γ - α' превращению при деформации. Согласно [7], фазовое превращение мартенситного (бездиффузионного) типа является мощным каналом диссипации подводимой извне механической энергии. Во-первых, часть этой энергии расходуется на образование кристаллов мартенсита. Во-вторых, определенная часть энергии поглощается металлом на повышение плотности дислокаций в связи с образованием мартенсита деформации, преодоление дислокациями дополнительных препятствий, которыми являются кристаллы мартенсита. В-третьих, образование α' -фазы сопровождается выделением тепла [8].

Т.е. появление α' -мартенсита приводит к деформационному упрочнению, в то же время повышает способность материала деформироваться без разрушения. При этом увеличивается способность материала осваивать подводимую энергию, т.е. повышается W_c .

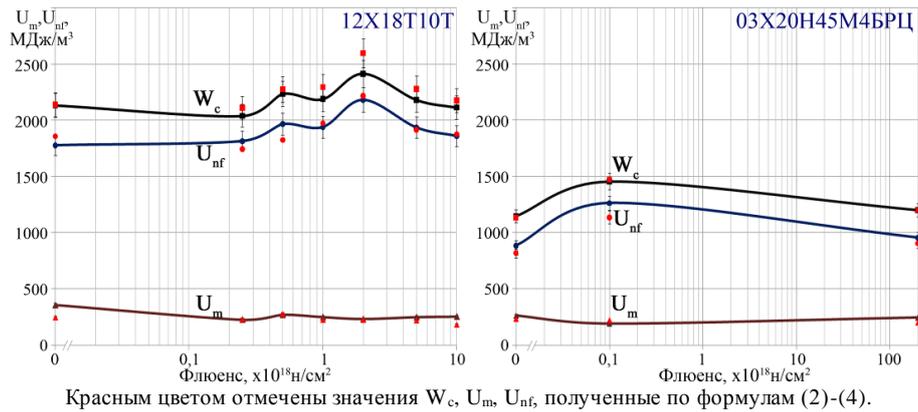


Рисунок 3. Влияние нейтронного облучения на значения предельной плотности энергии деформации, W_c , и величины плотности энергии на стадиях равномерной, U_m , и локализованной деформации, U_{nf} , стали 12X18H10T и сплава 3X20H45M4BPC

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе проведены механические испытания реакторных материалов – стали 12X18H10T и сплава 03X20H45M4BPC – в исходном аустенизированном состоянии, а также подвергнутых нейтронному облучению до различных флюенсов и последующему естественному старению в течение 25 лет. Определены физико-механические и энергетические характеристики исследуемых материалов, а также значения предельной плотности энергии деформации W_c . Показано, что для стали 12X18H10T величина

$W_c = 2180 \text{ МДж/м}^3$, тогда как для сплава 03X20H45M4BPC значение W_c существенно меньше – 1260 МДж/м^3 . Рассчитаны величины плотности энергии раздельно для стадий равномерной и локализованной деформации исследуемых материалов. Высказано предположение, что с целью увеличения работоспособности деталей и узлов АР необходимо увеличивать предельную плотность энергии деформации конструкционных материалов за счет реализации дополнительных механизмов диссипации энергии и, в частности, мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова, В.С. Усталость и хрупкость металлических материалов / В.С. Иванова., С. Е. Гуревич, И. М. Копьев. – М.: Наука. – 1968. – 215с.
2. Миллер, К. Ползучесть и разрушение / К. Миллер. – М.: Металлургия. – 1986. – 119с.
3. Gillemot, L.F. Criterion of crack initiation and spreading/ L.F. Gillemot // Engineering Fracture Mechanics. – 1976. – Vol. 8. – P. 239-253.
4. Shindler, H. J. Strain energy density as the link between global and local approach to fracture [Электронный ресурс] / H. J. Shindler // Proc. of 10th Int. Conf. on Fracture. – Honolulu. – 2001. – <http://mat-tec.ch/2002/bibli/ICF10.pdf>
5. Ибрагимов, Ш.Ш. Температурные изменения механических свойств сплава 03X20H45M4BPC и стали 12X18H10T, облученных нейтронами / Ш.Ш. Ибрагимов, О.П. Максимкин, М.Ж. Сакбаев // М., 1990. – 10 с. – Деп. в ВИНТИ 27.06.90, № 3666-В90.
6. Kim, J.W. Analysis of tensile deformation and failure in austenitic stainless steel: Part II – Irradiation dose dependence / J.W. Kim T.S Byun // JNM. – 2010. – Vol. 386. – P. 10-19.
7. Малинов, Л.С. Влияние мартенсита деформации на свойства сталей Fe-Cr-Mn / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, К.Н. Соколов // Металлы. – 1988. – №2. – С.78-83.
8. Токтогулова, Д.А. Тепловые эффекты на различных стадиях пластического течения поликристаллических металлов и сплавов (Fe, Ni, 12X18H10T, 03X20H45M4BPC), облученных нейтронами : дис...канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 : защищена 24.04.2009 : утв. 22.09.2009 / Токтогулова Диана Асылбековна. – Алматы, 2009. – 126 с.

НЕЙТРОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНДІРІЛГЕН РЕАКТОР МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ДЕФОРМАЦИЯ ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ ШЕКТІК ТЫҒЫЗДЫҒЫ

Токтағұлова Д.А., Максимкин О.П., Мережко М.С.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Бастапқы күйіндегі және әртүрлі флюенстерге дейінгі нейтрондық сәулелендіруден кейінгі 12X18H10T болат пен 03X20H45M4BPC қорытпасы зерттелді. Зерттелетін материалдар үшін «шын кернеу – шын деформация» кисықтары алынды және деформация энергиясының шектік тығыздығының шамасы анықталды. Нейтрондық сәулелендіру дозасының деформацияның бірқалыпты және окшауланған сатыларында берілетін энергияны игеру қабілетіне ықпалы қарастырылды.

CRITICAL STRAIN ENERGY DENSITY OF REACTOR MATERIALS IRRADIATED BY NEUTRONS

D.A. Toktogulova, O.P. Maksimkin, M.S. Merezhko

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

$^{12}\text{Cr}^{18}\text{Ni}^{10}\text{Ti}$ steel and $^{03}\text{Cr}^{20}\text{Ni}^{45}\text{Mo}^{4}\text{Nb}^{1}\text{Zr}$ alloy unirradiated and irradiated up to various neutron fluencies was researched. For investigated materials “true stress – true strain” curves were obtained and critical strain energy density was determined. Neutron fluence effect on capacity to open up the input energy on the ultimate and localization stages is considered.

УДК: 533.9.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСПЫЛЕНИЯ МОЛИБДЕНА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ АРГОНА¹Баязитова Ж.Т., ²Горлачев И.Д., ²Карпиков А.Н., ²Кислицин С.Б., ²Лысухин С.Н.¹*Астанинский филиал Института ядерной физики НЯЦ РК, Астана, Казахстан*²*Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан*

Экспериментально измерен коэффициент распыления поверхности молибдена ионами аргона с использованием методики, основанной на измерении толщины распыленного слоя методом Резерфордского обратного рассеяния. Коэффициент распыления молибдена ионами аргона с энергией 100 кэВ составил $K_p = 4$ ат./ион, что согласуется с литературными данными по измерению коэффициента распыления другими методами.

ВВЕДЕНИЕ

Распыление - удаление атомов поверхности при облучении твердого тела ускоренными частицами - происходит в результате столкновений между налетающей частицей и атомами в приповерхностных слоях материала. Вследствие распыления бомбардирующими частицами поверхность твердого тела разрушается. Эффект распыления известен достаточно давно, и кроме отрицательного воздействия - разрушения поверхности - в настоящее время находит достаточно широкое применение для очистки поверхности, получения тонких пленок и др. [1].

Распыление обращенных к плазме конструктивных материалов в реакторах термоядерного синтеза (ТЯР) оказывает сугубо отрицательное воздействие на работоспособность ТЯР - ухудшаются рабочие характеристики термоядерной плазмы вследствие загрязнения распыленным материалом, разрушаются сами обращенные к плазме конструкционные материалы и теряют свои эксплуатационные свойства. Поэтому изучение эффекта распыления материалов облицовки первой стенки, а также выбор конструктивных материалов наименее подверженных распылению при взаимодействии с заряженными ускоренными частицами, является актуальной задачей радиационной физики твердого тела и радиационного материаловедения [2-3].

Экспериментальное определение коэффициентов распыления (K_p) материалов является предметом внимания исследователей в течение продолжительного времени, и для измерения K_p используются различные методы и оборудование [1,4]. Нами для экспериментального определения коэффициентов распыления выбрана следующая методика: распыление поверхности материала велось тяжелыми ионами на ускорителе. В качестве бомбардирующих поверхность ионов выбраны ионы аргона зарядностью +5 и энергией 20 кэВ на заряд, т.е. полная энергия иона составляет 100 кэВ. Толщина распыленного слоя определяется методом Резерфордского обратного рассеяния (РОР) на протонах, поставленная на ускорителе УСП-2-1 ИЯФ НЯЦ РК [5] и на ионах азота, поставленная на ускорителе ДЦ-60 Астанинского филиала ИЯФ. Результаты экспери-

ментального определения коэффициента распыления сопоставляются с расчетами выполненными методом компьютерного моделирования распыления материалов заряженными частицами.

ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для экспериментального определения коэффициентов распыления поверхности молибдена путем определения толщины распыленного слоя РОР методом подготовлены образцы, представляющие собой подложки из алюминиевого сплава площадью 20×20 мм с нанесенным методом магнетронного распыления молибденовым покрытием (часть образцов с толщиной покрытия 500 – 600 нм, часть образцов с толщиной покрытия 1 - 1.1 мкм). Двухслойные образцы - алюминиевый сплав с нанесенным слоем молибдена - были взяты по следующим соображениям. Для повышения точности определения толщины распыленного слоя РОР методом материалы подложки и исследуемого материала должны значительно отличаться по атомному весу, в этом случае РОР спектры обратно рассеянных ионов от материала подложки и нанесенного слоя хорошо разделяются, и толщина покрытия определяется с точностью ~ 5 нм. Зная флюенс падающих ионов, облучаемую площадь и измерив толщины распыляемого материала до ионного облучения и после можно с достаточно высокой точностью определить коэффициент распыления равный среднему числу атомов удаленных с поверхности одним падающим ионом. В нашем случае выбраны следующие материалы - молибден, для которого определяется коэффициент распыления и алюминий как материал подложки, на которую магнетронным способом нанесен слой молибдена.

Толщина нанесенного слоя молибдена выбиралась по двум соображениям: пробег падающих ионов с учетом области страгглинга должен полностью лежать в распыляемом материале, в нашем случае пробег ионов аргона с энергией 100 кэВ, составляет 43 нм, страгглинг - 27 нм. Кроме того, толщина слоя распыляемого материала должна быть достаточной для фиксации границы алюминий - молибден. При энергии протонов 1 МэВ, их пробег в молибдене составляет ~ 7 мкм, что позволяет получать спектры обратно рассеянных протонов, как

от подложки, так и от молибденового покрытия. Следовательно, подготовленные образцы удовлетворяют предъявляемым требованиям. Процедура подготовки образцов для исследований и структура исходных образцов описана в работе [6].

**РАСПЫЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МОЛИБДЕНА
ИОНАМИ АРГОНА НА УСКОРИТЕЛЕ ДЦ-60**

Облучение поверхности молибдена низкоэнергетическими ионами Ar^{+5} с энергией 20 кэВ на заряд, т.е. полная энергия иона составляла 100 кэВ, проводилось на ускорителе ДЦ-60. Как показывает анализ литературных источников, значение коэффициента распыления является максимальным при падении пучка ионов на мишень под углом 45° . Поэтому 2 образца с разными толщинами молибдена устанавливались на мишенном устройстве под углом 45° и бомбардировались ионами аргона. Другие два образца с теми же параметрами исследуемого материала облучались при нормальном падении потока ионов.

Облучение образцов № 1 (толщина молибденового слоя $h \sim 600$ нм) и № 3 ($h \sim 1100$ нм) проводилось при нормальном падении пучка ионов на поверхность молибдена, энергия ионов аргона 100 кэВ, флюенс $6 \cdot 10^{17}$ ион/см², облучаемая поверхность ~ 1 см². Облучение образцов № 2 ($h \sim 600$ нм) и № 4 ($h \sim 1100$ нм) проводилось при угле падения пучка ионов на поверхность молибдена, равном 45° , энергия ионов аргона также составляла 100 кэВ, флюенс облучения – $1.2 \cdot 10^{18}$ ион/см², площадь облучаемой поверхности – 1 см².

Таблица 1. Результаты взвешивания и определения гидростатической плотности образцов до, после нанесения молибденового слоя и после облучения ионами аргона

Номер образца	До нанесения молибдена		После нанесения молибдена		После облучения ионами Ar^{+5}	
	плотность, г/см ³	вес, г	плотность, г/см ³	вес, г	плотность, г/см ³	вес, г
1	2.7646	1.1690	2.7809	1.1703	2.8068	1.1697
2	2.7626	1.1370	2.7707	1.1388	2.7608	1.1379
3	2.7676	1.1960	2.7734	1.1993	2.7740	1.1982
4	2.7665	1.1100	2.7832	1.1131	2.7895	1.1105

Измерение толщины слоя молибдена исходных образцов методом Резерфордского обратного рассеяния на протонах и ионах азота. Измерения толщины молибденового слоя проводились на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 РОР методом на ионах азота. Результаты – РОР спектры (для образца № 2) и полученные при их обработке значения толщин приведены в таблице 2 и на рисунке 1 а.

Таблица 2. Измеренные методом Резерфордского обратного рассеяния на ионах азота значения толщин молибденовых слоев, нанесенных на подложки из алюминиевого сплава

№ образца	1	2	3	4
Толщина покрытия (РОР на ионах азота), нм	645	685	1180	1350
Толщина покрытия (РОР на протонах), нм	652	675	1170	1370

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ
МОЛИБДЕНА ИОНАМИ АРГОНА**

Интенсивность процесса распыления характеризуют коэффициентом распыления, равным среднему числу удаленных атомов, приходящихся на одну падающую частицу, $K_p =$ число удаленных атомов/число падающих частиц. Нами для измерения коэффициента распыления поверхности молибдена ионами аргона выбраны два метода: измерение толщины распыленного слоя РОР методом в качестве основного, и метод определения уменьшения веса образцов после облучения ионами аргона в качестве вспомогательного. Для этого до и после экспериментов по распылению определялись вес, плотность и толщины слоя молибдена.

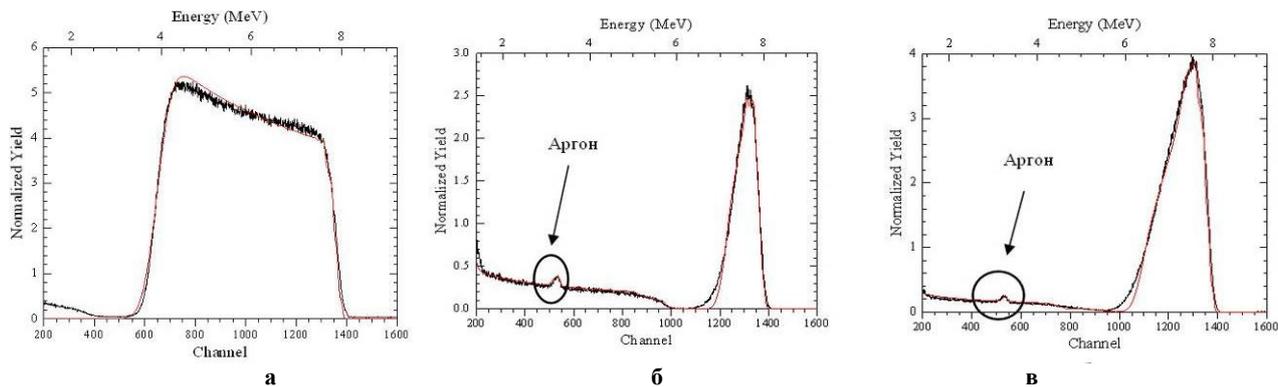
Измерение толщины молибденового слоя и веса исходных образцов. Вес и гидростатическая плотность измерялась с помощью аналитических весов АLC 80/4. Результаты взвешивания образцов подложек и образцов с молибденовым слоем приведены в таблице 1. По результатам измерений плотности молибдена исходных образцов можно сделать вывод: гидростатическая плотность молибденового слоя, равная 10.0 г/см³ (плотность молибдена равна плотности образца за вычетом плотности подложки из алюминиевого сплава) соответствует плотности массивного алюминия (табличное значение 10.2 г/см³), следовательно, полученный методом магнетронного распыления молибден соответствует массивному.

По результатам измерений толщины слоев молибдена, полученные РОР методом на протонах и ионах азота установлено, что толщины образцов, измеренные РОР методом на протонах и азоте, совпадают с погрешностью $\sim 5-10\%$, (таблицу 2).

Измерение толщины распыленного молибденового слоя и изменения веса после облучения ионами аргона с энергией 100 кэВ. Результаты взвешивания образцов с молибденовым слоем после проведения экспериментов по распылению ионами аргона приведены в таблице 1. Из приведенных в таблице 1 результатов видно, что вес всех облученных образцов уменьшился.

Толщины слоев молибдена на образцах после облучения ионами измерялась методом Резерфордского обратного рассеяния на азоте, выполненные на ускорителе ДЦ-60. Измерения толщины молибденового слоя проводилось по трем точкам в пределах облученной области. Результаты – РОР спектры и их обработка показаны на рисунках 1б,в.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСПЫЛЕНИЯ
МОЛИБДЕНА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ АРГОНА**



а – ROP спектр поверхности необлученного образца №2; б – ROP спектр поверхности образца №1, облученного ионами аргона; в – ROP спектр поверхности образца №2, облученного ионами аргона

Рисунок 1. ROP спектры поверхностей образцов на ионах азота и результат их подгонки для определения толщины слоя

Таблица 3. Результаты обработки ROP спектров образца №1 и № 2, усредненные по трем измерениям толщины

№ образца	Толщина слоя, нм	Содержание Мо, ат.%	Содержание Аг, ат.%	Содержание Al, ат.%
№1	0 - 80	85	15	0
	80 - 155	69	0	41
	155- ∞	0	0	100
№2	0 - 30	87	13	0
	30 - ∞	0	0	100

Из сравнения спектров на рисунках 2а и 2 б, в видно, что толщина молибденового слоя значительно уменьшилась, кроме того, в молибденовом слое зафиксирован имплантированный аргон. Результаты обработки ROP спектров, усредненных по трем измерениям, облученных аргоном образцов № 1 и № 2 представлены в таблицах 3.

Из приведенных в таблице 4 результатов следует, что после облучения образца №1, с исходной толщиной молибденового слоя 645 нм, ионами аргона флюенсом $\Phi t = 6 \cdot 10^{17}$ ион/см² толщина слоя молибденового слоя составила 215 нм, т.е. слой молибдена толщиной 410 нм расплылся. Для образца №2, с исходной толщиной молибденового слоя 685 нм, после облучения ионами аргона под углом 45° флюенсом $\Phi t = 1 \cdot 10^{18}$ ион/см², толщина оставшегося слоя молибдена – 30 нм, т.е 655 нм молибдена расплылось.

Определение коэффициентов распыления поверхности молибдена весовым методом. Основной характеристикой эффекта распыления, как уже упоминалось выше, является коэффициент распыления Kp , определяемый как среднее число атомов удаленных с поверхности одним падающим ионом:

$$Kp = Npa / N_{ион}, \quad (1)$$

где Npa – количество распыленных атомов, $N_{ион}$ – количество бомбардирующих поверхность ионов. Экспериментально определив Npa , зная флюенс Φt ионного облучения, т.е. суммарное количество ионов упавших на облучаемую единицу поверхности и площадь облучаемой поверхности можно определить количество падающих ионов: $N_{ион} = \Phi t \cdot S$, где S – площадь облучаемой поверхности, и оценить по формуле (1) коэффициент распыления. Используя полученные в п 3.3 результаты экспериментальных

измерений такие оценки можно сделать по измерениям потери веса и изменению толщины молибденового слоя после облучения ионами аргона.

По данным, приведенным в таблице 1 где даны результаты взвешивания до и после облучения ионами аргона можно рассчитать количество распыленных атомов:

$$Npa = Na / M \cdot (m_1 - m_2), \quad (2)$$

где $Na = 6.02 \cdot 10^{23}$ ат./г – число Авогадро, $M = 96$ атомный вес молибдена, m_1 и m_2 – массы образца до облучения и после облучения соответственно. Результаты расчетов по формуле (1) с учетом (2) приведены в таблице 3. Отметим, что для образцов 1 и 3 коэффициент распыления рассчитан для нормального падения ионов аргона на поверхность $Kp(\theta=0)$, для образцов 2 и 4 при угле падения 45°.

Определение коэффициента распыления поверхности молибдена ионами аргона методом измерения толщины распыленного слоя. Измерив толщины молибденового слоя до и после облучения ионами аргона используя формулу (1) также можно оценить коэффициент распыления молибдена. В этом случае количество распыленных атомов молибдена определится из соотношения:

$$N = Na / M \cdot (h_1 - h_2) \cdot S \cdot \rho / \Phi t, \quad (4)$$

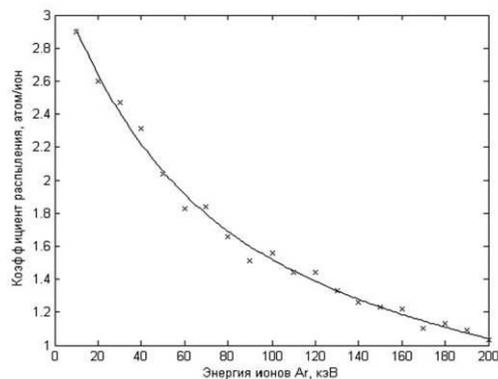
где $Na = 6.02 \cdot 10^{23}$ ат./г – число Авогадро, $M = 96$ атомный вес молибдена, h_1 и h_2 – массы образца до облучения и после облучения соответственно, S – облучаемая площадь, $\rho = 10.22$ ат./см³ – плотность молибдена (табличное значение). Результаты определения коэффициента распыления с помощью измерения толщины распыленного слоя ROP методом приведены в таблице 3. Для образца 1 коэффициент распыления рассчи-

тан для нормального падения ионов аргона на поверхность $Kp(\theta=0)$, для образца 2 при угле падения 45° .

Сравнительный анализ расчетных и экспериментально определенных коэффициентов распыления поверхности. Кроме экспериментального измерения коэффициента распыления молибдена ионами аргона был проведен расчет энергетической зависимости коэффициента распыления молибдена от энергии ионов аргона $K_{Mo}(Ar)$. Расчеты коэффициентов распыления молибдена проведены методом моделирования каскадов соударений от налетающих ионов аргона с помощью программы TRIM, результаты показаны на рисунке 2. В качестве входных параметров для расчетов использовались литературные данные. Значение поверхностной энергии связи выбрано равным энергии сублимации материала. Для проведенных расчетов наряду с результатами моделирования приведены результаты расчетов коэффициентов распыления K по аппроксимирующей функции. Крестиками на рисунках обозначены результаты моделирования, кривыми – расчеты с помощью аппроксимирующей функции вида $y = a \cdot \exp(b \cdot E) + c \cdot \exp(d \cdot E)$, где E – энергия ионов (значения коэффициентов a , b , c и d приведены в подрисуночной подписи).

Из рисунка 2 видно, что $K_{Mo}(Ar)$ в том же интервале энергий ионов аргона уменьшается от ~ 3 ат/ион для ионов аргона с энергией 10 кэВ до ~ 1.5 ат/ион для 100 кэВ ионов аргона, т.е. приблизительно в два раза. Этот эффект связан с двумя обстоятельствами – меньшим пробегом ионов аргона и большей переданной энергией атомам мишени при

соударениях ионом аргона. Из сравнения теоретически рассчитанного и экспериментально определенного с помощью POP метода коэффициентов распыления явствует, что теоретически рассчитанный коэффициент \sim в 2.5 раза меньше экспериментально определенного. С учетом того, что расчет проведен для идеального кристалла, т.е. не учитывалось влияние температуры, которая в экспериментах по распылению составляла $\sim 150 - 200^\circ C$, можно заключить, что наблюдается удовлетворительное согласие экспериментально определенного коэффициента распыления с теоретически рассчитанным. Результаты экспериментальных измерений и расчетные оценки коэффициента распыления молибдена ионами аргона с энергией 100 кэВ сведены в таблице 3.



Значения коэффициентов: $a = 1.504$, $b = -0.02067$; $c = 1.738$; $d = -0.002683$

Рисунок 2. Зависимость коэффициента распыления Mo при облучении ионами аргона

Таблица 3. Теоретические и экспериментальные оценки коэффициента распыления молибдена ионами аргона с энергией 100 кэВ

№ образца	d, нм	ρ , г/см ²	Еион, кэВ	Φt , см ⁻²	θ , град	Кэ, вз. ат./ион	Кэ, POP ат./ион	Кт, ат./ион
1	645	10.11	100	$6 \cdot 10^{17}$	0	10.4	4.1	1.6
2	685	10.20	100	$1 \cdot 10^{18}$	45	5.0	4.1	2.8
3	1170	10.20	100	$6 \cdot 10^{17}$	0	10.0	-	1.6
4	1370	10.20	100	$1 \cdot 10^{18}$	45	15.6	-	2.8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментального определения коэффициента распыления молибдена ионами аргона можно сделать следующие выводы:

- Разработана методика определения коэффициентов распыления основанная на измерении толщины распыленного слоя методом Резерфордского обратного рассеяния.
- Проведены оценки коэффициента распыления поверхности молибдена ионами аргона с энергией 100 кэВ двумя методами, основанными на измерениях потери веса и измерении толщины слоя распыленного молибдена. Коэффициент распыления определенный по изменению толщины распыленного слоя молибдена $Kp = 4$, что согласуется с литературными данными ($Kp = 5$). Коэффициент распыления определенный по изменению веса распыленного

молибдена дает значение $Kp = 10$, что в ~ 2 раза выше значения Kp полученного методом измерения толщины распыленного слоя.

Исследование структуры поверхности распыляемого молибдена, проводившиеся наряду с определением коэффициента распыления показали, что наряду с распылением в материале происходит существенная деградация приповерхностных слоев – изменяется структура, морфология и элементный состав поверхности за счет имплантации бомбардирующих ионов, что приводит к деградации физико-механических свойств материала.

Авторы благодарят зав. лабораторией ионно-плазменных технологий ИЯФ НЯЦ РК Ю.Ж. Тулеушева за помощь в приготовлении образцов методом магнетронного распыления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берриш, Р. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой: Физическое распыление одноэлементных твердых тел / Р. Берриш. - М: «Мир». - 1984. - 336 с.
2. Азизов, Э.А. Тепловые и радиационные нагрузки на первую стенку и диверторные пластины в токамаке КТМ. , Азизов Э.А., [и др.]// Тез. Докл. 3-ей Междунар. конф. «Ядерная и радиационная физика», Алматы, Казахстан, 4-7 июня 2001 - Алматы: ИЯФ НЯЦ РК - 2001. - С.47-48.
3. Калинин, Б.А. Проблемы выбора материалов для термоядерных реакторов: Радиационная эрозия / Калинин Б.А., Скоров Д.М., Якушин В.Л. - М: Энергоатомиздат - 1985. - 184с.
4. Берриш, Р. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Выпуск II Распыление сплавов и соединений, распыление под действием электронов и нейтронов, рельеф поверхности. / Р. Берриш - М: «Мир». - 1986. - 488 с.
5. Arzumanov, A.A. Tandem accelerator UKP-2-1 in nuclear-physical investigations / Arzumanov A.A., [et al]. // Preprint INP NNC RK 2002. - №21. - 35p.
6. Баязитова, Ж.Т. Структура поверхности молибдена, облученного ионами аргона с энергией 100 кэВ / Баязитова Ж.Т., [и др.]// Вестник ЕНУ им. Гумилева. - 2011. - №2 (81). - С. 140-146.

ТӨМЕН ЭНЕРГИЯЛЫ АРГОН ИОНДАРЫМЕН СӘУЛЕЛЕНДІРУ КЕЗІНДЕ МОЛИБДЕННІҢ ТОЗАНДАЛУ КОЭФФИЦИЕНТІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК АНЫҚТАУ

¹⁾Баязитова Ж.Т., ²⁾Горлачев И.Д., ²⁾Карпиков А.Н., ²⁾Кислицин С.Б., ²⁾Лысукхин С.Н.

¹⁾*ҚР ҰЯО Ядролық физика институтының Астанадағы филиалы, Астана, Қазақстан*

²⁾*ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан*

Тозандатылған қабат қалыңдығын Резерфордтық кері шашырау әдісімен өлшеуге негізделген әдістемені пайдалана отырып, молибден бетін аргон иондарымен тозандату коэффициенті экспериментті түрде өлшенді. Молибденді 100 кэВ энергиялы аргон иондарымен тозандату коэффициенті $K_s = 4$ ат./ион болды, бұл тозандату коэффициентін басқа әдістермен өлшеудің әдеби деректерімен үйлеседі.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE SPUTTERING COEFFICIENT OF MOLYBDENUM AT LOW ENERGY ARGON IONS BOMBARDMENT

¹⁾Zh.T. Bayazitova, ²⁾I.D. Gorlachev, ²⁾A.N. Karpikov, ²⁾S.B. Kislitsin, ²⁾S.N. Lysukhin

¹⁾*Astana branch of the Institute of Nuclear Physics NNC RK, Astana, Kazakhstan*

²⁾*Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan*

The sputtering coefficient of molybdenum surface at argon ions bombardment experimentally determined by the technique based on Rutherford backscattering method measurements of the thickness of sputtered molybdenum layer. The sputtering coefficient of molybdenum by argon ions of 100 keV measured in present work consists $K_s = 4$ atom/ion and is in accord with experimental measurements another authors.

УДК 539.12.04

**ПОЛЗУЧЕСТЬ СТАЛИ 12Х18Н10Т - МАТЕРИАЛА ЧЕХЛОВ ОТРАБОТАННЫХ
ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК РЕАКТОРА БН-350 В УСЛОВИЯХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ
ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

Диков А.С., Киреев В.В., Горцев А.П., Кислицин С.Б., Нестерова А.Ю.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

В условиях имитирующих длительное хранение отработанного ядерного топлива, проведены испытания на ползучесть образцов конструкционной стали 2Х18Н10Т - материала чехлов отработанных тепловыделяющих сборок реактора БН-350. Установлено, что при напряжениях меньших предела текучести зависимость деформации ползучести от времени как для облученной, так и необлученной стали имеет следующий вид: начальная стадия, характеризующаяся скоростью ползучести $\sim n \cdot 10^5$ мм/мин; переходная стадия ползучести на которой скорость ползучести отрицательна; за ней - установившаяся стадия ползучести со скоростью деформации на порядок меньшей, чем на начальной стадии. Скорость ползучести стали облученной при температурах ниже $\sim 380^\circ\text{C}$ не превышает скорости ползучести необлученной стали. Скорость ползучести стали облученной при температуре $\geq 400^\circ\text{C}$ выше скорости ползучести необлученной стали.

ВВЕДЕНИЕ

Конструкционная нержавеющая сталь аустенитного класса - 12Х18Н10Т в состоянии механико-термической обработки (МТО), т.е. после профилирования и стабилизирующего отжига при температуре 800°C в течение 1 ч, применялась в качестве материала для изготовления чехловых шестигранных труб тепловыделяющих сборок ТВС реакторов на быстрых нейтронах БН-350 Мангышлакского атомного энергокомбината (МАЭК) в г. Актау. В настоящее время реактор БН-350 выведен из эксплуатации, а отработанное топливо упаковано в контейнеры и подготовлено к долговременному «сухому» хранению в специальном сооружаемом хранилище.

Ранее нами проводились материаловедческие исследования конструкционных материалов чехлов ТВС, направленные на характеризацию состояния материала чехлов после длительного облучения и хранения в воде. В ходе их выполнения было показано, что микроструктура и физико-механические свойства стали чехлов претерпели значительные изменения: наблюдаются упрочнение, охрупчивание, распухание, для ряда исследованныхборок наблюдалось появление трещин и даже разрушение материала чехла [1]. Для прогноза поведения материалов ТВС при длительном сухом хранении необходимы и длительные механические испытания в условиях близких к условиям хранения. Таковыми являются длительные механические испытания при повышенных температурах, т.е. испытания на ползучесть. В данной работе приведены результаты исследований необлученного и облученного материала чехла ТВС, выполненного из стали 12Х18Н10Т на ползучесть в температурно-силовом интервале характерном для условий хранения отработанного топлива.

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Объектом исследований выбрана облученная и необлученная нержавеющая сталь аустенитного класса 12Х18Н10Т, используемая в качестве конструкционного материала чехлов тепловыделяющихборок (ТВС) реактора БН-350. Образцы размерами $20 \times 2 \times 0,3$ мм были вырезаны из граней чехлов ТВС необлученной и облученной нейтронами стали: экранной Н-214/1 и центральной ЦЦ-19борок. Исследованы образцы стали, приготовленные с отметок +500 и 0 мм по отношению к центру активной зоны (ТВС ЦЦ-19), а также с отметок +900 и 0 мм по отношению к центру активной зоны (цаз) сборки наружного экрана Н-214/1. Выбор данных отметок обусловлен разными условиями облучения материала топливныхборок – температурой, повреждающей дозой и скоростью набора дозы. Дополнительные соображения, по которым выбраны образцы следующие: во всех дефектных ТВС нарушения целостности сборки фиксировались в верхней части, т.е. выше отметки 0 по отношению к цаз и не наблюдались в нижней части сборки, т.е. ниже отметки 0.

Следует отметить, что исследуемый облученный материал после облучения в реакторе БН-350 старился вначале в условиях мокрого хранилища (примерно 5 лет), затем, в течение 8 лет, в виде вырезанных из чехлов ТВС пластин в ненапряженном состоянии находился в сухом хранилище радиоактивных материалов. Условия эксплуатации ТВС, принципиальная схема вырезки исследуемых образцов и методы подготовки образцов к исследованиям описаны в работах [1-3]. Количественные оценки дозы и температуры облучения, для исследованных нами образцов, приведены в таблице 1.

Длительные испытания на прочность при одноосном растяжении проводили на универсальной двухжолонной испытательной машине LR5KPlus в

температурно-силовых условиях соответствующих условиям длительного сухого хранения отработанных тепловыделяющих сборок: $t_{исп}=350^{\circ}\text{C}$, нагрузка 100Н, скорость нагружения до заданной нагрузки 0,5 мм/мин. Время испытания 120 час. Методика испытания на ползучесть описана в работе [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

В результате проведенных длительных испытаний на ползучесть установлено влияние облучения (условий эксплуатации) на деформацию и скорость ползучести конструкционной стали 12Х18Н10Т. см. таблицу 2, в которой приведены результаты испытаний. Отметим, что условия

проведения испытаний на ползучесть как для облученных, так и для необлученного материалов были одинаковы.

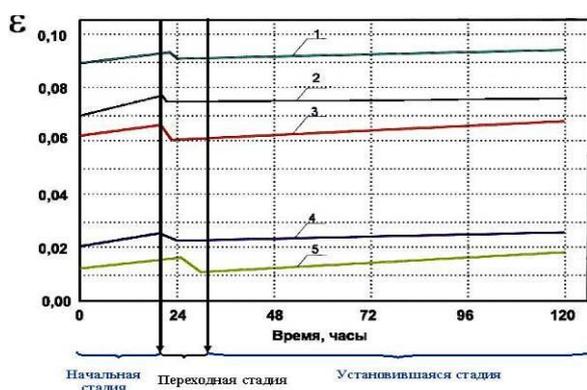
На временной зависимости деформации ползучести облученной и необлученной аустенитной стали 12Х18Н10Т (рисунок 2) явно просматривается две стадии ползучести: начальная и установившаяся. Верхней границей начальной стадии деформации ползучести является «зуб текучести». Длительность начальной стадии порядка 22-24 часов. Подробнее результаты испытаний на начальной стадии ползучести изложены в работе [5].

Таблица 1. Характеристики необлученного и облученных образцов конструкционной стали 12Х18Н10Т до испытаний на ползучесть

Характеристики	Исходный	Верх ТВС		Низ ТВС	
		ТВС ЦЦ-19, отметка +500	ТВС Н-214/1, отметка +900	ТВС ЦЦ-19, отметка 0	ТВС Н-214/1, отметка 0
Доза облучения, сна	–	~ 30	~ 2-3	~ 56	~ 15
Скорость набора дозы, сна/с	–	$5.4 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$11,4 \cdot 10^{-7}$	$40 \cdot 10^{-7}$
T облучения, °C	–	~ 360	~ 400	~ 345	~ 337
Мощность дозы, мк ² /ч	–	162	684	135	846
Размер образца, мм	20×2×0.35	20×2×0.30	20×2×0.30	20×2×0.33	20×2×0.31

Таблица 2. Деформация и скорость ползучести облученной и необлученной стали 12Х18Н10Т при длительных испытаниях на ползучесть

Механические свойства	Исходный	ТВС ЦЦ-19, отметка +500	ТВС Н-214(1), отметка +900	ТВС ЦЦ-19, отметка 0	ТВС Н-214(1), отметка 0
Деформация ползучести, мм	0.049	0.02	0.062	0.045	0.028
Скорость ползучести, мм/мин	$3.96 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$5.13 \cdot 10^{-5}$	$3.7 \cdot 10^{-5}$	$2.1 \cdot 10^{-5}$
Установившаяся стадия ползучести					
Деформация ползучести, мм	0.014	0.018	0.019	0.067	0.047
Скорость ползучести, мм/мин	$3.26 \cdot 10^{-6}$	$3.25 \cdot 10^{-6}$	$3.39 \cdot 10^{-6}$	$11.00 \cdot 10^{-6}$	$8.2 \cdot 10^{-6}$
Длительность испытаний 120 часов (образцы не разрушились)					
Деформация ползучести, мм	0.012	0.04	0.061	0.050	0.041
Относительная деформация, %	0.09	0.01	0.02	0.06	0.07
Скорость ползучести, мм/мин	$2.03 \cdot 10^{-6}$	$5.6 \cdot 10^{-6}$	$10.29 \cdot 10^{-6}$	$6.9 \cdot 10^{-6}$	$5.8 \cdot 10^{-6}$

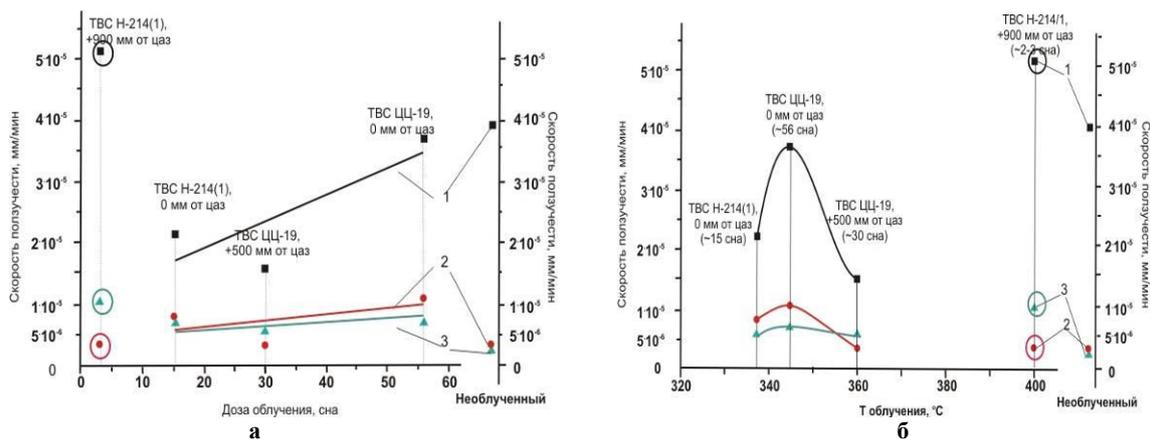


1 – образец необлученной ТВС; 2 – Н-214, отметка 0;
3 – ЦЦ-19, отметка 0 мм от цап; 4 – Н-214, отметка +900 мм от цап;
5 – ЦЦ-19, отметка +500 мм от цап

Рисунок 1. Зависимость деформации ползучести облученной и необлученной стали 12Х18Н10Т от времени испытания.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Влияние дозы и температуры облучения на скорость ползучести. Как видно из данных приведенных в таблице 2 и на рисунке 2а, скорость ползучести образцов вырезанных из центральной сборки на начальной стадии не превышает скорости ползучести исходного (необлученного) образца. В тоже время при низкодозном облучении (2-3 сна) ТВС Н-214/1, скорость ползучести выше чем у необлученного. Аналогичную картину мы наблюдаем и на момент окончания испытаний (120 часов), где скорость ползучести для всех облученных образцов в 2-5 раза была выше чем у необлученного образца. Подобный эффект описан в литературе [6-8] для реакторной ползучести предварительно облученных образцов высоконикелевых сплавов. В нашем случае также наибольшую скорость ползучести показал материал образца исследуемого сплава вырезанного с отметки +900 экранной ТВС Н-214(1).



1 – начальная стадия ползучести, 2 – установившаяся стадия ползучести, 3 – весь интервал, длительность испытаний 120 часов (образец не разрушился).

Рисунок 2. Зависимость скорости ползучести от повреждающей дозы облучения (а) и температуры облучения (б)

Одной из вероятных причин такого роста скорости ползучести у облученного до 2 – 3 сна материала аустенитной стали 12X18Н10Т являются условия эксплуатации данной ТВС, а именно более высокая температура облучения ($\geq 400^\circ\text{C}$). Необходимо отметить, что для облученной до низких доз ~2-3 сна стали, но при более высокой температуре облучения 400°C , превышающей температуру испытания на 50°C , скорость ползучести максимальна на всех стадиях и значительно превышает скорость ползучести необлученной стали.

Зависимость скоростей ползучести от дозы на установившейся стадии отличается от скорости ползучести на начальной стадии – наиболее высокая скорость ползучести на этой стадии обнаружена для стали центральной ТВС ЦЦ-19 на отметке 0 мм от цаза. При этом, из образцов стали, облученных при температурах в интервале от ~ 337 до $\sim 378^\circ\text{C}$ ($\pm 13^\circ\text{C}$ от температуры испытания) скорость ползучести на всех трех стадиях (рисунок 2б) максимальна у образца, облученного до наибольшей дозы 56 сна.

На установившейся стадии ползучести видно (рисунки 2 а,б) что образцы облученные до различных доз деформируются с различной скоростью. Например, для облученных до высоких повреждающих доз (30 сна и более) образцов скорость деформации ползучести на установившейся стадии почти в два раза выше, чем в необлученной стали и облученной до низких доз (2 – 3 сна). О полной протяженности установившейся стадии ползучести облученной стали 12X18Н10Т судить сложно, т.к. при проведенных испытаниях на термическую ползучесть (до 120 часов) образцы не разрушились.

Деформация ползучести. Интересная закономерность наблюдается в зависимостях

величины деформации ползучести облученных образцов от дозы облучения и температуры. На момент окончания испытаний полная деформация ползучести для образцов с нижних отметок (0 мм от цаза) облученных ТВС почти в 2 раза меньше по сравнению с необлученным образцом. При этом относительная деформация образцов с верхних отметок отработавших ТВС, см. рисунок 3а, на момент окончания испытаний почти в три раза больше, чем для образцов с верхних отметок. Те из рисунка 4а видно, что данные по зависимости ϵ от дозы облучения можно сгруппировать в две серии – одна для образцов из верхней части отработанных ТВС и вторая для образцов из верхней части ТВС. Аналогичная картина наблюдается и для зависимости величины деформации от температуры, где также наблюдаются два типа температурной зависимости относительной деформации для образцов с нижних и верхних отметок испытанных сборок (рисунок 4б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью выявления остаточного ресурса материалов чехлов ТВС реактора БН-350, проведены испытания на длительную прочность облученной нержавеющей стали 12X18Н10Т при температурно-силовых условиях, имитирующих длительное хранение отработанного топлива. Для испытаний на ползучесть выбраны образцы из верхней части чехлов отработанных ТВС центральной - ЦЦ-19 с отметки +500 мм от цаза, и экранной Н-214/1 с отметки +900 мм от цаза, как наиболее подверженные деградации механических свойств – охрупчиванию, разрушению. Для сравнения испытаны образцы из нижней части этих ТВС - ЦЦ-19 с отметки 0 и Н-214/1 с отметки 0.

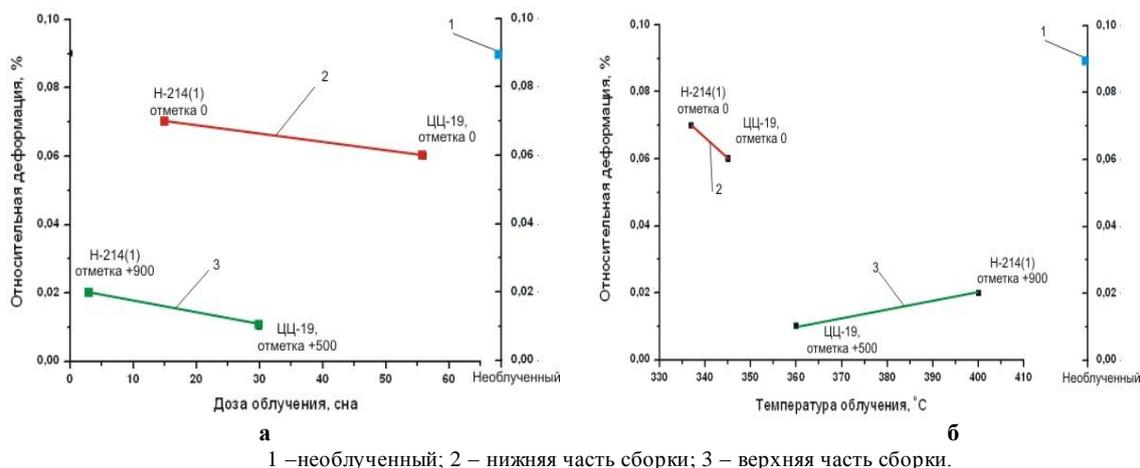


Рисунок 4. Зависимость относительной деформации ползучести от дозы облучения (а) и температуры облучения (б).

Из сравнения скоростей ползучести необлученной и облученной стали 12Х18Н10Т в одинаковых температурно-силовых условиях установлено, что на начальной стадии длительных механических испытаний скорость деформации облученного материала почти на порядок величины превышает скорость деформации необлученного материала. На установившейся стадии ползучести скорости деформации облученной и необлученной чехловой стали 12Х18Н10Т становятся сравнимыми.

Основные выводы по выполненным исследованиям следующие:

- при напряжениях меньших предела текучести зависимость деформации ползучести от времени как для облученной, так и необлученной стали имеет следующий вид:

начальная стадия, характеризуемая скоростью ползучести $\sim n \times 10^{-5}$ мм/мин; далее следует зуб текучести (переходная стадия ползучести), на которой скорость ползучести отрицательна; за ней - установившаяся стадия ползучести со скоростью деформации на порядок меньшей чем на начальной стадии;

- на начальной стадии длительных механических испытаний при температуре 350°C и нагрузке 100 Н скорость ползучести материала облученного в интервале температур от ~337 до ~378°C не превышает скорости ползучести необлученного материала;
- облучение до больших доз влияет на скорость деформации в большей степени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимкин, О.П. Результаты материаловедческих исследований чехла отработавшей ТВС реактора БН-350 / Максимкин О.П., [и др.] // Реакторное материаловедение: матер. 7-й Междунар. конф., Дмитровград, РФ, 8-12 сентября, 2003. – Дмитровград. – 2003 - Т. 3, часть 1 - С. 204 - 221.
2. Kadyrzhanov, K.K. Degradation of Mechanical Properties of Stainless steels C0.12Cr18Ni10Ti and C0.08Cr16Ni11Mo3 – materials for hexagonal Ducts of Spent fuel assemblies from the BN-350 Fast Neutron Reactor / Kadyrzhanov K.K., [et al] // Proceedings of NATO Workshop “Safety Related Issues of Spent Nuclear Fuel Storage”, Almaty, Kazakhstan, 26 – 29 September, 2005. - Springer, NATO Security through Sciences Series. – С: Environmental Security, 2007. – P.329-349.
3. Мелихов, В.Д. О роли процесса приготовления образцов при исследовании реакторных материалов / Мелихов В.Д., Полтавцева В.П., Орозбаев Р. // Известия МОН РК, НАН РК, Сер. Физ.-мат. – 2002. - №2. - С.99 -103.
4. Айтхожин, Э.С. Использование диаграммы растяжений при испытании на ползучесть металлов / Айтхожин Э.С., Чумаков Е.В., Нестерова А.Ю. // Известия НАН РК. Серия: физ.-мат. –1995. –№2. – С.52-58.
5. Диков, А.С., Испытания на длительную прочность облученной и необлученной стали 12Х18Н10Т / Диков А.С., [и др.] // Материалы XI Междунар. конф. «Физика твердого тела», Усть-Каменогорск, Казахстан, 9 – 12 июня, 2010. - Усть-Каменогорск: ВКГТУ – 2010. - С. 595 - 600. – ISBN 978-601-208-152-7.
6. Айтхожин, Э.С. Ползучесть металлов и сплавов при реакторном облучении / Айтхожин Э.С., Паршин А.М. - Алматы: ИЯФ НЯЦ РК. – 2004 - 243 С.
7. Паршин, А.М. Структура, прочность и радиационная повреждаемость коррозионно-стойких сталей и сплавов / Паршин А.М. – Челябинск: «Металлургия»-1988. - С.569-576.
8. Колосов, И.Е. О пластичности металлов и сплавов / Колосов И.Е., Паршин А.М., Петкова А.П. // Вопросы атомной науки и техники, Серия: Физ. радиац. поврежд. и радиац. Материаловед. - 2002. - № 3 (81) - С.71-73.

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ЯДРОЛЫҚ ОТЫННЫҢ ҰЗАҚ САҚТАЛУЫН МОДЕЛЬДЕЙТІН
ЖАҒДАЙЛАРДА БН-350 РЕАКТОРЫНЫҢ ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ЖЫЛУ БӨЛГІШ ЖИНАҚТАРЫНЫҢ
ҚАПШЫҚТАРЫ МАТЕРИАЛЫНЫҢ – 12Х18Н10Т БОЛАТТЫҢ СЫРҒЫМАЛЫҒЫ**

Диков А.С., Киреев В.В., Горцев А.П., Кислицин С.Б., Нестерова А.Ю.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Пайдаланылған ядролық отынның ұзақ сақталуын имитациялайтын жағдайда БН-350 реакторының пайдаланылған жылу бөлгіш жинақтарының қапшықтары материалының - 12Х18Н10Т құрылымдық болат үлгілерінің сырғымалығына сынаулар жүргізілді. Аққыштық шегінен аз кернеуде сырғу деформациясының уақытқа тәуелділігі сәулелендірілген, сондай-ақ сәулелендірілмеген болат үшін келесі түрлері бар екені анықталды: сырғу жылдамдығы $\sim n \cdot 10^{-5}$ мм/мин сипатталатын бастапқы саты; сырғу жылдамдығы теріс болатын сырғудың ауыспалы кезеңі; сонан соң – бастапқы сатыға қарағанда біршама аз деформация жылдамдығымен сырғудың орныққан сатысы. $\sim 380^\circ\text{C}$ төмен температурада сәулелендірілген болаттың сырғу жылдамдығы сәулелендірілмеген болаттың сырғу жылдамдығынан аспайды. $\geq 400^\circ\text{C}$ температурада сәулелендірілген болаттың сырғу жылдамдығы сәулелендірілмеген болаттың сырғу жылдамдығынан жоғары.

**CREEP OF THE 0.12CR18NI10TI STAINLESS STEEL – MATERIAL
FOR HEXAGONAL DUCTS OF SPENT FUEL ASSEMBLIES FROM THE BN-350 FAST NEUTRON
REACTOR UNDER CONDITIONS SIMULATED LONG TERM DRY SPENT FUEL STORAGE**

A.S. Dikov, V.V. Kireev, A.P. Gortsev, S.B. Kislitsin, A.Yu. Nesterova

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Under conditions simulated long term spent fuel dry storage was carried-out creep tests of the samples of stainless steel 0.12Cr18Ni10Ti - material for hexagonal ducts of spent fuel assemblies from the BN-350 fast neutron nuclear reactor. From fulfilled experiments follow that under stress level underlying of yield stress point the dependence of creep deformation from time both for unirradiated and irradiated steel looks identical: initial stage characterized creep rate $\sim n \cdot 10^{-5}$ mm/min, then follow transition stage on which creep rate has negative value, and last after that follow steady creep stage with creep rate on order of magnitude smaller compare to initial stage. For steel irradiated under temperatures $\sim 380^\circ\text{C}$ not exceeds creep rate of unirradiated steel. Creep rate for steel irradiated at temperatures $\geq 400^\circ\text{C}$ higher than creep rate of unirradiated steel.

УДК 539.17

УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ α -ЧАСТИЦ НА ЯДРЕ ^{12}C ¹Жолдыбаев Т.К., ¹Буртебаев Н.Т., ¹Дуйсебаев А., ²Дьячков В.В., ²Сенько А.О.¹Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан²Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Измерены дифференциальные сечения упругого и неупругого рассеяния α -частиц на ядре ^{12}C с возбуждением уровня 7,65 МэВ при первоначальной энергии $\approx 50,5$ МэВ с целью поиска альфа-частичного конденсата Бозе-Эйнштейна. Определены оптимальные модельные параметры.

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что легкие ядра обладают состояниями кластерного типа. Кластерные состояния стабильных ядер локализованы вблизи или выше пороговой энергии развала с образованием соответствующих кластеров. Это означает, что межкластерная связь в ядрах слаба, иначе они перекроются и потеряют свою индивидуальность. В последнее время появилось несколько теоретических исследований, предсказывающих возможность существования экстремальных альфа-кластерных конфигураций в ядрах, которые могут быть рассмотрены как Бозе-Эйнштейна альфа-частичный конденсат (аВЕС) [1-3]. Будучи обнаруженным, это могло бы указать на существование новой формы ядерной материи.

Как ожидается, соответствующие ядерные состояния могут находиться среди уровней, расположенных вблизи порога полной диссоциации ядра на альфа-частицы. Значительное внимание было обращено на исследования альфа-кластерных состояний в ядре ^{12}C , особенно второго O_2^+ состояния с энергией возбуждения $E_{\text{ex}} = 7,65$ МэВ, что на 0,38 МэВ выше порога развала на 3 α -частицы. В работах [5,6] было показано, что этот уровень имеет хорошо развитую α -кластерную структуру. Еще в 1954 году Хойл показал [7], что он играет важную роль в нуклеосинтезе.

Найти свойства, присущие аВЕС состоянию, которые можно экспериментально обнаружить, является довольно сложной задачей. Можно с уверенностью сказать, что если такие состояния существуют, то они должны иметь разреженную нуклонную плотность. То есть обладать аномально большим радиусом. Прямое измерение радиуса таких коротко-живущих ядерных состояний невозможно из-за их маленьких времен жизни $\tau = 2 \cdot 10^{-16}$ с. Некоторая информация о радиусах таких состояний может быть получена из анализа экспериментальных данных по упругому и неупругому рассеянию. Так, в работах [8,9] были проанализированы дифференциальные сечения рассеяния ^3He и α частиц с возбуждением состояния 7,65 МэВ в ядре ^{12}C при различных энергиях. Было обнаружено увеличение радиуса ядра в этом состоянии.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Измерение дифференциальных сечений упругого и неупругого рассеяния α -частиц при энергии 50,5 МэВ на ядре ^{12}C проводилось на изохронном циклотроне У-150М ИЯФ НЯЦ РК [10,11]. При установке рабочих параметров ускорения частиц особое внимание уделяется режиму работы источника ионов, его скважности, микроструктуре импульса тока, а также качеству проводки пучка на мишень. Оптимизация пространственных и временных характеристик пучка позволила существенно снизить уровень различных помех, неравномерность загрузки электронной аппаратуры.

Рассеянные ядра регистрировались телескопами кремниевых счетчиков, состоящими из тонких поверхностно-барьерных кремниевых детекторов (ΔE) с толщинами от 15 мкм до 50 мкм и толстого детектора полного поглощения (E) толщиной ~ 2 мм. Отделение рассеянных α -частиц от других заряженных продуктов реакций осуществлялось с помощью электронной системы двухмерного (ΔE , E) анализа, реализованной на персональном компьютере с использованием программ ASBOB. Измерение полного числа частиц прошедших через мишень за время экспозиции осуществлялось с помощью цилиндра Фарадея, ток с которого последовательно подавался на интегратор тока фирмы ORTEC. Импульсы, полученные с интегратора, преобразовывались в стандарт TTL одноканальным анализатором и пересчитывались счетчиком.

Углеродная мишень изготавливалась методом ионоплазменного напыления на установке ВУП-2. Использовалась электронная пушка с вольфрамовой спиралью. Электроны вытягивались на образец (углерод) посредством подачи на него высокого напряжения. Под воздействием электронов образец сильно нагревался и испарялся, осаждаясь на стекле на которое была нанесена поваренная соль. После напыления соль растворяли в воде, а плавающая на поверхности воды углеродная пленка вынималась и просушивалась.

Телесный угол спектрометра составлял $4,2 \cdot 10^{-5}$ ср. Энергетическое разрешение при малых углах находилось в пределах 250 - 300 кэВ, при больших - 350 - 400 кэВ и определялось, главным образом, дисперсией пучка по энергии и толщиной мишени.

На рисунке 1 представлены результаты обработки экспериментальных данных в виде дифференциальных сечений упругого и неупругого рассеяния α -частиц на ядре ^{12}C при энергии 50,5 МэВ.

Систематические ошибки сечений обусловлены, главным образом, погрешностями в определении: толщины мишени (5%), калибровки интегратора тока (1%) и телесного угла спектрометра (1,3%). Энергия пучка ускоренных α -частиц измерялась с точностью 1%. Угол регистрации фиксировался с точностью $0,5^\circ$. Полная систематическая ошибка не превышала 7%. Статистическая ошибка не превышала 5%.

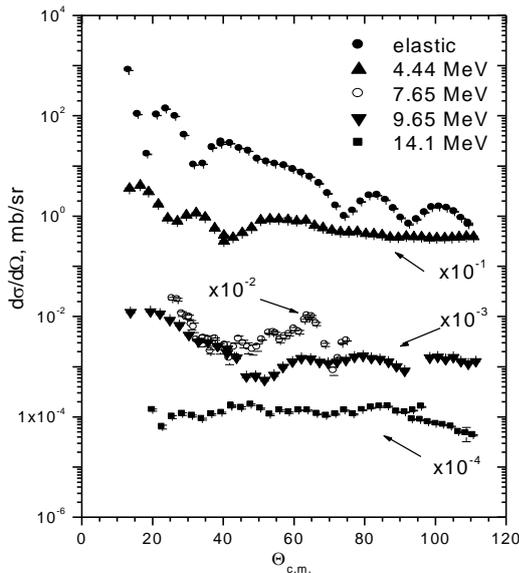


Рисунок 1. Экспериментальные сечения упругого и неупругого рассеяния α -частиц на ядре ^{12}C при энергии 50,5 МэВ

Теория неупругого дифракционного рассеяния нуклонов и других ядерных частиц на сложных ядрах интенсивно развивается на протяжении последних десятилетий. Строгих выражений для амплитуд неупругого взаимодействия α -частиц с ядрами не существует, однако имеются аналитические реализации этого выражения. Наиболее последовательная и непротиворечивая теория неупругого рассеяния дана Инопинами [12-14].

Метод комплексных угловых моментов (МКУМ) позволяет установить границы доминирования механизма фраунгоферовской дифракции α -частиц с длиной де-бройлевской волны, сопоставимой с размерами ядра. Этот механизм отличается одинаково-

вым периодом и амплитудой для всех осцилляций. В рамках этой теории сечения упругого и неупругого, с возбуждением коллективных состояний, рассеяния имеют вид:

$$\sigma_0(\theta) = \frac{8\pi}{k^2} |a|^2 l_0 \frac{b^2 + \cos^2((l_0 + 0,5)\theta + \gamma)}{\sin(\theta) \cdot e^{2\beta\theta}} \quad (1)$$

$$\sigma_i = 2(2I + 1) |a|^2 |C_n(I)|^2 l_0 \theta^2 \times \sin^{-1} \theta \frac{b^2 + \cos^2((l_0 + 0,5)\theta + \gamma + \pi / 2(I + 1))}{e^{2\beta\theta}}$$

где $l_0, \beta, b, |a|, \gamma$ - свободные параметры теории.

Результаты расчетов дифференциальных сечений упругого рассеяния альфа-частиц на ядре ^{12}C выполнены для определения оптимальных свободных параметров в широком диапазоне энергии, геометрических параметров ядра в области фраунгоферовской дифракции. Полученные оптимальные параметры МКУМ приведены в таблице 1. На рисунке 2 приведено описание дифференциальных сечений упругого рассеяния альфа-частиц на ядре ^{12}C при энергии 50,5 МэВ. Поиск оптимальных параметров производился путем минимизации величины χ^2

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sigma_{i,T} - \sigma_{i,E}}{\Delta \sigma_{i,E}} \right]^2 \quad (2)$$

где $(\sigma_i)_T$ и $(\sigma_i)_E$ - рассчитанные и экспериментальные величины дифференциальных сечений для данного угла θ , N - число измеренных точек.

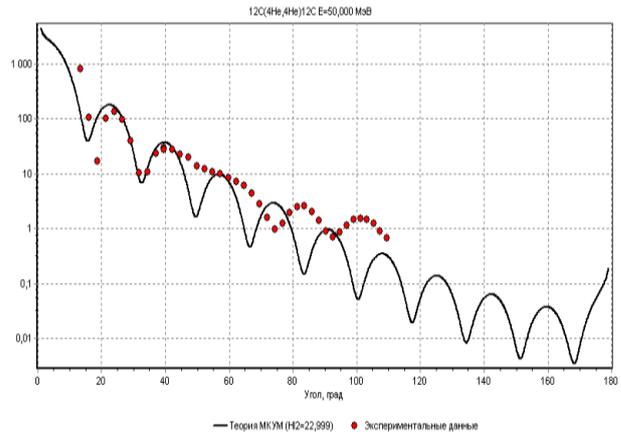


Рисунок 2. Анализ экспериментальные сечений упругого рассеяния α -частиц на ядре ^{12}C при энергии 50,5 МэВ методом комплексных угловых моментов

Таблица 1. Оптимальные параметры МКУМ для рассеянных альфа-частиц на ^{12}C при энергии 50,5 МэВ

Уровень, E, МэВ	E, МэВ	k, 1/фм	n	R _{int} , фм	l ₀	β	b	a	γ	θ _{min} + θ _{max} , град	χ ²
g.s.	50,5	2,332	0,461	4,743	10,1	1,80	0,32	2,41	1,85	25-45	1,1
+2, 443	50,5	2,332	0,461	4,914	10,5	1,0	0,6	0,65	3,1	25-50	1,0
+0, 7,65	50,5	2,332	0,461	6,54	14,3	2,9	0,6	0,6	2,4	25-50	8,0
-3, 9,64	50,5	2,332	0,461	6,201	13,5	4,0	0,6	9,5	204	38-50	1,0
+4, 14,08	50,5	2,332	0,461	4,485	9,5	2,0	1,2	1,3	1,4	38-50	1,0

Таким образом, результаты описания дифференциальных сечений рассеянных альфа-частиц на ядрах углерода в рамках МКУМ показывают зависимость формы угловых распределений от радиуса взаимодействия соответствующего уровня возбуждения.

$$R_{\text{вз}} = \frac{1}{k} \left[n + \sqrt{n^2 + l_0(l_0 + 1)} \right], \quad (3)$$

где n – кулоновский параметр (параметр Зоммерфельда). Путем вычитания радиуса α -астицы и радиуса действия ядерных сил находим радиус собственно ядра

$$R = R_{\text{вз}} - R_{\alpha} - r_{\text{NN}}, \quad (4)$$

где R_{α} – радиус α – частиц, r_{NN} – радиус действия ядерных сил. При $R_{\alpha}=1,6$ фм, $a = 1,0$ фм (4) конкретизируется:

$$R = R_{\text{вз}} - 2,6 \quad (5)$$

В таблице 2 даны значения рассчитанных среднеквадратичных радиус ядра ^{12}C в основном и возбужденных состояниях в сравнении с данными, взятыми из литературных источников.

Таблица 2. Среднеквадратичные радиусы ядра ^{12}C полученные в этой работе и предсказанные различными теоретическими моделями

Уровень, Е, МэВ	[9]	[1]	[6]	[15]	[16]	[17]	данная работа
g.s.	2,34	2,40	2,40	2,50	2,39	2,44	2,14
+2, 4,43	2,36	2,38	2,38	2,70	2,50	2,45	2,31
+0, 7,65	2,89	3,83	3,47	3,3	3,38	4,31	3,94
-3, 9,64	2,88	-	2,78	-	3,02	2,96	3,60

Таким образом, результаты описания дифференциальных сечений рассеянных альфа-частиц на ядрах углерода в рамках МКУМ показывают зависимость формы угловых распределений от радиуса взаимодействия соответствующего уровня возбуждения. Как следствие, из особенности природы уровня 0_2^+ (7.65 МэВ) его радиус взаимодействия оказался выше, чем для основного состояния, что соответствует существующим теоретическим оценкам.

ВЫВОДЫ

1. Получены новые экспериментальные данные о сечениях упругого и неупругого рассеяния ионов ^4He при энергии 50,5 МэВ на ядре ^{12}C .

2. Выполнен анализ экспериментальных результатов по упругому и неупругому рассеянию ионов ^4He при энергии 50,5 на ядре ^{12}C методом комплексных угловых моментов, определены оптимальные по отношению к экспериментальным сечениям параметры модели.

3. В результате проведенного анализа экспериментальных данных было определено, что радиус 0_2^+ состояния с энергией возбуждения 7,65 МэВ ядра ^{12}C увеличен по сравнению с радиусом в основном и других возбужденных состояний, что может указывать на возможность образования альфа-частичного конденсата.

ЛИТЕРАТУРА

- Tohsaki, A. Alpha Cluster Condensation in ^{12}C and ^{16}O / A. Tohsaki, H. Horiuchi, P. Schuck, G. Ropke // Phys. Rev.Lett. – 2001. – 87. – P. 192501-1–192501-4.
- Schuck, P. Alpha-particle condensation in nuclei / P. Schuck, Y. Funaki, H. Horiuchi, G. Ropke, A. Tohsaki, T. Yamada // Nucl. Phys. – 2004. – A738. – P.94-100.
- Funaki, Y. Density-induced suppression of the α -particle condensate in nuclear matter and the structure of α -cluster states in nuclei / Y. Funaki, H. Horiuchi, G. Ropke, P. Schuck, A. Tohsaki, T. Yamada // Phys. Rev. – 2008. – C 77. – P. 064312-1 – 064312-6.
- Cornel, E. A. Nobel Lecture: Bose-Einstein condensation in a dilute gas, the first 70 years and some recent experiments / E. A. Cornel, C. E. Wieman // Rev. Method. Phys. -2002.– Vol.74, N 3.– P. 875-893.
- Uegaki, E. Structure of the excited states in ^{12}C / E. Uegaki, Y. Abe, S. Okabe, H. Tanaka // Prog. Theor. Phys. -1977. – V.57.– P. 1262-1276.
- Kamimura, M. Transition densities between the 0_1^+ , 2_1^+ , 4_1^+ , 0_2^+ , 2_2^+ , 1_1^- and 3_1^- states in ^{12}C derived from the three-alpha resonating-group wave functions / M. Kamimura // Nucl. Phys. – 1981. – A351. – P. 456-480.
- Hoyle, F. Synthesis of elements from carbon to nickel / F. Hoyle // Astrophys.J. Suppl. – 1954. – V.1. – P. 121-127.
- Ohkubo, S. Bose-Einstein Condensation of α Particles and Airy Structure in Nuclear Rainbow Scattering / S. Ohkubo, Y. Hirabayashi // Phys. Rev. -2004.- Vol.C 70, N 4.- P. 041602(R); Ohkubo, S. Evidence for strong refraction of ^3He in an α -particle condensate / S. Ohkubo, Y. Hirabayashi // Phys. Rev. -2007.-Vol.C 75, N.4.- P. 044609-044613.
- Danilov, A.N. Determination of nuclear radii for unstable states in ^{12}C with diffraction inelastic scattering / A.N. Danilov, T.L. Belyaeva, A.S. Demyanova, S.A. Goncharov, A.A. Ogloblin // Phys. Rev. –2009. – C80. – P. 054603-1–054603-9.
- Арзуманов, А.А. / А.А. Арзуманов [и др.] // Изв. АН КазССР., сер. физ.- мат. – 1973. – №4. – С. 6 - 15.
- Дуйсебаев, А.Д. Камера рассеяния для исследования продуктов ядерных реакций на пучке циклотрона / А.Д. Дуйсебаев [и др.] // Изв. АН КазССР. сер. физ.-мат. – 1983. – №2. – С. 80 – 81
- Инопин, Е.В. Дифракционное рассеяние и полюсы Редже / Е. В. Инопин // ЖЭТФ. – 1965. – 48. – С. 1620-1624.

13. Инопин, Е. В. К теории дифракционного рассеяния частиц сложными ядрами / Е. В. Инопин, А. А. Креснин // ЖЭТФ. – 1965. – 49. – С. 1796-1801.
14. Инопин, Е.В. Неупругое дифракционное рассеяние на основе метода комплексных угловых моментов / Е. В. Инопин, Б.И. Тищенко, А.В. Шебеко // ЖЭТФ. – 1965. – 49. – С. 1824-1830.
15. Kanada-En'yo Y. The negative parity states of ^{11}B and ^{11}C were studied based on the calculations of antisymmetrized molecular dynamics (AMD) / Y. Kanada-En'yo // Phys.Rev. – 2007. – C75. – P. 024302-1 – 024302-7.
16. Chernyh, M. Structure of the Hoyle State in ^{12}C / M. Chernyh, H. Feldmeier, T. Neff, P. von Neumann-Cosel, A. Richter // Phys.Rev.Lett. – 200798. – P. 032501-1– 032501-4.
17. Yamada, T. Dilute multi- α cluster states in nuclei / T. Yamada, P. Schuck // Phys. Rev. – 2004. – C69. – P. 024309-1 – 024309-14.

**^{12}C ЯДРОСЫНДА α -БӨЛШЕКТЕРДІҢ СЕРПІМДІ
ЖӘНЕ СЕРПІМСІЗ ШАШЫРАУЫ**

¹Жолдыбаев Т.К., ¹Бөртебаев Н.Т., ¹Дүйсебаев А., ²Дьячков В.В., ²Сенько А.О.

¹ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Бозе-Эйнштейн альфа-бөлшек конденсатын іздеу мақсатында, бастапқы энергия $^4\text{He} = 50,5$ МэВ болғанда ($E^* = 7,65$ МэВ) ^{12}C ядросындағы α -бөлшектердің серпімді және серпімсіз шашырау дифференциялық қималары өлшенді. Оңтайлы модельдік параметрлер анықталды.

THE ELASTIC AND INELASTIC SCATTERING OF α -PARTICLES ON NUCLEUS ^{12}C

¹T.K. Zholdybayev, ¹N.T. Burtbaev, ¹A. Duisebaev, ²V.V. Dyachkov, ²A.O. Senko

¹Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

The differential cross sections for elastic and inelastic scattering of α -particles on nucleus ^{12}C with excitation condition ^{12}C ($E = 7.65$ MeV) at energies of $^4\text{He} = 50,5$ MeV for searching alpha-particle Bose-Einstein condensate have been measured. The optimum parameters have been determined.

УДК 539.183.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ ВЫХОДА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ С АТОМАМИ МИШЕНЕЙ

Горлачев И.Д., Иванов И.А., Дегтярев В.В., Лысухин С.Н., Пеньков Ф.М.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Статья посвящена описанию методики элементного анализа тяжелоионной PIXE на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60. Приводятся результаты основных характеристик (сечений выхода, энергетическое смещение, энергетическая ширина на полувысоте) K и L линий рентгеновского излучения, возникающего при взаимодействии ускоренных тяжелых ионов N , Ar и Kr с энергией 1 МэВ и 1.4 МэВ на нуклон с атомами мишеней. В экспериментах в качестве мишеней использовались чистые пленки Cr , Ti , Cu , In , Ge , Zr , Nb , Mo , Ag , Sn , W , Ta , Pb толщиной до 120 мкг/см^2 , напыленных методом ионно-плазменного осаждения на проводящую кремниевую подложку. Ускоренные пучки были получены на циклотроне ДЦ-60 в Астане.

ВВЕДЕНИЕ

История наблюдения рентгеновской эмиссии (РЭ) атомов, возбужденных заряженными частицами началась с начала двадцатого века в опытах по бомбардировке атомов α -частицами с характерными энергиями α -распадов 5–6 МэВ. Уже тогда было высказано предположение о возможном использовании ускоренных заряженных частиц с энергией 1–2 МэВ/нуклон для анализа химического состава образцов по характерным спектрам рентгеновской эмиссии, которая сопровождает процессы соударения частиц с исследуемой мишенью. Позже были промерены и идентифицированы РЭ-спектры всех элементов таблицы возбуждения, на основании которых был сформулирован метод анализа химического состава PIXE (particle induced X-ray emission) (например [1]). При этом в качестве бомбардирующих частиц обычно использовались протоны или α -частицы. Поскольку же РЭ происходит из-за выбивания электронов с нижних оболочек атомов, то частицы с большим зарядом имеют большее сечение ионизации при равных скоростях налетающих ионов, и их выгоднее использовать.

Самые простые условия ионизации атомов налетающей частицей с зарядом Z возникают, когда скорость налетающей частицы много больше скоростей движения электронов в атоме. В этом случае применимо борновское приближение для амплитуды ионизации, первый порядок которого дает зависимость сечения ионизации от заряда $\sigma_{\text{ион}} \sim Z^2$. То есть сечение ионизации атома ионом с зарядом ядра Z будет в Z^2 раз больше сечения ионизации протоном при одинаковых скоростях движения. Так криптон с зарядом 36 будет давать атомных ионов и, следовательно, рентгеновских квантов на три порядка больше чем протон. Такой прямой механизм ионизации обычно называют кулоновским. Однако условия прямой кулоновской ионизации совсем не подходят для целей анализа химического состава, так как ионы, для которых выполняется условия борновского приближения, имеют энергию, при которой открыты каналы ядерных реакций.

При понижении скорости налетающего иона сечение кулоновской ионизации уже не является пропорциональным Z^2 и значительно падает из-за энергетической зависимости что, казалось бы, делает тяжелоионную PIXE малоприменимой для целей анализа. Однако опыт показывает, что при относительно невысоких энергиях сечения ионизации атомов тяжелыми ионами могут на 4–6 порядков превосходить сечения ионизации протонами [1–3]. Как известно молекулярные механизмы ионизации атомов предполагают не только сильную ионизацию падающих ионов из-за удаления электронов в верхних оболочках, но и обязательное присутствие вакансий на L -оболочках для K -переходов и M -оболочках для L -переходов. Наличие таких вакансий приводит к наблюдаемым сдвигам линий РЭ у падающих ионов. При этом сдвиги могут быть и положительные и отрицательные в зависимости от того, на что больше влияют вакансии. Если вакансии понижают энергию K -оболочки больше чем L , сдвиги положительные, иначе – отрицательные [3]. Величины этих сдвигов зависят от распределения вакансий и величины заряда ядра падающих ионов. При этом максимальный расчетный сдвиг превышает 100 эВ уже для ионов с Z больше 20 [3]. Существует и второй эффект, приводящий к эффективному сдвигу линий, связанный с появлением множества сателлитных линий из-за снятия вырождения в L - и M -оболочках при большом количестве вакансий. Эти вакансии уширяют спектры линий и могут сдвинуть «центр тяжести» наблюдаемой линии.

Выбор ионов для ускорения определялся простотой использования газовой среды для источника ионов, а выбор элементов мишеней определялся необходимостью охвата исследований большей области таблицы Менделеева с одной стороны и проверкой уже описанных эффектов и механизмов ионизации атомов мишеней, с другой. Кроме того, как показывают наши оценки, проведенные по формулам работы [4] равновесная степень ионизации падающих ионов велика и мы можем наблюдать механизмы селективной молекулярной ионизации,

отмеченные в работе [5]. Целью исследований было получение первичных данных для заключения о возможности и условиях постановки метода анализа химических элементов тяжелоионной PIXE.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Мишенная камера

Регистрация вторичного рентгеновского излучения осуществлялась в мишенной камере NEC RC43. Для регистрации рентгеновских квантов в камере предусмотрен Si(Li) детектор с площадью кристалла 30 мм² толщиной ~ 4 мм и мертвым слоем 0.2 мкм. Паспортное разрешение детектора составляет ~145 эВ на энергии 5.9 кэВ (K_α Mn). Для вакуумного разделения системы регистрации и мишенной камеры перед кристаллом детектора располагается защитное органическое окно толщиной ~200 нм. Также в комплекте камеры рассеяния предоставляется сменщик рентгеновских фильтров, предусилитель, спектрометрический усилитель и аналого-цифровой преобразователь. Набор спектрометрической информации осуществлялся с использованием программного обеспечения MAESTRO.

В экспериментах перед детектором располагались Al или Be фольга толщиной 0.5 мм для уменьшения вклада в регистрируемый спектр низкоэнергетичного фонового излучения. Перед мишенью располагалась магнитная система подавления вторичных обеспечивающая магнитное поле на поверхности образца порядка 500 Гс.

Мишени

Измерение сечений проводилось на пленках чистых элементов, напыленных методом ионно-плазменного осаждения на проводящую кремниевую подложку. Выбор типа подложки определяется несколькими факторами: 1. Необходимостью снятия заряда с облучаемого образца; 2. Большими тепловыми нагрузками на образец – используемый кремний имеет хорошую теплопроводность; 3. Подложка должна давать минимальный вклад в регистрируемый рентгеновский спектр. Используемые в измерениях фильтры позволяют практически полностью подавить линию кремния (1.74 кэВ).

Всего было использовано 13 мишеней (Ti, Cr, Cu, In, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Ta, W, Pb) с толщинами от 16 до 120 мкг/см². Для анализа толщин напыленных пленок использовался метод Резерфордского обратного рассеяния на протонах с энергией 1 МэВ, развитый в ИЯФ(г. Алматы) на ускорителе УКП-2-1.

Отношение потерь энергии к энергии первичного пучка ΔE/E для всех типов ионов и мишеней лежат в диапазоне от 0.5 % до 2.6 %. Это дает право считать, что используемые в экспериментах образцы являются тонкими и, таким образом, не учитывать изменение сечений, связанных с потерей энергии ионов в пленках.

Эффективность регистрации рентгеновского излучения

Для расчета эффективностей использовались калибровочные источники ²⁴¹Am и ⁵⁵Fe. По измеренным и обработанным спектрам были получены зависимости эффективности регистрации рентгеновского излучения от энергии излучения. Полученные зависимости эффективностей регистрации от энергии рентгеновского излучения для Be и Al фильтров представлены на рисунках 1 и 2.

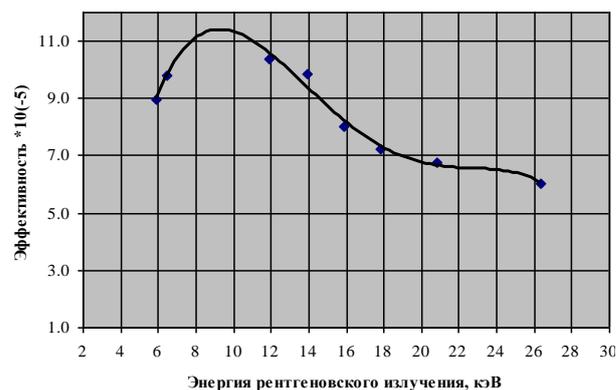


Рисунок 1. Эффективность регистрации рентгеновского излучения Si(Li) детектором с Be фильтром толщиной 0.5 мм

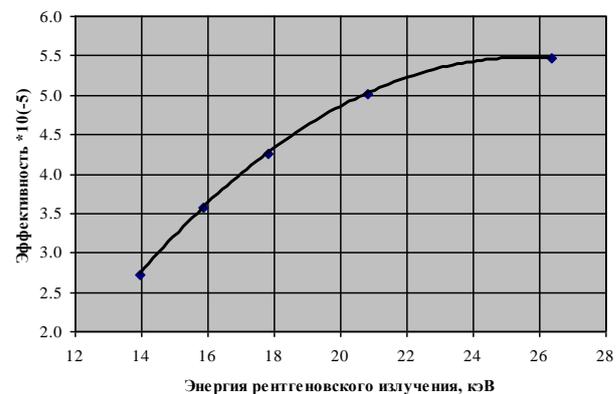


Рисунок 2. Эффективность регистрации рентгеновского излучения Si(Li) детектором с Al фильтром толщиной 0.5 мм

СЕЧЕНИЯ ВЫХОДА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для расчета сечений выхода флуоресценции использовалось следующее выражение:

$$\sigma = \frac{N_x M \cos(\theta)}{t \varepsilon N_p N_0},$$

где N_x – число зарегистрированных рентгеновских квантов; M (г/моль) – атомная масса мишени θ – угол между направлением движения пучка и нормалью к мишени; t – толщина мишени (г/см²); ε – эффективность регистрации рентгеновского излучения; N_p – число заряженных частиц, упавших на

образец за время набора рентгеновского спектра; N_0 (моль⁻¹) – число Авогадро.

Основными источниками погрешностей в экспериментах были: погрешность определения эффективности регистрации, погрешность измерения интеграла тока, погрешность измерения толщины напыленных пленок, погрешность определения числа зарегистрированных рентгеновских квантов. Суммарная погрешность определялась как квадратный корень из суммы квадратов отдельных погрешностей. Погрешность сечения для всех

На рисунке 3 в графическом виде показаны зависимости сечений выхода K_{α} флуоресценции от атомного номера мишени для разных налетающих частиц и энергий.

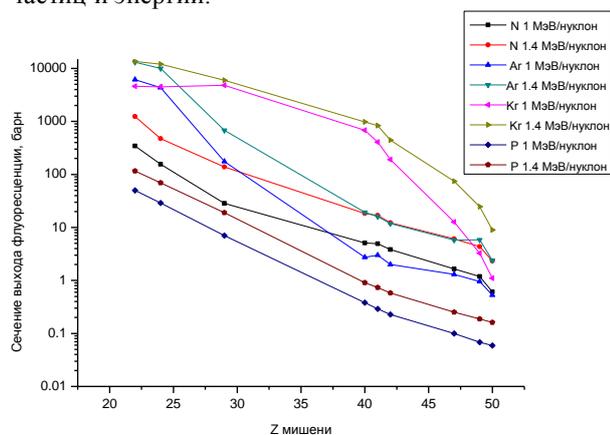


Рисунок 3. Зависимости сечений выхода K_{α} -флуоресценции от атомного номера мишени для разных налетающих частиц и энергий. Значения выходов флуоресценции на протонах приведены в ссылках [7–8]

Очень немного опубликовано статей, в которых описано систематическое изучение сечений выхода флуоресценции. При этом, большинство авторов использовали в своих исследованиях ускоренные ионы с энергией больше 2.5 МэВ/нуклон. Это затрудняет сравнение полученных нами данных с данными других лабораторий. На рисунке 4 представлены полученные нами результаты для ускоренных пучков Kr с энергиями 1 МэВ/нуклон и 1.4 МэВ/нуклон и данные,

представленные в работе [6] для этих же типов частиц в диапазоне энергий 2.5 - 25 МэВ/нуклон. Рисунок 4 демонстрирует схожесть тенденций кривых, описывающих зависимость сечения выхода флуоресценции от атомного номера мишени, полученных в разных лабораториях.

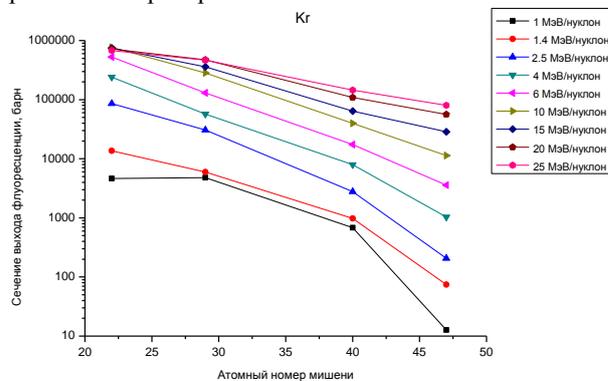


Рисунок 4. Сечения выхода K_{α} флуоресценции для пучка Kr разной энергии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительные результаты экспериментов по выходу флуоресценции из атомов мишени при бомбардировке их пучками ионов азота, аргона и криптона с энергиями в 1 и 1.4 МэВ/нуклон показывают ожидаемо высокие сечения выходов флуоресценции, демонстрируют селективное возбуждение и могут служить основанием для постановки методик определения элементного состава типа НИРХЕ. Неожиданным оказались проявление эффектов многозарядной ионизации, свойственное механизмам прямой кулоновской ионизации при значительно больших энергиях. Это приводит к сдвигам и уширениям флуоресцентных линий, а так же, по видимому, и к высоким фоновым излучениям, мешающим аккуратной обработке этих линий. Последние эффекты, не отраженные в литературе, значительно снижают возможности тяжелоионной РИХЕ, оставляя лишь отмеченные выше методики, основанные на селективных механизмах ионизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morita, S. Inner-shell ionization by heavy charged particles / S. Morita, M. Kamiya // Chinese Journal of Physics. – 1977. – Vol. 15. – P. 199–221.
2. Немец, О.Ф. Справочник по ядерной физике / О.Ф. Немец, Ю.В. Гофман. – Киев: Наук. думка, 1975. – 416 с.
3. Щорнак, Г. Ионизационные эффекты во внутренних электронных оболочках ионизованных атомов. / Г. Щорнак // ЭЧАЯ. – 1984. – Т. 14, вып. 4. – С. 835–899.
4. Скобелев, Н.К. Ионизация тяжелых ионов и (атомов) продуктов ядерных реакций в различных средах. / Н.К. Скобелев // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 1989. – Т. 20, вып. 6. – С. 1439–1478.
5. Kubo, H. Target Z Dependence of Projectile K_{α} X-Ray Production Cross Sections in High-Energy, Heavy-Ion-Atom Collisions. / H. Kubo [et al] // Physical Review. – 1973. – Lett. 31. – P.674-677.
6. Peng, Y. Systematics of cross sections for target K-vacancy production in heavy ion collisions : Doctor of Philosophy Dissertation : chemistry: guard 07.24.06 / Young Peng. – Texas, 2006. – 197 p.
7. Методы анализа на пучках заряженных частиц / А.А. Ключников [и др.]. – Киев: Наук. думка, 1987. – 149с.
8. Bissinger, G.A. Yields of K and L X Rays Arising from 2-30-MeV-Proton Bombardment of Ag / G.A. Bissinger, Shafroth, A.W. Waltner // Phys. Rev. – 1972. – A 5, P. 2046-2052.

**НЫСАНАЛАРДЫҢ АТОМДАРЫМЕН АУЫР ИОНДАРЫНЫҢ ӘРЕКЕТТЕСУІ КЕЗІНДЕГІ
СИПАТТАМАЛЫҚ РЕНТГЕН СӘУЛЕСІНІҢ ШЫҒУ ҚИМАСЫН ЗЕРТТЕУ**

Горлачев И.Д., Иванов И.А., Дегтярев В.В., Лысухин С.Н., Пеньков Ф.М.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Мақала ДЦ-60 ауыр иондар үдеткішінде ауыр иондық PIXE-ге элементтік талдау жасау әдістемесін сипаттамауға арналған. Нысаналардың атомдарымен нуклонға 1 Мэв және 1.4 Мэв энергиясымен үдетілген N, Ar және Kr ауыр иондарының әрекеттесу кезінде пайда болатын рентген сәулесінің K және L сызықтарының негізгі сипаттамаларының (шығудың қималары, энергетикалық жылжу, жартылай биіктіктегі энергетикалық ендік) нәтижелері берілген. Тәжірибелерде нысаналар ретінде қалыңдығы 120 мкг/см² дейінгі Cr, Ti, Cu, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, W, Ta, Pb таза қабыршақтары қолданылды. Үдетілген шоқтар Астанадағы ДЦ-60 циклотронында алынды.

**X-RAY CROSS-SECTION PRODUCTION RESEARCH
AT INTERACTION BETWEEN HEAVY IONS AND TARGET ATOMS**

I. Gorlachev, I. Ivanov, S. Lysukhin, F. Penkov

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

The paper describes the techniques of elemental analysis of heavy-ion PIXE at the heavy ion accelerator DC-60. The results are presented for the basic characteristics (output cross sections, energy shift, the energy width at half maximum) of K and L lines in X-ray emission produced by the interaction of accelerated N, Ar and Kr heavy ions with the target atoms at the energy 1 MeV and 1.4 MeV per nucleon. In the experiments, the targets were clear films of Cr, Ti, Cu, In, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, W, Ta, Pb with the thickness up to 120 mkg/cm² deposited onto a conductive silicon substrate by ion-plasma deposition. Accelerated beams were obtained at the cyclotron DC-60 in Astana.

УДК 53.043

МОЛЕКУЛЯРНАЯ РЕЗОНАНСНАЯ ДИФФУЗИЯ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

Красовицкий П.М.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Исследования молекулярной резонансной диффузии в твердом теле тесно связано с новейшими направлениями развития науки – исследованиями в области нанотехнологий и наноматериалов. Прямой расчет резонансной диффузии является сложной задачей, требующей значительных машинных ресурсов. В настоящей работе получены предварительные оценки для температурного диапазона и параметров потенциалов твердого тела, в котором возможно превышение молекулярной резонансной диффузии над одноатомной.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования поведения систем из трех и более частиц дают науке много новых и интересных эффектов. Эти эффекты обычно невозможны в задаче двух тел. В качестве примера можно назвать широко известные эффект Ефимова, теорема Томсона, и т.д.

В 1994 году японские ученые впервые предложили еще один эффект подобного рода [1]. Позднее он был изучен во многих работах [2-5], и был назван «эффектом резонансной прозрачности». Расчеты показывают, что пара одинаковых частиц может проходить одномерный барьер резонансным образом, вероятность прохождения при определенной энергии может достигать единицы. В основе эффекта лежит следующее объяснение: пара связанных частиц может образовывать вблизи барьера квазисвязанные состояния. При совпадении энергии пары частиц с энергией такого состояния и наблюдается прозрачность барьера.

Широкий ряд работ, изучающих резонансную прозрачность [1-5], показывает, что исследования в этой области имеют большое значение и широкое применение. Одной из возможных областей является диффузия в твердом теле. Начало этой работы было дано ранее [6]. Из параметров задачи ясно, что резонансы для двухатомных молекул имеют чрезвычайно малую ширину, что, впрочем, компенсируется большим их количеством. Поэтому эффект резонансной прозрачности невозможно наблюдать напрямую – ширина резонансов гораздо меньше естественного теплового уширения для значений энергии. Однако, указанный эффект может давать вклад в интегральные величины, например, диффузию.

Прямой расчет молекулярной резонансной диффузии, даже для простой модели, требует значительных машинных ресурсов. При этом результат заранее предсказать невозможно. В данной работе представлена простая модель молекулярной диффузии, позволяющая сделать предварительные оценки.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ. МОДЕЛЬ РЕЗОНАНСНОЙ ДИФФУЗИИ

Эффект резонансной прозрачности описывается в рамках следующего формализма, более подробно описанном в [2]. В результате решения задачи рассеяния на двумерном барьере мы получаем набор

коэффициентов прохождения и отражения W_{nj}, D_{nj} соответственно, где индексы определяют номера начальных и конечных каналов рассеиваемых на барьере волн.

Классические модели диффузии в твердом теле предполагают абсолютную непрозрачность внутрикристаллических барьеров при энергии частицы E , меньшей высоты барьера E_{\max} . То есть вероятность прохождения барьера P для одной частицы пропорциональна единичной функции:

$$P(E) = \begin{cases} 0: E < E_{\max} \\ 1: E > E_{\max} \end{cases}$$

При этом диффузию как функцию энергии можно записать в виде: $D = D_0 P(E)$, где D_0 имеет масштаб газовой диффузии [7]. После термодинамического усреднения получаем известную формулу эмпирической зависимости диффузии от температуры:

$$D_{\text{term}} = \int_0^{\infty} D_0 P(E) e^{-E/T} \frac{dE}{T} \cong D_0 e^{-E_{\max}/T}.$$

В квантовом случае вероятность $P(E)$ нужно заменить на полную вероятность прохождения через барьер: $W_{\text{tot}} = \sum_{j < N} W_{jn}$. Соответственно:

$$D_{\text{term}} = \int_0^{\infty} D_0 W_{\text{tot}} e^{-E/T} \frac{dE}{T} \cong D_0 F(T).$$

Температура T берется в единицах энергии. Пример расчета функции $F(T)$ приведен в [6]. Дальнейшие расчеты при данных параметрах показали, что превышения молекулярной резонансной диффузии над одночастичной не наблюдается.

Расчеты, пример которых упомянут выше, чрезвычайно сложны и продолжительны. В [6] использовались параметры потенциалов твердого тела «по возможности», то есть такие, с которыми еще могла работать программа, написанная для машины с восьмиразрядным процессором. При этом некоторая часть резонансов уже и здесь не могла быть рассчитана точно, и для учета их вкладов использовалась полуэмпирическая модель экстраполяции от точно просчитанных резонансов. Параметры потенциалов реальных твердых тел задают еще более сложную

перспективу для расчетов. Имеет смысл для предварительной оценки целесообразности таких расчетов в использовании неких приближений, которые, конечно, огрубляют искомый результат, но, вместе с тем, могут дать хотя бы предварительную картину.

Уравнение (2) соответствует двумерной задаче рассеяния на потенциальном барьере сложной формы с двумя квазистационарными состояниями. Для получения предварительных результатов заменим эту задачу на более простую: одномерное рассеяние на двух прямоугольных барьерах. Основными параметрами будут ширины и высоты барьеров, для масштабирования будут применяться преобразования, аналогичные (1). Коэффициент C выбран, по аналогии с [6], как для двухатомной молекулы бериллия.

В качестве одного из учитываемых параметров используется также глубина ямы между двумя барьерами. Этот параметр необходимо учитывать, так как в некоторых случаях, например, когда рассматривается рассеяние на двумерном барьере из двух гауссовых потенциалов, резонансное прохождение при низких энергиях отсутствует. В работе исследуется зависимость для задачи, когда потенциал связи частиц выбран осцилляторный, а барьерный потенциал – гауссовой формы. Для этого случая минимальная энергия, при которой возможно резонансное прохождение, определяется как сумма:

$$E_{\min} = U(x_0, y_0) + \hbar \sqrt{\frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} U(x_0, y_0)} + \hbar \sqrt{\frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} U(x_0, y_0)}, \quad (3)$$

где $U = V + V_{\text{int}}$ – суммарный потенциал. Точка (x_0, y_0) является решением системы уравнений на поиск минимума потенциальной энергии

$$\frac{\partial U}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial y} = 0.$$

Формула (3) формируется следующим образом: первое слагаемое – значение потенциала в точке минимума, в двух других выражения под корнем – «частота» двух перпендикулярных осцилляторных потенциалов, которыми можно аппроксимировать поведение суммарного потенциала в точке минимума. В целом два последних слагаемых – выражение для минимальной энергии осциллятора $\hbar\omega$. Этот параметр является достаточно важным – он определяет, кроме вышеуказанного, в спорных случаях возможность резонансной диффузии в целом. Резонансная диффузия возможна, если только (3) меньше высоты барьера.

РАСЧЕТ В ВЫБРАННОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

При преобразовании из (1) в (2) потенциалы преобразуются следующим образом. Коэффициент преобразования C выбирается, чтобы преобразовать потенциал V_{int} в наиболее простой вид, например, x^2 .

Предполагая, данный случай за образец, получаем коэффициент преобразования, как было сказано выше, в виде $C = \sqrt{m\omega/2\hbar}$. Можно заметить, что этот параметр имеет размерность длины, то есть, он может быть переписан в виде $C = x_{\text{osc}}$, где

$$x_{\text{osc}} = \sqrt{\frac{2\hbar}{m\omega}}.$$

В случае, если, как и в [6], рассматривается молекула бериллия, этот параметр равен 0.16 Å. Потенциал \tilde{V} в (2) будет иметь вид

$$\tilde{V}(t) = \frac{V\left(\frac{x_{\text{osc}}t}{2}\right)}{\hbar\omega/2}, \quad t = y \pm x,$$

параметр $\hbar\omega$ в данном случае равен 400 К [6]. В (1) множитель $2/\hbar\omega$ также появится перед энергией, и в (2) энергия уже будет выражаться в этих единицах.

Задача прохождения атома через тот же барьер, то есть одной частицы с массой m , описывается с помощью уравнения Шредингера

$$\left(\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + V(x_1)\right) \Psi(x_1) = E_1 \Psi(x_1).$$

Для корректного сравнения это уравнение преобразуется таким образом, чтобы перед энергией снова появился тот же множитель $2/\hbar\omega$. Очевидно, это возможно, если использовать преобразование

$$x_1 = \frac{C}{\sqrt{2}} x = \frac{x_{\text{osc}}}{\sqrt{2}} x.$$

Потенциал, таким образом, будет иметь преобразованный вид:

$$\tilde{V}_{1part} = \frac{V\left(\frac{x_{\text{osc}}}{\sqrt{2}} x\right)}{\hbar\omega/2}.$$

Потенциал для одной частицы, таким образом «тоньше» на $\sqrt{2}$, чем потенциал в (2) для двухчастичной задачи.

ЧИСЛЕННАЯ СХЕМА И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Для расчетов использовалась аналитическая формула для вероятности прохождения через два одинаковых прямоугольных барьера $W_2(E, a, U_0, L)$, и аналитическая формула вероятности прохождения одного барьера $W_1(E, U_0, a/\sqrt{2})$, как функции от энергии.

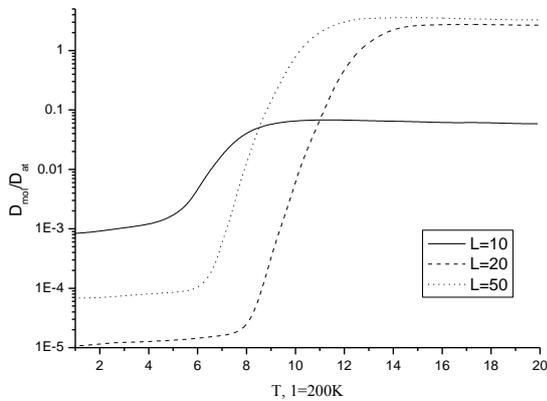
Параметрами были ширина барьера a , высота U_0 и расстояние между барьерами L . Обе функции интегрировались вместе с весовой функцией $\exp(-E/T)/T$. Интегрирование производилось численно с помощью программы, составленной в программной среде Fortran.

На рисунке 1а представлены результаты расчетов для различных значений параметра L .

Из рисунка видно, что существует некоторое критическое значение, находящееся между 10 и 20 единицами, выше которого можно наблюдать молекулярную резонансную диффузию, сравнимую по величине с атомарной. При значениях выше этого значения поведение кривой меняется не столь существенно.

Из наших оценок можно сделать вывод, что значение этого линейного параметра определяется как $(10 \div 20) \cdot 0.16 \text{ \AA} \sim 2 \text{ \AA}$

Этот параметр соответствует, правда, достаточно косвенно, линейному размеру ямы между барьерами в двумерном случае. Можно установить, что молекулярная резонансная диффузия будет наблюдаться не при любых параметрах, достаточных для образования метастабильных состояний. Как и в изучаемом одномерном случае, если размеры меньше некоего значения, образованных состояний получается



а – различных L и $a=1$

Рисунок 1. Отношение молекулярной и атомарной диффузии при параметрах $U=100$

На рисунке 2 представлены расчеты, демонстрирующие влияние «дна» между двумя барьерами. Выбран пример гауссового потенциала.

Из рисунка видно, что отсутствие низкоэнергетических резонансов не влияет существенно на общую картину – существенно меняется только начало кривой, далекое от положения максимума.

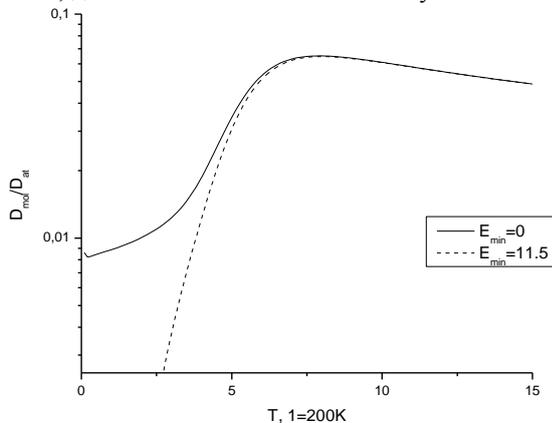
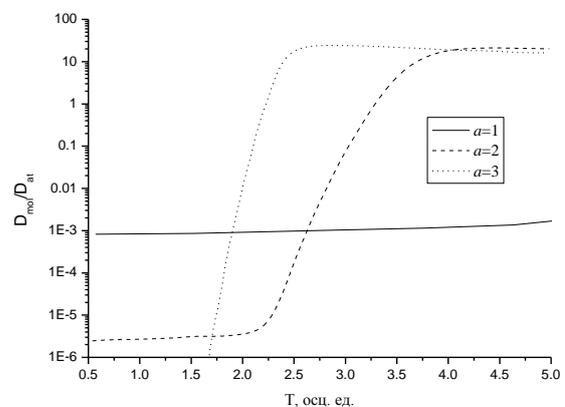


Рисунок 2. Учет влияния минимального значения возможного резонансного прохождения. Расчеты при параметрах $L=10$, $U=50$ и $a=1$

слишком мало, чтобы обеспечить преобладание резонансной диффузии.

На рисунке 1б представлены результаты расчетов при различных значениях a .

Видно, что даже при недостаточно большом параметре L молекулярная резонансная диффузия в значительной мере определяется шириной барьера. Рост ширины барьеров вызывает смещение максимума в более низкие температуры. Существует некое критическое значение ширины барьера, между 1 и 2 в наших единицах, выше которого молекулярная резонансная диффузия начинает играть значительную роль. Это значение при высоте барьера 20000К равно приблизительно 0.2 \AA . Аналогичные расчеты были проведены также с различной высотой барьера. Как и следовало ожидать, значение максимума также растет с ростом высоты.



б – $L=10$ и различных a

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанных вычислений можно сделать следующие выводы о характере молекулярной резонансной диффузии в твердом теле:

- Существенное значение имеет размер свободной области между двумя барьерами, а именно – линейный параметр должен быть выше некоторого значения. Для нашего случая это примерно 2 \AA ;
 - Определяющее значение имеет ширина барьеров. В районе величины 2 \AA при высоте барьера в 20000 К молекулярная резонансная диффузия превышает атомарную;
 - Для реальных потенциалов значение минимального уровня, при котором возможно резонансное прохождение, не влияет существенно на характер молекулярной диффузии в районе максимума.
- Возможно продолжение расчетов для более реальных моделей и с другими параметрами потенциалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Saito, N. Resonant tunnelling of a composite particle through a single potential barrier / N. Saito, Y. Kayanuma // J. Phys.: Condens. Matter. – 1994. – Vol. 6, № 20. – P. 3759-3766.
2. Pen'kov, F. M. Metastable states of a coupled pair on a repulsive barrier / F. M. Pen'kov // Phys. Rev. A. – 2000. – Vol. 62. – P. 044701-1,4; Пеньков Ф.М. Квантовая прозрачность барьеров для структурных частиц / Ф.М. Пеньков // ЖЭТФ. – 2000. – Т. 118. – С. 806-815.
3. Goodvin, G. L. Tunneling of a diatomic molecule incident upon a potential barrier / G. L. Goodvin, M.R.A. Shegelski // Phys. Rev. A. – 2005. – V. 71. – P. 032719-1,10;
4. Pijper, E. Quantum surface diffusion of vibrationally excited molecular dimers / E. Pijper and A. Fasolino // The Journal of Chemical Physics. – 2007. – V. 126. – P. 014708-1,10.
5. Tunneling of a diatomic molecule with unbound states in one dimension / Mark R.A. Shegelski [et al] // Rhys. Rew A. – 2008. – V. 77. P. 032702-1,12.
6. Красовицкий, П.М. Резонансное прохождение барьера связанной парой фермионов / П.М. Красовицкий, Ф.М. Пеньков // Материалы 5-й международной конференции «Ядерная и радиационная физика», 25-29 сентября 2005. II том. Радиационная физика твердого тела и проблемы материаловедения. – Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 2006. – С. 468.
7. Френкель, Я. И. Собрание избранных трудов / Т. III: Кинетическая теория жидкостей/ Я. И. Френкель. – Москва-Ленинград: Издательство АН СССР, 1959. – 460 с.

ҚАТТЫ ДЕНЕДЕГІ МОЛЕКУЛАЛЫҚ РЕЗОНАНСТЫҚ ДИФФУЗИЯ

Красовицкий П.М.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Қатты денедегі молекулалық резонанстық диффузияны зерттеу ғылым дамуының жаңа бағыттарымен – нанотехнологиялар және наноматериалдар салаларындағы зерттеулермен тығыз байланысты. Резонанстық диффузияны тікелей есептеу едәуір машиналық қорларды талап ететін күрделі мәселе болып табылады. Осы жұмыста қатты дененің температуралық ауқымы мен потенциалдарының параметрлері үшін алдын ала бағалау алынды, онда молекулалық резонанстық диффузияның бір атомдық диффузиядан артуы мүмкін.

THE MOLECULAR RESONANCE DIFFUSION IN SOLID STATE

P.M. Krassovitskiy

The institute of nuclear physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

The investigation of molecular resonance diffusion is very close to new directions of science – nanotechnology and nanomaterials. The direct calculation of it is very difficult problem, which needs significant computing resources. In this work the preliminary estimation for temperature range and parameters of solid state potential has been obtained. This estimation depends possibility of molecular resonance diffusion excess under one-atomic diffusion.

УДК: 539.21:539.12.04:669.3

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МИКРОСТРУКТУРА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ ХНС-2, ОБЛУЧЕННОЙ В РЕАКТОРЕ БН-350

Мережко М.С., Максимкин О.П., Турубарова Л.Г.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Разработана новая методика по определению механических характеристик облученных материалов из результатов вдавливания сферического микро-индентора. С её использованием получены инженерные и «истинные» кривые деформационного упрочнения, аналогичные кривым, получаемым из экспериментов на растяжение, а также, значения равномерной деформации, пределов текучести и прочности, работы до предела прочности. Проведен анализ результатов. Проанализирована микроструктура различных зон сварного соединения и распределение микротвердости по длине образца.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность длительного (50 лет) хранения отработанного ядерного горючего атомных реакторов напрямую зависит от коррозионной стойкости сварных соединений и способности сохранения на должном уровне механических характеристик материалов оболочек и стенок чехлов тепловыделяющих сборок (ТВС).

Сварное соединение представляет собой ряд участков с уникальной микроструктурой и механическими свойствами. В частности можно выделить сварной шов и зону термического влияния (ЗТВ), являющуюся частью основного металла, подвергнувшегося тепловому воздействию, вызывающему изменение структуры и свойств. Небольшие размеры выделенных участков крайне усложняют проведение испытаний на растяжение образца и затрудняют их анализ. Для решения данной задачи нами была разработана методика, позволяющая определять механические характеристики облученных материалов из результатов индентирования, основанная на выводах, представленных в работах [1, 2].

В настоящей работе приведены экспериментальные данные по характеристике структуры и свойств сварных соединений в аустенитных нержавеющих сталях, облученных быстрыми нейтронами.

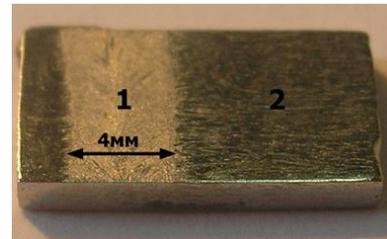
ИССЛЕДУЕМЫЙ МАТЕРИАЛ, ФОРМА И РАЗМЕРЫ ОБРАЗЦОВ, МЕТОДИКА МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Исследовали нержавеющую хромоникелевую сталь аустенитного класса X18Ni10Ti, легированную 0,1% Sc (ХНС-2), облученную до повреждающей дозы 0,5 снв в реакторе БН-350 при температуре $T \sim 400^\circ\text{C}$. Термообработка сварного шва – стабилизирующий отжиг в вакууме при $T = 800 \pm 20^\circ\text{C}$ 1 час с последующим отпуском при $T = 600 \pm 20^\circ\text{C}$ 1 час. Первоначальные размеры исходного образца – $25 \times 6 \times 2$ мм. С целью снижения радиоактивности и увеличения времени безопасной работы оператора исходный образец был разрезан на 2 части: образец 1 и образец 2 (рисунок 2), при этом ширина реза

составила 2 мм. Фотография первого образца представлена на рисунке 1.

Как было отмечено выше, проведение механических испытаний на растяжение сварного соединения чехла ТВС не представляется корректным. В этой связи, в данной работе, применялась методика вдавливания сферического индентора, диаметром 1 мм из карбида титана, в поверхность образца. Испытание проводилось на установке «Instron 1195» со скоростью 0,5 мм/мин.

Для определения инженерных диаграмм растяжения применяли методику, описанную в работе [2]. Согласно этой методике существует связь между значениями инженерных напряжений при растяжении ($\sigma_{инж}$) и значениями напряжений в лунке, определенных по методу Бринелля (H_B) при равных значениях деформаций в лунке ($\delta_{л}$) и при растяжении ($\delta_{инж}$).



1 – сварной шов, 2 – зона термического влияния



h, d – глубина и диаметр невосстановленной лунки;
h_в, d_в – глубина и диаметр восстановленной лунки.

б

Рисунок 1. Фотография образца, содержащего сварной шов (а). Профиль лунки (б) после вдавливания сферического индентора в материал

С целью построения «истинных» диаграмм растяжения и предела текучести из результатов экспериментов по индентированию были использованы формулы, описанные в работе [1]

Для верификации полученных «истинных» и инженерных диаграмм можно использовать формулы связи между «истинными» и инженерными напряжениями и деформациями [3]:

$$\varepsilon_{ист} = \ln(1 + \delta_{инж}), \quad (1)$$

$$\sigma_{ист} = \sigma_{инж} (1 + \delta_{инж}) \quad (\text{можно использовать до } \sigma_B). \quad (2)$$

Была проведена предварительная методическая работа с использованием образцов стали 12Х18Н10Т, деформированных на растяжение по методике, описанной в [4]. В результате получено хорошее согласование результатов микроиндентирования и растяжения.

Наряду с испытаниями на индентирование, в работе проводились металлографические исследования на микроскопе Neophot 2 и измерения микротвердости по Виккерсу на установке ПМТ-3.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 2 приведена схема исходного образца, разрезанного на 2 части (образец 1 и образец 2), с выявленными в них металлографически различными зонами: 1 – сварной шов, 2, 2' – зона термического влияния, 3 – основной материал. Также приведено распределение микротвердости по длине образцов и микроструктура их различных участков.

В центре сварного шва металлографически наблюдали мелкокристаллические дендриты с величиной ячейки 5 мкм. По мере удаления от центра дендриты становились больше и приобретали вытянутую форму.

В зоне термического влияния 2 структура представляет собой зерна аустенита со средним размером до 30 мкм. В теле зерен наблюдали дисперсные карбиды хрома, количество которых увеличивалось по мере удаления от центра сварного шва. В то же время по границам зерен карбиды отсутствовали. Для зоны 2' характерно выпадение карбидов на границах зерен. Наблюдали строчки ОЦК α -фазы, ориентированные по нормали к линии сварки и пересекающие несколько зерен аустенита. Величина зерна аустенита в ЗТВ уменьшается от ~30 мкм вблизи границы сварного шва до ~15 мкм в основном материале ТВС. Влияние процесса сварки на материал не

обнаруживается на расстоянии 15 мм от границы сварного шва.

Структура основного материала ХНС-2 (19 мм от шва рисунок 2 с (3)) представляет собой γ -твердый раствор аустенита в виде мелких полиэдров ($d_{cp} \sim 15$ мкм), с небольшим количеством двойников. Включения α -фазы располагаются строчечно вдоль высоты грани ТВС в виде мелких изолированных частиц; также в материале присутствуют дисперсные карбиды и более крупные включения (~1 мкм), расположенные как по границам зерен, так и в теле зерна аустенита.

Микротвердость в зоне сварного шва минимальна в его середине, увеличиваясь к краям. В зоне термического влияния в середине выявленной зоны 2, микротвердость равна 200 кг/мм², что по видимому связано с образованием крупных зерен аустенита. По мере удаления от зоны 2, в зоне 2', микротвердость увеличивается, что вероятнее всего соответствует выпадению карбидов и уменьшению среднего диаметра зерна. Твердость основного материала после облучения составила ~210 кг/мм², что немного превышает твердость необлученной холоднодеформированной стали.

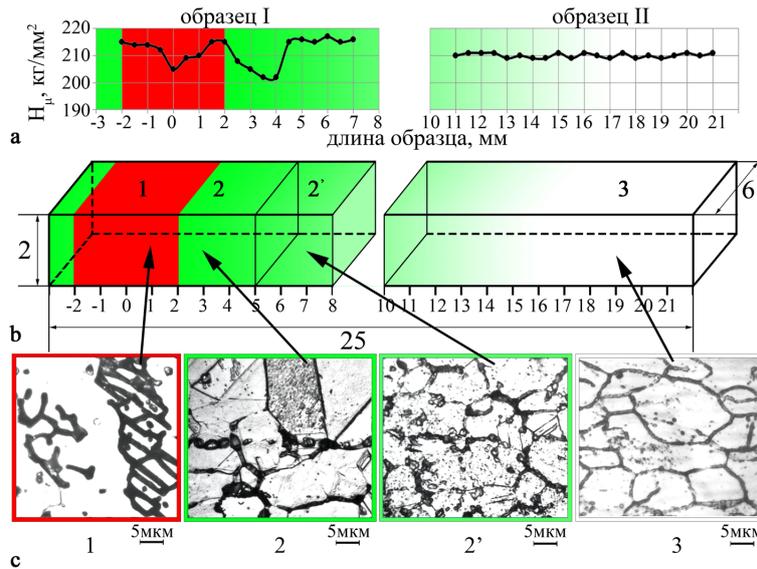
На рисунке 3 а и 3 б приведены кривые, полученные в экспериментах по индентированию зон сварного соединения.

Из первичных диаграмм индентирования (рисунок 3а) видно, что в зонах отдаленных от сварного шва твердость материала, определенная по методу Мейера несколько выше, чем в других зонах. Проанализировав рисунок 3б можно заключить, что основной материал способен оказывать большее сопротивление вдавливанию сферического индентора, чем материал в других зонах.

Инженерные диаграммы в координатах « $\sigma_{инж}$ » – « $\delta_{инж}$ » и «истинные» кривые деформационного упрочнения в координатах « $\sigma_{ист}$ » – « $\varepsilon_{ист}$ » были получены из первичных диаграмм и верифицированы с использованием формул (1-2).

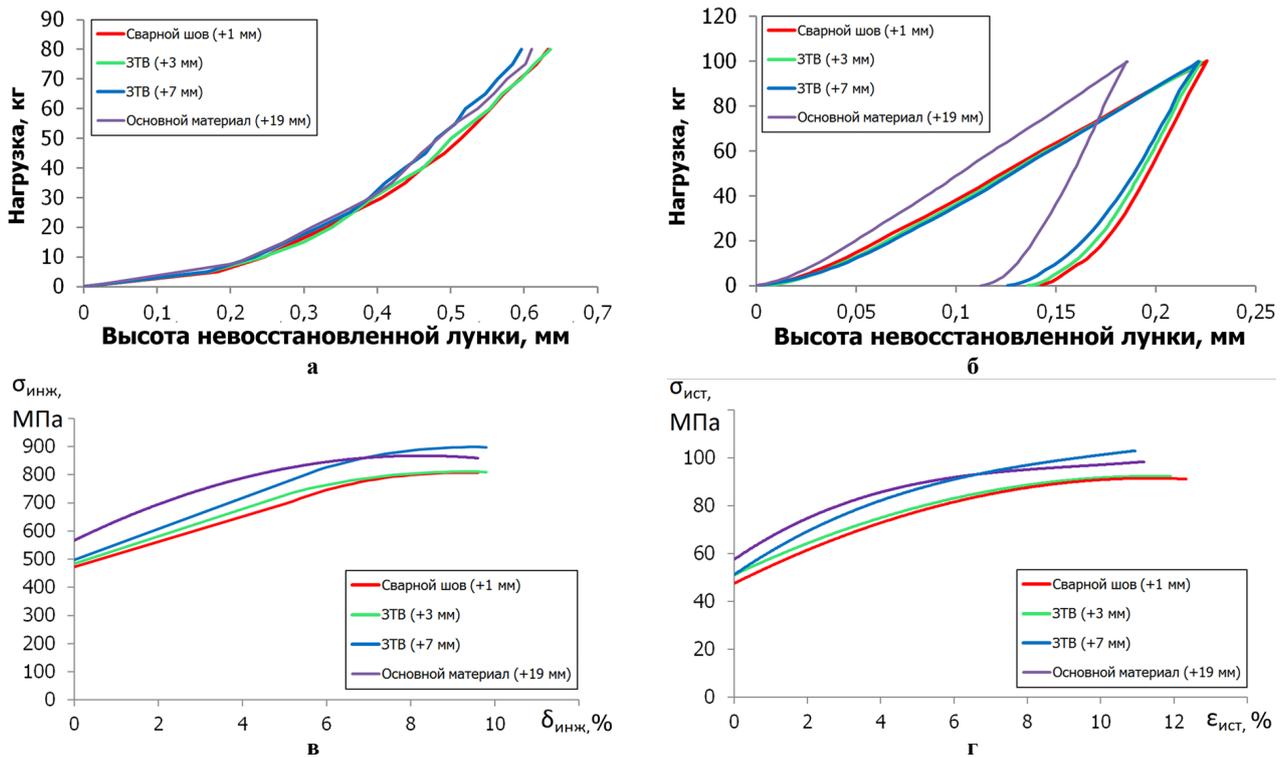
Восстановленные кривые деформационного упрочнения использовали для нахождения характеристик прочности и пластичности каждой из исследуемых зон. Эти данные сведены в таблице 1, из которой следует что, чем дальше от середины сварного шва, тем выше прочность материала при сохранении пластичности. При этом, механические характеристики материала сварного шва и зоны термического влияния 2, несмотря на большие различия в структуре, в целом совпадают.

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МИКРОСТРУКТУРА
СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ ХНС-2, ОБЛУЧЕННОЙ В РЕАКТОРЕ БН-350**



Цвета выделено: красный – сварной шов, зеленый – зона термического влияния, белый – основной материал

Рисунок 2. Схема исходного образца, разрезанного на 2 части (образец 1, содержащего сварной шов и образец 2) с шириной реза – 2мм (b), распределение микротвердости по его длине (a), и микроструктура в указанных областях (c)



Цвета выделено: красный – сварной шов, зеленый – зона термического влияния («+3мм»), синий – зона термического влияния («+7мм»), фиолетовый – основной материал («+19мм»).

Рисунок 3. Первичные диаграммы индентирования (a, б) и «восстановленные» с их помощью инженерные диаграммы (в) и «истинные» кривые деформационного упрочнения образца стали ХНС-2, содержащего сварной шов (г)

Таблица 1. Механические характеристики сварного соединения стали ХНС-2

Зона в образце (расстояние от середины сварного шва)	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Равномерная деформация, %
Сварной шов (+1 мм)	473	808	9,2
Зона термического влияния 2 (+3 мм)	483	811	9,4
Зона термического влияния 2' (+7 мм)	497	899	9,4
Основной материал (+19 мм)	564	866	9,2

Сравнивая полученные результаты с характеристиками основного материала можно заметить, что при равной пластичности величина предела прочности достигает своего максимального значения еще в пределах зоны термического влияния. При этом предел текучести увеличивается по мере удаления от середины сварного шва достигая максимальной величины (~550 МПа) для основного материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и успешно протестирована на облученной стали 12X18H10T методика «Восстановление механических характеристик из результатов вдавливания сферического индентора». Полученные результаты по индентированию хорошо коррелируют с результатами испытаний на растяжение.

Исследована микроструктура сварного соединения чехла ТВС реактора БН-350. Исследования показали, что образец, содержащий сварной шов, представляет собой композитный материал с различными зонами, характеризующимися мелкоячеистой дендритной структурой, а также структурой твердого раствора аустенита с размером зерна 15-30мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Haggag, F.M. In-situ measurements of mechanical properties using novel automated ball indentation system / F.M. Haggag // Small specimen test techniques applied to nuclear reactor vessel thermal annealing and plant life extension. – 1993. – P. 27–44.
2. Марковец, М. П. Определение механических свойств металлов по твердости / М. П. Марковец. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
3. Kim, J.W. Analysis of tensile deformation and failure in austenitic stainless steel: Part II – Irradiation dose dependence / J.W. Kim T.S Byun // JNM. – 2010. – Vol. 386. – P. 10-19.
4. Мережко, М. С. Особенности деформации и фазово-структурных превращений облученных нейтронами меди и стали 12X18H10T в условиях сложно-напряженного состояния / М. С. Мережко, О. П. Максимкин, М. Н. Гусев, С. В. Рубан // Вестник НЯЦ. – 2010. – № 2. – С. 49–53.

БН-350 РЕАКТОРЫНДА СӘУЛЕЛЕНДІРІЛГЕН ХНС-2 БОЛАТТЫҢ ПІСІРІЛГЕН ЖІКТЕРІНІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ МЕН МИКРОҚҰРЫЛЫМЫ

Мережко М.С., Максимкин О.П., Турубарова Л.Г.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Сфералық микро-инденторды басып енгізу нәтижелерінен сәулелендірілген материалдардың механикалық сипаттамаларын анықтау бойынша жаңа әдістеме әзірленді. Оны пайдалана отырып, созу эксперименттерінен алынатын қисықтарға ұқсас деформациялық беріктеудің инженерлік және «шынайы» қисықтары, сонымен қатар бірқалыпты деформация мәні, аққыштық пен беріктік шектері, беріктік шегіне дейінгі жұмыстар алынды. Нәтижелерге талдау жүргізілді. Пісірілген жіктің әртүрлі аймақтарының микроқұрылымы және микроқаттылық үлгінің ұзындығы бойынша таралуы талданған.

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF HNS-2 STEEL WELD IRRADIATED IN BN-350 REACTOR

M.S. Merezhko, O.P. Maksimkin, L.G. Turubarova

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Republic of Kazakhstan

New method for investigating of mechanical properties of irradiated materials from hardness indentation results was developed. Using this method engineering and "true" stress-strain curves (analogue tensile test results), uniform deformation values, yield and ultimate strength values, work of uniform deformation were found. Analysis of founded results were made. Microstructure and microhardness of all zones of weld were analyzed.

УДК 539.21.539.12.04.669.3

АНОМАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЛУЧЕННОЙ НЕЙТРОНАМИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12X18H10T ПРИ ОТЖИГЕ 400°C

Рубан С.В., Максимкин О.П., Рыбин С.В.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Проведены испытания по обратному мартенситному $\alpha' \rightarrow \gamma$ превращению в образцах стали 12X18H10T, облученных в реакторе ВВР-К до флюенсов $5 \cdot 10^{18}$ и $1,4 \cdot 10^{19}$ нейтрон/см² и деформированных при комнатной температуре. Установлено, что в необлученных и облученных образцах при отжиге в районе 400°C наблюдается аномальное повышение намагниченности и прочности. Статистические данные, полученные в ходе экспериментов, позволили определить критические параметры исследуемого явления.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что многие нержавеющие стали аустенитного класса метастабильны и в них под действием деформации (напряжений) инициируются мартенситные $\gamma \rightarrow \alpha'$ (или $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$) превращения, которые влияют на механические и магнитные характеристики. Для придания необходимых свойств (например, прочности) к готовым изделиям из таких сталей применяют различные виды отпуска (отжига), при которых происходит процесс обратного ($\alpha' \rightarrow \gamma$) мартенситного превращения, возврата и рекристаллизации.

При этом целый ряд авторов работ [1,2] отмечает увеличение микротвердости, намагниченности, удельного электрического сопротивления деформированных необлученных сталей при отжиге в районе 400 °С.

В тоже время, в связи с широким использованием Fe-Cr-Ni сталей в ядерной энергетике возник интерес к исследованию этого эффекта в облученных сталях. Так, в работе [3] довольно полно исследован эффект аномального изменения намагниченности во время отжига стали типа 18-10 облученных тепловыми и быстрыми нейтронами. Однако, остаются неясными многие моменты, например, критические параметры, при которых наблюдается эффект отжига.

В этой связи целью настоящей работы было провести исследование физико-механических свойств при отжиге облученной нейтронами промышленной реакторной стали 12X18H10T. В работе были исследованы гантелевидные цилиндрические (длина рабочей части 10 мм, диаметр ~ 1,7 мм) образцы стали 12X18H10T, необлученные и облученные в реакторе ВВР-К до флюенсов $5 \cdot 10^{18}$ и $1,4 \cdot 10^{19}$ н/см² ($E \geq 0,1$ МэВ).

1. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Эксперименты проходили в несколько этапов:

- С применением оптической маркерной экстензометрии на разрывной машине INSTRON 1195

проводилось растяжение необлученных и облученных образцов до предела прочности (σ_B) или до образования шейки при различных степенях деформации.

- Деформированные образцы подвергались изохронным отжигам в вакуумной печи «СУОЛ-044 2М2» в диапазоне 20-600°C.

- До и после отжигов проводились замеры ферромагнитной мартенситной фазы (феррозонд Fischer пр - 30) и микротвердости (микротвердомер ПМТ - 3).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Механические характеристики. В таблице 1 приведены типичные механические характеристики необлученной и облученной нейтронами стали 12X18H10T, деформированной при комнатной температуре (~20°C) со скоростью 0,5 мм/мин.

Ферромагнитные свойства. Проведенные замеры ферромагнитной мартенситной фазы по длине рабочей части деформированных образцов подтвердили представление о том, что количество образующейся мартенситной α' -фазы зависит от величины деформации, наибольшей в области шейки (рисунок 1).

Замеры, проведенные после изохронных отжигов показали, что в наиболее деформированных участках образца (в частности в шейке) при температуре отжига 400°C происходит аномальное увеличение мартенситной фазы. С целью определения критических параметров прямого ($\gamma \rightarrow \alpha'$) и обратного ($\alpha' \rightarrow \gamma$) мартенситного превращений по достижении которых при отжиге в районе 400 °С будет наблюдаться эффект прироста мартенситной фазы, проводились эксперименты на стальных образцах, растянутых до различных степеней деформации и замеры ферромагнетизма после отжигов. Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 1. Характеристики прочности и пластичности стали 12X18H10T, необлученной и облученной нейтронами

Характеристики	Флюенс, н/см ²		
	0	$5 \cdot 10^{18}$	$1,4 \cdot 10^{19}$
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	200	350	510
Условный предел прочности σ_B , МПа	700	720	765
Равномерная отн. деформация δ_p , %	41	38	25
Максимальная (полная) отн. деформация δ_n , %	49	44	32

**АНОМАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ОБЛУЧЕННОЙ НЕЙТРОНАМИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т ПРИ ОТЖИГЕ 400°С**

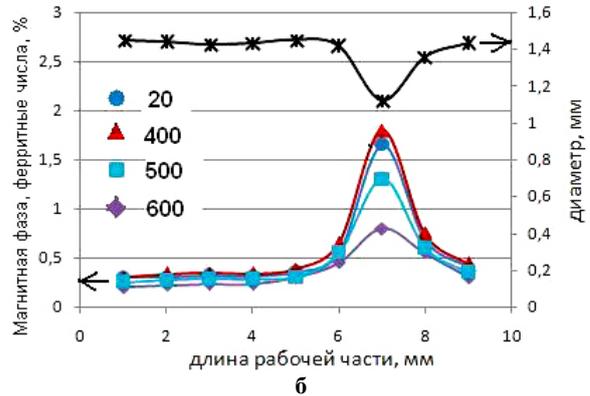
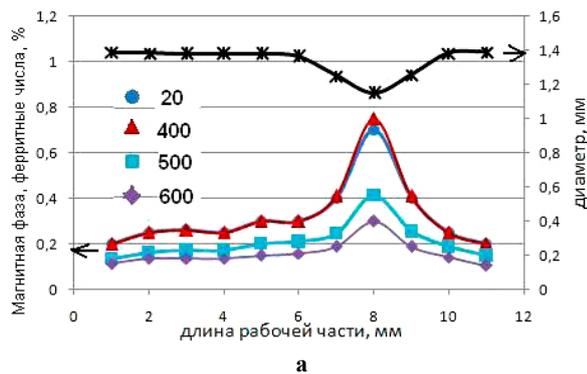


Рисунок 1. Типичное распределение ферромагнитной фазы по длине рабочей части деформированного образца стали 12Х18Н10Т, подвергнутого изохронным отжигам, а – необлученный образец, б – облученный нейтронами $5 \cdot 10^{18}$ н/см²

Из таблицы видно, что в необлученной стали эффект аномального увеличения ферромагнитной фазы проявляется при достижении сужения $\sim 40\%$, достигаемого в случае одноосного растяжения после предела прочности с развитием стационарной шейки. В случае облученной стали значение критической деформации, при которой наблюдается прирост магнитной фазы при отжиге меньше величины равномерной деформации и падает с ростом дозы облучения. Таким образом в облученной нейтронами и деформированной стали 12Х18Н10Т «эффект 400°С» наблюдается до образования стационарной шейки. Отсюда следует что, степень сужения является неким простым, критическим параметром (не раскрывающим однако физической природы явления), позволяющим определить условие прироста мартенситной фазы при отжиге в зависимости от флюенса.

Микротвердость. Некоторые авторы [2,4] отмечают, что при отжиге в районе 400°С наблюдается аномальное увеличение микротвердости хромоникелевых сталей, которое связывают с образованием зон Генье – Престона, обогащенных хромом. Причем в некоторых случаях эффект увеличения микротвердости, происходит в аустенитостабильных сталях. С другой стороны наличие мартенсита (который прочнее аустенита) в стали 12Х18Н10Т должно вносить дополнительный вклад в микротвердость. В связи с этим представляло интерес от-

следить изменение микротвердости облученных деформированных образцов после отжига.

Из рисунка 2 видно, что изменение микротвердости также как и прирост мартенситной α' -фазы при отжиге зависит от степени деформации (рисунок 2, таблица 2). Так, прирост микротвердости в точке 3 незначителен, а в точке 1(шейке) составляет ~ 160 кг/мм².

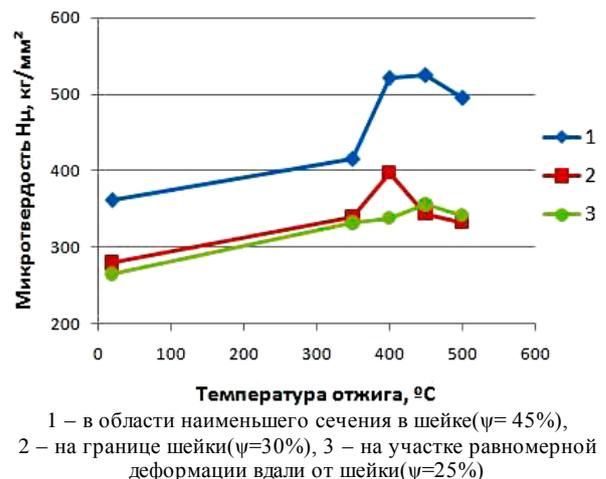


Рисунок 2. Изменение микротвердости в результате изохронных (30 минут) отжигов образца стали 12Х18Н10Т

Таблица 2. Связь между сужением, и ферромагнитной фазой. Темным выделена область значений сужений, в которых при отжиге наблюдается аномальное увеличение мартенситной α' - фазы

Характеристики		Сужение ψ , %								
		0	10	15	20	25	30	35	40	45
0	Исходное значение феррофазы $\langle M_f \rangle$ отн.ед.	0	0	0	0	0,1	0,2	0,34	0,39	0,49
	Прирост ферро-фазы $\langle M_f \rangle$ отн.ед. после отжига 400 °С	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,04
$5 \cdot 10^{18}$ н/см ²	Исходное значение феррофазы $\langle M_f \rangle$ отн.ед.	0	0	0	0,1	0,17	0,33	0,6	0,74	0,91
	Прирост ферро-фазы $\langle M_f \rangle$ отн.ед. после отжига 400 °С	0	0	0	0	0,01	0,03	0,05	0,07	0,1
$1,4 \cdot 10^{19}$ н/см ²	Исходное значение феррофазы $\langle M_f \rangle$ отн.ед.	0	0	0,1	0,16	0,26	-	0,5	-	-
	Прирост ферро-фазы $\langle M_f \rangle$ отн.ед. после отжига 400 °С	0	0	0	0,01	0,02	-	0,05	-	-

Использование «эффекта 400°С» для продления ресурса пластичности облученной стали. Обобщение полученных данных о том, что в процессе отжига при 400°С происходит упрочнение наиболее деформированных участков образца позволило использовать данный эффект для предотвращения разрушения образца в изначально образовавшейся шейке. Результаты повторного растяжения отожженных образцов по схеме: ХД(холодная деформация) до образования шейки→отжиг 400°С 30 минут→ХД приведены на рисунке 3.

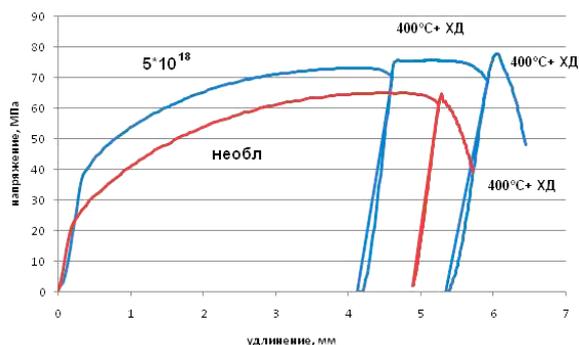


Рисунок 3. Диаграммы растяжения необлученной и облученной стали 12Х18Н10Т, к которой был применен «эффект 400°С»

Фотографирование образца в процессе растяжения позволило определить, что в момент, когда на диаграмме повторного растяжения наблюдается площадка текучести по образцу перемещается «волна пластической деформации». После того как «волна» проходит рабочую часть образца – появляется вторая шейка и образец разрушается в ней. На рисунке 5 приведена фотография облученного образца с 2 шейками.



Рисунок 4. Образец, облученный до $5 \cdot 10^{18}$ н/см², деформированный по схеме ХД→отжиг 400 °С→ХД. Видны две шейки

Таблица 3. Связь между коэффициентом сужения и наличием эффекта увеличения пластичности

Флюенс, н/см ²	0				5·10 ¹⁸ н/см ²					1,4·10 ¹⁹ н/см ²			
	0	0,1	0,25	0,31	0	0,25	0,33	0,36	0,39	0,5	0	0,23	0,48
$K = \frac{\psi_{ш} - \psi_B}{\psi_{ш}}$													
Наличие эффекта увеличения пластичности	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены критические параметры прямого ($\gamma \rightarrow \alpha'$) и обратного ($\alpha' \rightarrow \gamma$) мартенситных превращений. Установлено, что в необлученных и облученных деформированных до образования шейки образцах после отжига 400°С наблюдается значительное, аномальное увеличение прочности и намагнитченности. Повторное растяжение таких об-

условие предотвращения разрушения образца в шейке. На практике из диаграммы растяжения напрямую нельзя определить «истинное напряжение течения материала в любой момент времени – для этого необходимо с использованием оптической или контактной экстензометрии переходить к локальным истинным напряжениям течения. Для описания обнаруженного процесса не разрушения образца и увеличения пластичности необходимо рассмотреть следующее условие:

$$\sigma_{ш}(\text{после отжига}) \cdot S_{ш} > \sigma_B(\text{после отжига}) \cdot S_B \quad (1)$$

где $\sigma_{ш}(\text{после отжига})$ – напряжение течения в шейке после отжига, $S_{ш}$ – площадь поперечного сечения в шейке, $\sigma_B(\text{после отжига})$ – напряжение течения на равномерном участке, S_B – площадь поперечного сечения образца по достижению предела прочности. Произведение величин в условии (1) дает нагрузку, которую может выдержать материал в области шейки и на участке равномерной деформации. Поскольку были определены величины сужения образца, при которых наблюдается «эффект 400°С», то можно используя условие (1) установить при какой величине сужения в шейке будет увеличение пластичности.

Для определения условий увеличения пластичности при отжиге нами предложен следующий коэффициент:

$$K = \frac{\psi_{ш} - \psi_B}{\psi_{ш}} \quad (2)$$

где $\psi_{ш}$ – сужение в шейке, ψ_B – сужение по достижению предела прочности.

В таблице 3 приведена связь между коэффициентом сужения и эффектом увеличения пластичности.

Из таблицы видно, что в необлученной стали эффект увеличения пластичности наблюдается только с низким коэффициентом «К», тогда как в облученной даже при высоких К материал упрочняется в шейке достаточно, чтобы деформация протекала вне шейки.

разцов приводит к предотвращению деформирования и разрушения в области шейки и протеканию равномерной деформации по остальной части образца с последующей локализацией – образованием 2 шейки. Анализ статистических данных позволил определить условия предотвращения деформации в шейке и увеличения ресурса пластичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толomasов, В. А. Изменение фазового состава нержавеющей стали 12Х18Н9Т под влиянием деформации / В. А. Толomasов // Физика металлов и металловедение. –1958. –Т. 6. –№5. –С.838-842.
2. Неклюдов, И.М. О некоторых возможных путях влияния на фазовый состав, структуру и свойства аустенитных сталей / И. М. Неклюдов, В. М. Нетесов // Вопросы атомной науки и техники. –2005. –№5. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (88) –С.164-167.
3. Максимкин, О.П. Обратное мартенситное $\alpha' \rightarrow \gamma$ -превращение в стали 12Х18Н10Т, облученной до 56 сна в реакторе БН-350 и деформированной при 293 К / О. П. Максимкин, Б. К. Рахашев // Вестник НЯЦ РК. – 2009. –Вып 3(39) –С.161-172.
4. Нетесов, В.М. Влияние ($\alpha \rightarrow \gamma$) превращения на электрическое сопротивление и структуру стали Х18Н10Т / В. М. Нетесов, А. А. Яес // Металлы. –1987. –№ 3, –С.104-106.

400°С КҮЙДІРУ КЕЗІНДЕГІ ТОТАНБАЙТЫН 12Х18Н10Т БОЛАТЫНЫҢ МАГНИТТІК ЖӘНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӨЗГЕРУТІНІҢ АНОМАЛЬДІ ӘСЕРІ

Рубан С.В., Максимкин О.П., Рыбин С.В.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

($\alpha' \rightarrow \gamma$) кері мартенситтік түрлену бойынша $5 \cdot 10^{18}$ және $1,4 \cdot 10^{19}$ н/см² ($E \geq 0,1$ МеВ) флюенстерге дейін ВВР-К реакторында сәулелендірілген 12Х18Н10Т болатының үлгілері зерттелді. Сәулеленген және сәулеленбеген үлгілерде 400°С дейін күйдіру кезінде магниттену мен төзімділіктің айтарлықтай артатындығы байқалды. Эксперименттер барысында алынған нәтижелер зерттеліп жатқан құбылыстың сындық параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді.

ABNORMAL EFFECT OF CHANGE OF MAGNETIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE 12CR18NI10TI STAINLESS STEEL IRRADIATED BY NEUTRONS AND ANNEALED AT 400 °C

S.V. Ruban, O.P. Maksimkin, S.V. Rybin

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Performed testing on inverse martensitic $\alpha' \rightarrow \gamma$ transformation in samples became 12Х18Н10Т, irradiated in VVR-K reactor up to the fluence of $5 \cdot 10^{18}$ and $1,4 \cdot 10^{19}$ neutron/cm² and deformed at the ambient temperature. It was found that anomalous increase of magnetization and resistance was observed in unirradiated and irradiated samples at the burn-in about 400°С. Statistical information obtained during experiments let to define critical parameters of investigating phenomenon.

УДК 621.534.762

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВА 67КН5Б, ОБРАБОТАННОГО КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

¹Скаков М.К., ²Ерболатулы Д., ¹Рахадиллов Б.К.

¹Восточно-Казахстанский Государственный технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

²Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

Оценено влияние ионной имплантации азота и электронно-лучевой обработки на структуру и свойства сплава 67КН5Б. Разработан способ обработки упругочувствительных элементов ионной имплантацией и электронно-лучевым воздействием, приводящий к увеличению микротвердости, залечиванию поверхностных дефектов. Установлено, что ионная имплантация азота и электронно-лучевая обработка сплава 67КН5Б позволяет устранить структурную неоднородность и значительно улучшить механические свойства упругих чувствительных элементов.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной техники привело к необходимости создания материалов, работающих в экстремальных условиях высоких температур, больших механических нагрузок, агрессивных контактирующих сред, внешнего ионизирующего облучения. Одним из наиболее перспективных путей развития современного материаловедения является создание новых методов обработки материалов концентрированными потоками энергии [1]. Ведутся интенсивные исследования по изучению влияния концентрированных потоков энергии на структуру и свойства металлов и сплавов. При обработке концентрированными потоками энергии одновременно осуществляется радиационное, тепловое и ударно-механическое воздействия. Развивающиеся при этом процессы перестройки структуры происходят в условиях, далеких от термодинамически равновесных состояний, и позволяют получать поверхностные слои с уникальным комплексом физико-механических свойств [2]. Более того, при облучении поверхности ионами химически активных элементов могут формироваться мелкодисперсные включения новых фаз, обеспечивающих более высокие механические свойства за счет дисперсного упрочнения поверхностного слоя [3].

В связи с актуальностью тематики проведены исследования влияния облучения электронами и ионами химически активного элемента (N^+) на микроструктуру, механические свойства и состав поверхностных слоев дисперсионно-твердеющего сплава 67КН5Б.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования выбран аустенитный дисперсионно-твердеющий сплав 67КН5Б (67%-Co, 28%-Ni, 5%-Nb), широко используемый при изготовлении токоведущих упругих элементов, контактных пружин для электромагнитных и ртутных реле. Выбор связан с тем, что 67КН5Б относится к дисперсионно-твердеющим аустенитным сплавам и широко используется в электротехнической промышленности. Сплав 67КН5Б после закалки находится в состоянии γ -твердого раствора с ГЦК-решеткой и упрочняется при

деформации или при старении за счет выделения избыточных вторичных фаз [4]. Путем несложных термических или механико-термических обработок сплава можно получить широкий спектр структурных состояний, отличающихся фазовым составом, механизмом выделения избыточных фаз, степенью дисперсности и морфологией выделяющихся частиц, дислокационной структурой и состоянием границ зерен. Для получения пересыщенного твердого раствора отрезанные образцы сплава 67КН5Б перед облучением закалывали в воде при комнатной температуре после выдержки в течение 10 мин при 1223К. Образцы для облучения изготавливались в виде прямоугольных параллелепипедов со сторонами $20 \times 20 \times 0,5$ мм. Перед облучением образцы электролитически полировали. Внедрение ионов азота с энергией 100 кэВ, дозами 10^{17} , $2 \cdot 10^{17}$, $5 \cdot 10^{17}$ ион/см² проводилось в вакууме (10^{-4} Па) при плотности тока 2 мкА/см². Непрерывное электронное облучение выполнялось на ускорителе ЭЛВ-4. Энергия электронов на поверхности образцов при облучении составляла 1,3 МэВ, а плотность тока пучка – 10 мкА/см². Образцы были облучены до дозы $0,28 \cdot 10^{19}$ е⁻/см². В процессе облучения температура образцов не превышала 100°C.

Исследование фазового состава и кристаллической структуры образцов сплава осуществлено методами рентгеноструктурного анализа на дифрактометре X'Pert Pro в $CuK\alpha$ -излучении. Морфология поверхности изучена в инженерной лаборатории ИРГЕТАС ВКГТУ на оптическом микроскопе «NEOPHOT-21» и растровом электронном микроскопе JSM-6390LV, оснащенном приставкой энергодисперсионного анализа. Микротвердость поверхностных слоев образцов до и после облучения измерена методом вдавливания алмазного индентора на приборе ПМТ-3 при трех нагрузках 20, 50 и 100г и выдержке под нагрузкой 10 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ изображений, полученных методом растровой электронной микроскопии, позволяет говорить, что в результате ионной имплантации происходит изменение морфологии поверхности образцов

исследуемого сплава. В результате облучения на поверхности образцов были обнаружены каплеобразные дефекты (рисунок 1).

Для выяснения химического состава макродефектов был проведен микроанализ в режиме энергетического дисперсионного анализа (рисунок 2).

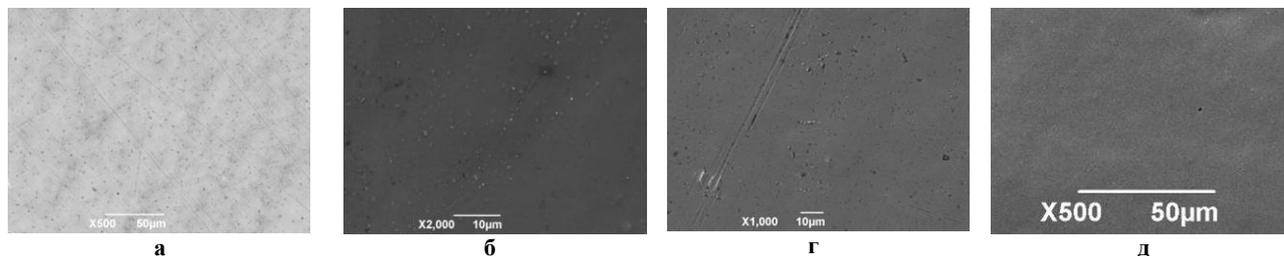
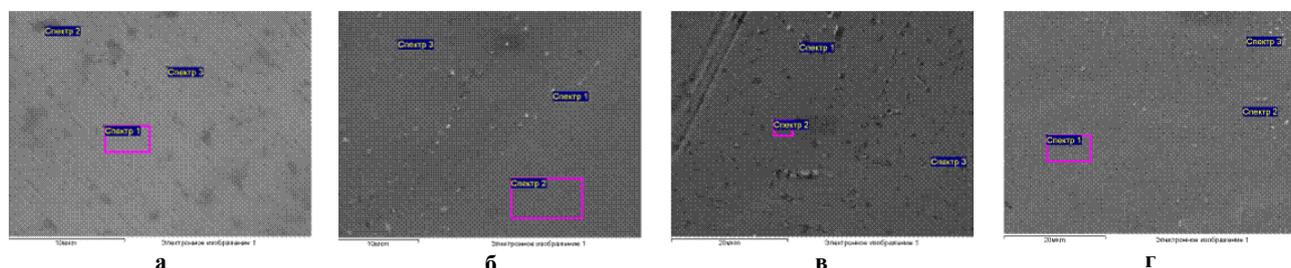


Рисунок 1. Типичные топографии поверхности образцов сплава 67КН5Б до (а) и после облучения ионами до доз: б - 10^{17} ион/см²; в - $2 \cdot 10^{17}$ ион/см²; г - $5 \cdot 10^{17}$ ион/см²



Выделены области, выбранные для проведения анализа

Рисунок 2. РЭМ - изображение до (а) и после облучения ионами до дозы: б - 10^{17} ион/см²; в - $2 \cdot 10^{17}$ ион/см²; г - $5 \cdot 10^{17}$ ион/см²

Таблица 1. Химический состав поверхности сплава 67КН5Б

Доза облучения	Спектр	O, %	N, %	Mn, %	Fe, %	Co, %	Ni, %	Nb, %	Итого, %
Необлученный	Спектр 1			0.37	1.64	65.21	28.08	4.69	100.00
	Спектр 2	1.90		0.34	1.58	63.67	27.30	5.22	100.00
	Спектр 3			0.33	1.79	64.78	28.00	5.09	100.00
10^{17} ион/см ²	Спектр 1				1.42	55.99	27.80	14.80	100.00
	Спектр 2				1.82	64.07	28.44	5.67	100.00
	Спектр 3				1.72	64.66	27.91	5.72	100.00
$2 \cdot 10^{17}$ ион/см ²	Спектр 1		1.35		1.77	59.64	26.84	10.41	100.00
	Спектр 2		2.65		1.61	62.78	27.58	5.37	100.00
	Спектр 3			0.45	1.74	64.15	27.59	6.08	100.00
$5 \cdot 10^{17}$ ион/см ²	Спектр 1		7.35		1.56	60.11	25.85	5.13	100.00
	Спектр 2			0.45	1.85	65.19	27.00	5.51	100.00
	Спектр 3		8.14		1.20	55.17	25.32	10.17	100.00

В результате электронного облучения происходит изменение морфологии поверхности образцов сплава (рисунок 3).

Видно, что поверхность неоднородна и имеет развитый рельеф. В результате облучения на поверхности образцов были обнаружены дефекты. На рисунке 4 приведены результаты рентгеновского микроанализа в области микровыделений и изображение соответствующего участка поверхности сплава 67КН5Б, облученных электронами с энергией 1,3 МэВ до дозы $0,28 \cdot 10^{19}$ е⁻/см².

На рисунке 5 представлены дифрактограммы сплава 67КН5Б до и после облучения.

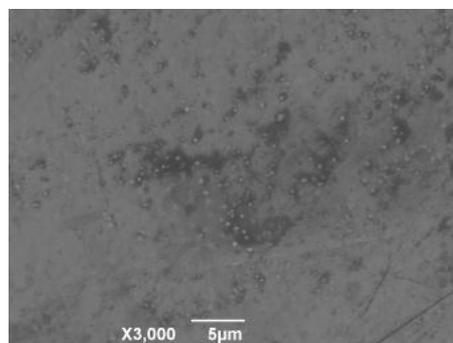


Рисунок 3. Структура и морфология поверхности сплава 67КН5Б, полученная с помощью РЭМ

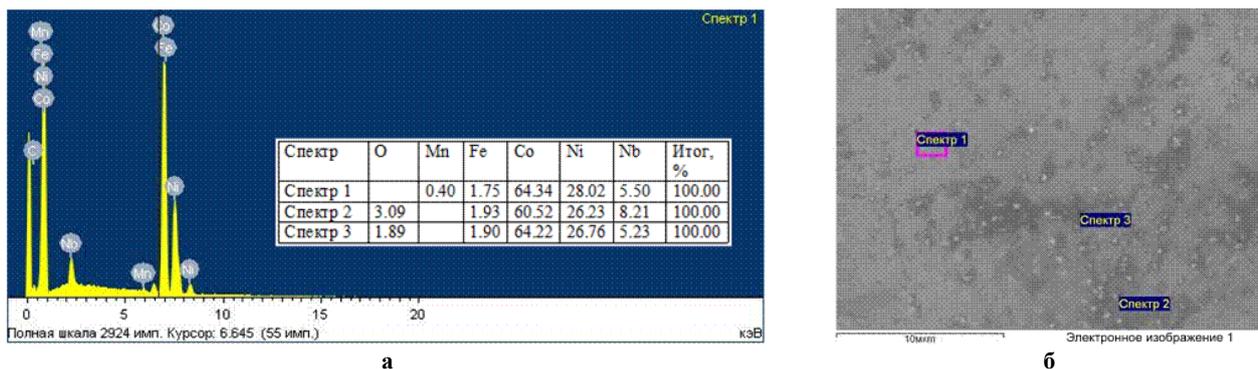


Рисунок 4. Результаты рентгеновского микроанализа в области микровыделений (а) и изображение соответствующего участка поверхности сплава 67КН5Б, облученного электронами с энергией 1,3 МэВ до дозы $0,28 \cdot 10^{19}$ е/см² (б)

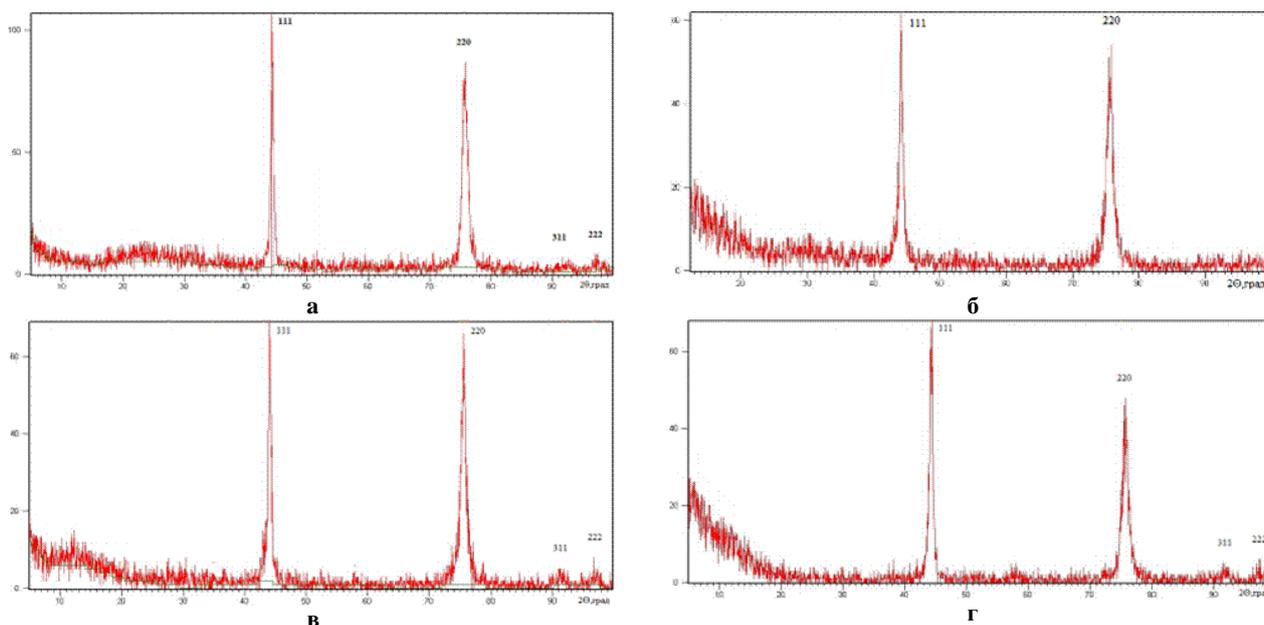


Рисунок 5. Дифрактограммы сплава 67КН5Б до (а) и после облучения ионами до доз: б – 10^{17} ион/см²; в – $2 \cdot 10^{17}$ ион/см²; г – $5 \cdot 10^{17}$ ион/см²

Из сопоставления дифрактограмм следует, что на облученном до дозы $5 \cdot 10^{17}$ ион/см² образце отражение от плоскости (220) становится менее интенсивным, что свидетельствует об изменении ориентации кристаллитов. Установлено, что параметр решетки по сравнению с исходным не меняется (в пределах погрешности). Однако рентгеновский метод не фиксирует однозначно глубину структурных изменений. Рентгеноструктурные исследования не выявили новых нитридных фаз, возможно, ввиду их низкой концентрации и малой глубины образования.

Микротвердость сплава 67КН5Б в исходном состоянии составляет 5000 МПа и увеличивается после облучения ионами азота в зависимости от дозы облучения (рисунок 6).

Микротвердость образцов, облученных ионами азота, увеличивается на 10 - 50% по сравнению с исходным значением, что согласуется с представлением об упрочняющем воздействии ионно-лучевой обработки материалов.

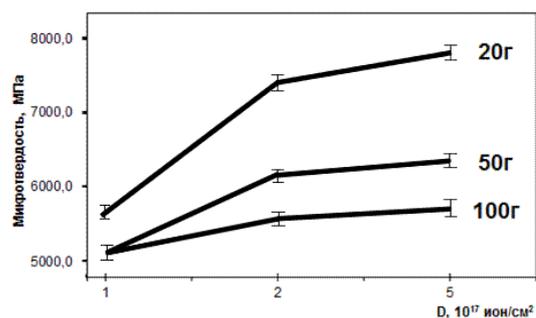


Рисунок 6. Зависимость микротвердости сплава 67КН5Б от дозы имплантированных ионов азота

На рисунке 6 представлена зависимость микротвердости от дозы имплантированных ионов. Видно, что максимальное величина микротвердости (7800 МПа) образцов наблюдается при дозе $5 \cdot 10^{17}$ ион/см² (нагрузка на индентор 20 г). Предполагается, что увеличение микротвердости при облучении связано с интенсивным образованием радиа-

ционных дефектов и частиц новых фаз. На рисунке 7 приведены зависимости микротвердости от нагрузки (то есть распределение микротвердости по глубине) сплава 67КН5Б, облученного электронами с энергией 1,3 МэВ до дозы $0,28 \cdot 10^{19}$ е/см². Микротвердость поверхности сплава после электронного облучения, при малых нагрузках на пирамидку, увеличивается почти в 2 раза.

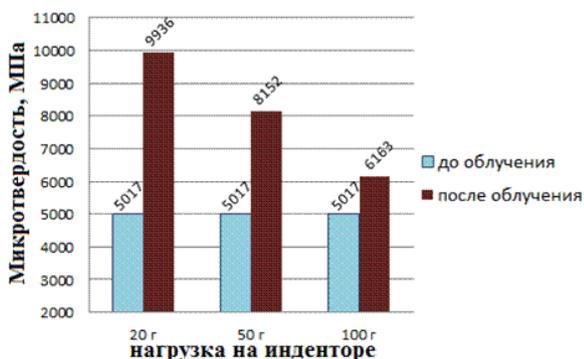


Рисунок 7. Микротвердость сплава 67КН5Б, облученных электронами с энергией 1,3 МэВ до дозы $0,28 \cdot 10^{19}$ е/см²

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены оригинальные результаты, позволяющие сформулировать следующие основные выводы:

1. При обработке поверхности электронными и ионными пучками имеют место морфологические изменения и изменения элементного состава сплава 67КН5Б.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курзина, И.А. Нанокристаллические интерметаллидные и нитридные структуры, формирующиеся при ионно-лучевом воздействии / И.А. Курзина [и др.] – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 324 с.
2. Кадыржанов, К.К. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов / К.К. Кадыржанов [и др.] – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 640 с.
3. Комаров, Ф.Ф. Ионная имплантация в металлы / Ф.Ф. Комаров – М.: Металлургия, 1990. – 216 с.
4. Суховаров, В.Ф. Прерывистое выделение фаз в сплавах / В.Ф. Суховаров – Новосибирск: Наука, 1983. – 164 с.
5. Ерболатулы, Д. Влияние структурных превращений на сверхпластические и прочностные свойства аустенитных никель-хромовых и кобальт-никелевых сплавов / Д. Ерболатулы, Д.Л. Алонцева, М.К. Скаков // Вестник КарГУ, серия Физика. – 2004. – №2 (34). – С.18 – 21.

ЭНЕРГИЯНЫҢ ШОҒЫРЛАНДЫРЫЛҒАН АҒЫНЫМЕН ӨНДЕЛГЕН 67КН5Б ҚҰЙМАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ҚАСИЕТТЕРІ

¹⁾Скаков М.К., ²⁾Ерболатұлы Д., ¹⁾Рахадиллов Б.К.

¹⁾Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан Мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

²⁾С. Аманжолов атындағы Қазақстан Мемлекеттік университеті, Өскемен, Қазақстан

Мақалада 67КН5Б құймасының құрылымы мен қасиеттеріне азоттың иондық имплантациясы мен электрондық-сәулелік өңдеу әсеріне баға берілген. Серпімді сезгіш элементтерді микроқаттылықтың ұлғаюына, беттік ақауларды емдеуге ықпал ететін иондық имплантациямен және электрондық-сәулелік әсер етумен өңдеу тәсілі әзірленген. Азоттың иондық имплантациясы және 67КН5Б құймасын электрондық-сәулелік өңдеу серпімді сезгіш элементтердің құрылымдық біртекті еместігін жоюға және механикалық қасиеттерін едәуір жақсартуға мүмкіндік беретіні анықталды.

**STRUCTURE AND PHYSICAL CHARACTERISTICS
OF 67KH5B ALLOY TREATED BY CONCENTRATED ENERGY FLUX**

¹⁾M.K. Skakov, ²⁾D. Yerbolatuly, ¹⁾B.K. Rakhadilov

¹⁾*D.Serikbaev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

²⁾*S.Amanzholov East-Kazakhstan State University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

This paper demonstrates effect of nitrogen ion implantation and electron-beam processing on the structure and properties of 67KH5B alloy. The method increasing micro-hardness and healing surface defects by means of ion implantation and electron-beam processing of tension sensitive elements has been elaborated. It was determined that nitrogen ion implantation and electron-beam processing of 67KH5B eliminates structural inhomogeneity and improves mechanical properties of tension sensitive elements.

УДК 621.039.52.034.6

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ

Уханов С.В., Цай Е.Е.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

В статье приведено описание действительной функциональности внедряемой системы по управлению знаниями, исследованы подходы к созданию поисковой системы и проведена конфигурация служб WSS. База знаний позволяет вести коллективную работу с документами, хранить и систематизировать информационные объекты различных форматов, обеспечивает быстрый поиск и представление релевантных результатов запросов. Пользователям системы предоставлена возможность создавать авторские узлы и вести личную документацию.

Система обладает развитым механизмом защиты от несанкционированного доступа и механизмом интеграции с контроллером домена предприятия, определен комплекс мер и проведено тестирование системы резервирования и восстановления информации.

Цель создания интеллектуальной информационной системы внедряемой в Национальном ядерном центре Республики Казахстан обеспечить эффективное использование существующих информационных ресурсов, повысить экономическую эффективность предприятия.

Исследование информационных ресурсов подлежащих размещению в массивах базы знаний - начальный этап выполнения проекта. В 2009 году проведено исследование информационных ресурсов предприятия и определены следующие категории: научные статьи и публикации, периодическая литература («Вестник НЯЦ», «Человек, энергия, атом»), отчетная документация, документация по конференциям, документация по проектам предприятий, авторская информация для личных узлов. Размещению в базу знаний подлежат любая информация имеющая научную либо практическую ценность для сотрудников предприятий атомной отрасли.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЗНАНИЯМИ

Информационная система, внедряемая в Национальном ядерном центре Республики Казахстан, призвана решить ряд актуальных проблем в области атомной энергетики:

1. Проблема сохранения опыта специалистов при миграции.
2. Обеспечение нового поколения специалистов актуальной информацией.
3. Проблемы, связанные с потерей знаний во время технических неисправностей в оборудовании, либо утере носителей информации.
4. Неэффективное расходование рабочего времени сотрудников, повторное выполнение работ вследствие утери документации.
5. Отсутствие общей информационной картины научного потенциала предприятия.

В основу разработанной информационной системы легли следующие программы и компоненты (таблица 1).

Выбор данной программной реализации базы знаний зависел от многих факторов: возможность

быстрого развития и поддержки дополнительных модулей, большие возможности по расширению функциональности в будущем, полная интеграция с рабочими серверами и рабочими станциями РГП НЯЦ РК, развитая система авторизации и распределения прав доступа.

ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЗНАНИЯМИ

Система по управлению ядерными знаниями в РГП НЯЦ РК обеспечивает следующую функциональность:

- Расширенный поиск по содержанию документов, информационным полям объектов базы знаний. Своевременная индексация документов наиболее распространенных форматов, оперативность получения результатов с высоким уровнем релевантности.
- Возможность коллективной работы с документами, управление версиями документов.
- Высокие возможности по расширению объема базы знаний. Фактически объем знаний ограничен только размером дискового пространства на сервере.
- Устойчивость и быстрое восстановление системы в случае сбоя, развитая система резервного копирования.
- Большие возможности по распределению доступа к информации, полная интеграция с контроллером домена РГП НЯЦ РК и доменами дочерних предприятий. Развитая система безопасности.
- Автоматическая рассылка уведомлений электронной почты, подписка на изменение содержимого узлов, библиотек и прочих информационных объектов. Интеграция с почтовым сервером РГП НЯЦ РК
- Возможность создания личных страниц обеспечивающих возможность внесения авторской информации в личный web-узел. Имеется возможность ведения тематических блогов, создания различных опросов и коллективных обсуждений.
- Родительские и дочерние тематические узлы имеют возможность расширения функциональности путём добавления на страницы различных опросов,

заметок, извещений, графиков и прочих стандартных элементов SharePoint.

- База знаний обладает развитыми возможностями по созданию досок обсуждений, библиотек документов.
- Развитые возможности по представлению информации: настраиваемые представления библиотек документов, галерея графических объектов базы знаний.
- Полная интеграция с Microsoft Office: возможности публикации документов из Word, Excel и т.п.
- Создание библиотек wiki-страниц, связей между страницами, возможность создания электронных энциклопедий и тезаурусов. Возможность публикации научных статей.
- Упрощение ведения проектной документации благодаря модулю шаблоны: «Отслеживание проектов».

Во время выполнения научно-исследовательской работы был разработан ряд методик по исследованию и структуризации информационных объектов содержащих ядерные знания, разработаны уникальные методы конвертации информационных массивов. Например, проведены работы по усовершенствованию функциональности локальной версии всемирно известной международной базы знаний по атомной энергетике INIS. Большой дисковый массив статей системы INIS был приведен к единому формату, а при помощи разработанных приложений стало возможным интегрировать документы в информационную систему с созданием индексируемых информационных карт. Основной отличительной особенностью локальной версии INIS является возможность полнотекстового поиска по содержанию PDF документов – функции отсутствующей в системе, разработанной в МАГАТЭ.

Таблица 1. Программы и компоненты базы знаний по атомной энергетике.

Наименование	Описание	Роль в системе
Microsoft SQL-server 2005 Standard	Сервер баз данных	Хранение баз данных конфигурации, баз данных содержимого web-приложений, личных страниц пользователей, баз данных поисковых индексов и средств администрирования.
Windows SharePoint Services (WSS 3.0)	Платформа для развертывания и управления содержимым. Является основой для размещения файлов и папок.	Предоставляет базовые возможности поиска информации, систему управления содержимым, разграничение прав доступа, возможности расширения с помощью механизма web-частей.
Microsoft Office SharePoint Server 2007	Программное обеспечение, использующее возможности WSS для быстрого создания и поддержки web-приложений.	Обеспечивает гибкое управление инфраструктурой WSS, создание web-приложений, управление базовыми службами и механизмами фермы серверов Базы знаний.
Windows Server 2008	Серверная операционная система	Обеспечивает функционирование всех базовых служб информационной системы
Службы IIS, SMTP	Стандартные службы Windows Server 2008.	IIS – обеспечивает инфраструктуру и функциональность web-сервера. SMTP – обеспечивает пересылку и прием почты на сервер базы знаний
ASP.NET MVC Framework	Framework для создания web-приложений, который реализует шаблон Модель-Представление-Контроллер	Использован при разработке приложения «База специалистов атомной отрасли»
jQuery UI	Библиотека JavaScript с открытым исходным кодом для создания насыщенного пользовательского интерфейса в web-приложениях	Использованы при разработке представлений приложения «База специалистов атомной отрасли».
PDF IFilter, Adobe Acrobat 9.X	Программное обеспечение расширяющее возможности работы с документами формата PDF	Индексация объектов формата PDF, для обеспечения возможности поиска по содержанию.
IDE Visual Studio 2008, SharePoint Designer 2007.	Платформы для разработки программного обеспечения.	Использованы при разработке подсистем базы знаний.
MDaemon 10 (почтовый сервер РГП НЯЦ РК)	Почтовый сервер	Обеспечивает прием-передачу почты между учетными записями базы знаний и учетными записями сотрудников предприятия
Active Directory (контроллер домена предприятия)	Реализация службы каталогов от Microsoft	Играет роль в реализации системы авторизации в базе знаний. Пользователи используют учетные записи для входа в домен.
NET Framework	Программная платформа, предназначенная для создания обычных программ и web-приложений.	Обеспечивает поддержку технологий ASP.NET и компиляцию кода web-приложений базы знаний.

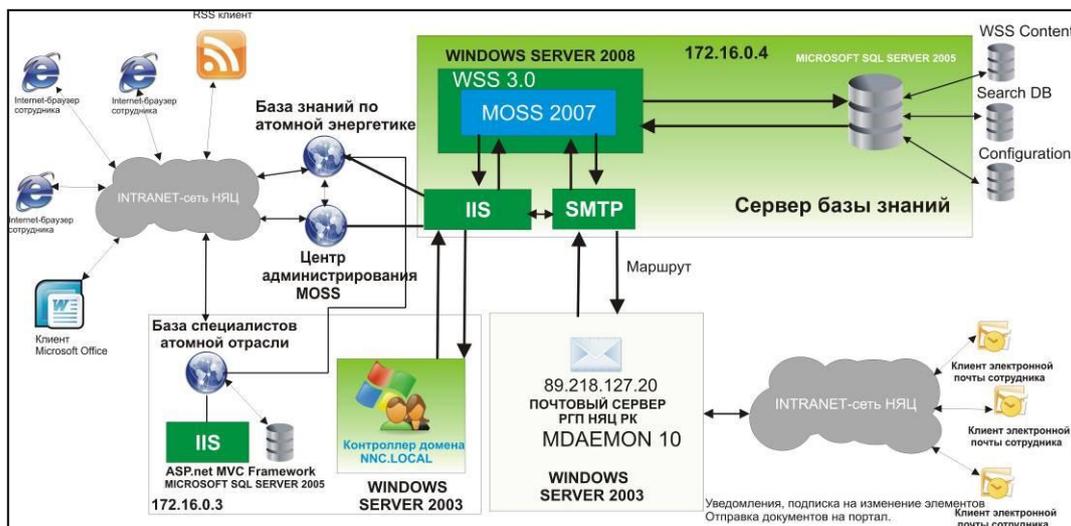


Рисунок 1. Архитектура системы по управлению знаниями

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ И ИМЕЮЩИЙСЯ ЗАДЕЛ

Во время создания концепции и стратегии развития информационной системы были определены возможные пути развития базы знаний, увеличения функциональности и быстродействия. Функциональность системы может быть расширена несколькими способами:

1. На базе существующей платформы имеется возможность внедрить систему документооборота, использующую возможности Workflow Foundation и автоматизировать наиболее рутинные процедуры делопроизводства, что существенно облегчит работу целому ряду сотрудников и способствует экономии рабочего времени.
2. Расширение функциональных возможностей системы по мере поступления информации. Имеется возможность разработки шаблонов приложений под определенные задачи.
3. Одной из перспектив является предоставление информации населению через приложения ориентированные на интернет и использующие определенные ресурсы базы знаний, которые являются общедоступными.
4. Возможность коммерциализации определенных информационных ресурсов, что будет являться

источником дополнительного дохода для предприятий атомной отрасли.

На данный момент размер базы знаний составляет порядка 22 гигабайт различной информации. Проводится постоянная публикация новых элементов.

- Рядом сотрудников были созданы персональные узлы, отработана публикация авторской документации и статей
- Ведется сопроводительная документация по ряду проектов, в которых принимали участие предприятия и принимают на текущий момент.
- Внутренняя документация отделов публикуется в тематических порталах
- На портале, посвященном СМК, опубликована основная документация, касающаяся системы менеджмента качества действующей на предприятии.
- На портале INIS Размещены преобразованные статьи международной базы данных INIS. Организована возможность поиска информации по тексту статей при помощи интеграции PDF IFilter.
- Ведется публикация материалов конференций, научных изданий РГП НЯЦ РК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bellinaso, M. ASP.NET MVC 1.0 Website / M. Bellinaso, Al. Katawazi, N. Berardi – М.: Wiley Publishing, Inc. Programming - Problem-Design-Solution, 2009 г. - 510 с.
2. Khosravi Shahram Professional Microsoft SharePoint 2007 Workflow Programming/ Shahram Khosravi - М.: Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2008 г.- 582 с.
3. Curry, B. Microsoft SharePoint Products and Technologies Administrator's Pocket Consultant / B. Curry - М.: Microsoft Press, 2007 г. - 432 с
4. Васильев, Р. Б. Управление развитием информационных систем/ Р. Б. Васильев, Г. Н. Калянов, Г. А. Левочкина - М.: Горячая Линия - Телеком, 2009 г. – 489 с., ISBN 978-5-9912-0065-3
5. Мазур, И.И. Управление проектами: Учебное пособие/ И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогге - М.: 3-е изд. Изд. Москва: Омега-Л., 2004 г - 664 с., ISBN 5-98119-285-2

ЯДРОЛЫҚ БІЛІМДІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ

Уханов С.В., Цай Е.Е.

Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Курчатов

Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығында енгізіліп жатқан зияткерлік ақпараттық жүйе құрудың мақсаты қолда бар ақпараттық ресурстардың тиімді пайдаланылуын қамтамасыз ету, кәсіпорынның экономикалық тиімділігін арттыру болып табылады.

Мақалада білім басқару бойынша енгізіліп жатқан жүйенің нақты қызметі сипатталған, іздеу жүйесін құру тәсілдері зерттелген және WSS қызметінің конфигурациясы жүргізілген. Білім қоры құжатпен ұжымдық жұмыс жүргізуге, әртүрлі форматтағы ақпараттық объектілерді сақтауға және жүйелендіруге мүмкіндік береді, сұрау салулардың релевант нәтижелерін жылдам іздеуді және ұсынуды қамтамасыз етеді. Жүйе пайдаланушыларына авторлық түйіндер құруға және жеке құжаттамасын жүргізуге мүмкіндік берілген.

Жүйе санкцияланбаған қатынаудан дамыған сақтандыру механизміне және кәсіпорын доменінің бақылаушымен кірігу механизміне ие. Ақпаратты қалыптастыру және резервілеу жүйесінің шаралар кешені анықталған және тестілеу жүргізілген.

DEVELOPING AND DEPLOYMENT NUCLEAR KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM

S.V. Ukhanov, E.E. Tsay

National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

The purpose of creation intellectual information system being implemented in National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan is providing effective using of existing information resources and rising economical effectiveness of enterprise.

Description of real functionality of knowledge management system was adduced in the article, approaches to creation of search engine were researched, WSS services were configured.

Knowledgebase makes it possible to have collective work with documentation, provides with keeping and systematization of information objects of different formats, provides with quick search and view of relevant results of queries. Users of information system have a possibility to create personal sites and manage personal documentation.

The system has full-fledged mechanism of security and mechanism of integration with domain controller of enterprise. Backup system and restore system were tested.

УДК 661.185.5:621.039.7:539.16

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЖРО РУ БН-350

Зверева И.О., Лукашенко С.Н., Коровина О.Ю., Каширский В.В.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В данной статье представлены результаты работы, проведенной с целью разработки технологии по переработке неорганических ЖРО с учетом количественного и качественного состава отходов реакторной установки на быстрых нейтронах, расположенной в городе Актау, которая на данный момент находится на стадии вывода из эксплуатации. Приводятся результаты по исследованию возможности и эффективности применения перманганатного окисления для разложения органической составляющей модельных растворов, состав которых максимально приближен к составу ЖРО РУ БН-350. Представлены результаты по определению эффективности очистки от изотопов цезия на стадии ионообменной сорбции с использованием суспензии ферроцианида меди. Определены оптимальные условия основных стадий предлагаемой технологии переработки ЖРО РУ БН-350.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 2007 года в Институте радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ) ведутся исследования, направленные на разработку технологии по переработке неорганических ЖРО РУ БН – 350. Работа основана на аналитических и экспериментальных исследованиях, необходимых для разработки нового подхода к решению проблемы переработки ЖРО. Широкое использование прямой селективной сорбции радионуклидов не обеспечивает решения поставленной задачи по глубокой очистке технологических растворов из-за недостаточной стойкости материалов в этих системах, малого ресурса работы и невозможности обеспечить удаление таких радионуклидов, как ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{90}Sr , $^{238,239,240,241}\text{Pu}$, ^{237}Np , ^{241}Am . Переработка ЖРО РУ БН-350 должна в первую очередь основываться на учете особенностей ЖРО, в частности, наличие в них значительного количества трансурановых элементов. С этой целью необходимы комплексные лабораторные исследования по определению количественного и качественного состава ЖРО РУ БН-350.

Результаты теоретической и экспериментальной оценки образцов ЖРО из емкостей РУ БН-350 радионуклидного состава ЖРО РУ БН-350 были описаны в статье «К вопросу об эффективности технологии переработки жидких радиоактивных отходов реакторной установки БН-350», опубликованной в трудах Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг. [1].

Наибольшее распространение в настоящее время получила технология переработки ЖРО с использованием селективной сорбции, позволяющей сконцентрировать радиоактивные изотопы Cs в небольшом объеме сорбента. Согласно литературным источникам [2, 3] основными технологическими стадиями процесса очистки ЖРО при использовании селективной сорбции являются: предварительная фильтрация и подготовка исходного раствора, окисление органической составляющей ЖРО, фильтрация и непосредственно сорбция. После окисления и

фильтрации очищаемый раствор направляется на селективную сорбцию цезия с помощью ферроцианидных сорбентов.

Переработка ЖРО затрудняется вследствие наличия в значительных количествах комплексонов (этилендиаминтетраацетата натрия – ЭДТА, щавелевой кислоты, оксалат-ионов), с которыми радионуклиды кобальта и марганца находятся в форме прочных хелатных комплексов. Это определяет необходимость разрушения комплексов для решения проблемы выделения этих радионуклидов из растворов. Кроме того, необходимость разрушения органики определяется ее отравляющим действием на ферроцианидные сорбенты. Вследствие этого разрушение органических соединений представляет собой трудную, но очень важную задачу. Наиболее эффективным методом удаления комплексонов из водных сред является окислительная деструкция.

Чаще всего в атомной энергетике в качестве окислителя применяют озон и перманганат калия. Применение других окислителей, таких как перекись водорода, азотная кислота в присутствии катализатора и других химических окислителей считается малоэффективным [2-5]. Существенными недостатками применения озонирования являются: взрывоопасность процесса, его высокая себестоимость, обусловленная расходом электроэнергии, необходимостью монтажа озонаторной станции. Это определяет необходимость в исследованиях, направленных на разработку экономически привлекательной технологии, обеспечивающей более высокие барьеры безопасности. Согласно литературным источникам известно, что не меньшей окисляющей способностью обладает перманганат калия, применение которого в технологических процессах отвечает требованиям безопасности и экономичности.

Таким образом, учитывая литературные материалы по существующим технологиям переработки ЖРО, а также опыт экспериментальных исследований ИРБЭ, были выбраны исходные данные для

разработки эффективной технологии переработки ЖРО РУ БН-350 с учетом состава данных отходов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

С целью разработки технологии переработки ЖРО РУ БН-350 проведены следующие исследования:

- Исследование возможности применения перманганата калия для разложения органической составляющей модельных растворов на основе трилона Б и щавелевой кислоты; эффективности применения перманганатного окисления для очистки модельных растворов, состав которых максимально приближен к составу ЖРО РУ БН-350.
- Определение эффективности очистки от изотопов цезия на стадии ионообменной сорбции при использовании ферроцианида меди.
- Выбор оптимальных условий предлагаемой технологии переработки ЖРО РУ БН-350.

Объекты исследований: модельные растворы на основе трилона Б (№1), на основе щавелевой кислоты (№2); модельные растворы максимально приближенные к составу ЖРО РУ БН -350 (№3) (таблица 1).

1. ОКИСЛЕНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЖРО

Исследование возможности и эффективности применения метода перманганатного окисления для разложения органической составляющей модельных растворов №1 и №2. Определение эффективности очистки модельного от радионуклидов раствора №3.

Для оценки возможности применения метода перманганатного окисления для разложения органической составляющей растворов ЖРО были проведены экспериментальные исследования процесса окисления, при этом использовались: модельный раствор №1 с концентрацией трилона Б 0,58 н. (97,4 г) и модельный раствор №2 с концентрацией щавелевой кислоты 1,5 н (94,5 г/л). Окисление проводилось при нормальных условиях 5%-ым раствором перманганата калия при различных значениях рН для трилона Б и в кислой среде для щавелевой кислоты, так как в литературном источнике [9] приводятся сведения о том что в щелочной среде перманганат не окисляет оксалаты. Результаты представлены в виде графиков.

Таблица 1. Состав модельного раствора №3

Органическая составляющая	Элементный состав, мкг/л									Активность, Бк/л		
	Cs	Sr	Mn	Co	Na	Mg	Ca	Fe	K	²⁴¹ Am	¹⁵⁴ Eu	²⁴² Pu
трилон Б + щав.к-та	16	7	31	47	19000	11400	4000	750	470	20	1	0,5

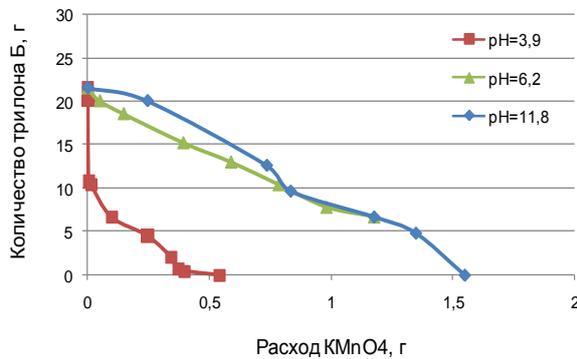


Рисунок 1. Зависимость концентрации трилона Б в растворе от количества перманганата калия, пошедшего на окисление

Из приведенного графика слева видно, что при доведении рН модельного раствора до значения 3,6 уменьшается содержание трилона Б в растворе. Данный факт объясняется тем, что при увеличении концентрации ионов водорода растворимость трилона Б понижается. Растворимость натриевых солей ЭДТА минимальна при рН=1,6-1,8[10]. Согласно проведенным исследованиям определено, что для разрушения 1 г трилона Б в растворе требуется в среднем 0,08 г перманганата калия. Предпочтительнее проводить окисление в кислой среде, так как из-за снижения растворимости трилона Б в кислой среде расход перманганата калия приблизительно в 3 раза меньше, чем в щелочной и нейтральной средах.

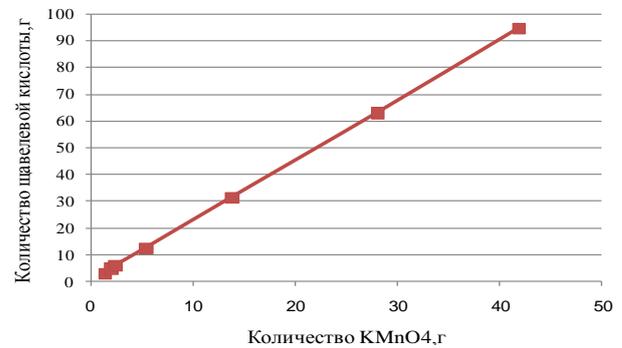


Рисунок 2. Зависимость концентрации щавелевой кислоты в растворе от количества перманганата калия, пошедшего на окисление

Также результаты проведенных исследований доказывают, что действительно перманганат калия достаточно эффективно окисляет щавелевую кислоту, окислителя при этом понадобится 0,5 г на 1 г щавелевой кислоты. Учитывая тот факт, что в состав ЖРО входит до 30 г/л трилона Б и до 8 г/л щавелевой кислоты, на окисление одного литра ЖРО требуется около 7 г перманганата калия.

Таким образом, с целью определения степени очистки ЖРО от радионуклидов на стадии перманганатного окисления был проведен эксперимент – окисление модельных растворов №3 (таблица 1). Окисление проводилось в трех повторностях при нормальных условиях и различных значениях рН

(в кислой, щелочной и нейтральной средах). При этом образовывались осадки, содержащие гидроксид железа и гидроксиды других переходных металлов, а также радионуклидов коррозионной группы (кобальта, марганца), которые были отделены методом фильтрования. Модельные растворы были приготовлены из солей стабильных изотопов и растворов, содержащих аттестованное количество радионуклидов ^{241}Am , ^{154}Eu , ^{242}Pu .

Эффективность очистки модельных растворов оценивалась путем определения содержания элементов в растворах после перманганатного окисления - с помощью микроэлементного анализа, гамма - спектрометрического и альфа - спектрометрического анализа. Окисление модельного раствора в нейтральной среде не происходило, поэтому результаты представлены только для растворов в кислой и щелочной средах (рисунок 3).

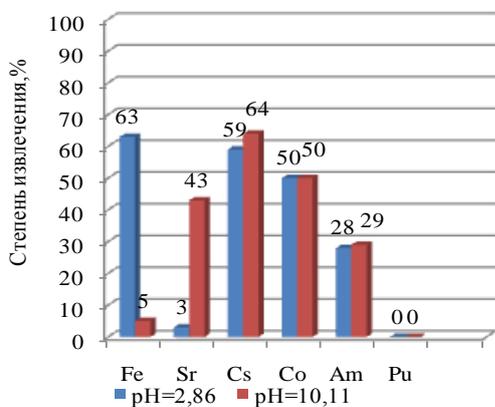


Рисунок 3. Степень очистки модельного раствора при различных значениях pH

Из гистограммы видно, что в щелочной среде степень извлечения изотопов выше, но в тоже время в кислой среде лучше извлекается Fe. Результаты, полученные в ходе определения эффективности перманганатного окисления, свидетельствуют о том, что 100% очистки ЖРО от радионуклидов на стадии окисления не достигается. Более того, очистка от Pu на данной стадии отсутствует вопреки ожиданиям, согласно которым при выпадении в осадок Fe должно произойти соосаждение изотопов Pu. Тем не менее, в результате разрушения органики при перманганатном окислении в осадок переходит Fe, Co, Cs, Am – от 3до 64% в зависимости от pH раствора.

2. ОЧИСТКА ЖРО ОТ ИЗОТОПОВ Cs НА СТАДИИ ИОНООБМЕННОЙ СОРБЦИИ

Очистка с использованием ферроцианида меди

Для определения влияния концентрации трилона Б и pH среды на степень извлечения изотопов цезия из растворов ЖРО были проведены исследования с использованием модельных растворов, содержащих различное количество трилона Б с различным значением pH среды. Результаты исследований представлены на рисунке 4.

Осаждение Cs из раствора при использовании сорбента - ферроцианида меди наиболее полно протекает в присутствии трилона Б в диапазоне концентраций от 0,05 н. (9 г/л) до 0,7 н. (130 г/л) и значении pH=2. При концентрации трилона Б от 0,02 до 0,05 н. при pH=2 извлечение Cs составляет ниже 100%. В остальных случаях степень извлечения Cs из раствора в присутствии трилона Б не превышает 65%, а начиная с pH=6 сорбция Cs из раствора вообще не происходит. При данных условиях сорбент, извлекающий Cs из раствора, растворяется.

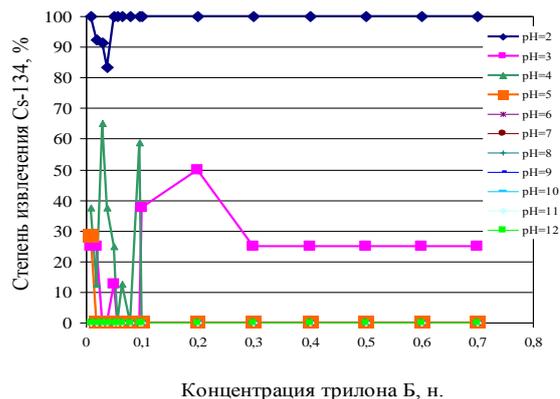


Рисунок 4. Зависимость степени извлечения ^{134}Cs от содержания в растворе трилона Б с использованием ферроцианида меди при различных значениях pH

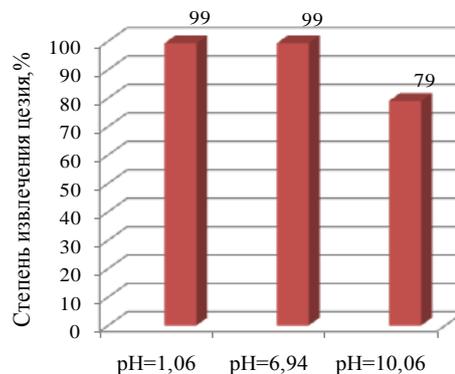


Рисунок 5. Степень извлечения цезия из модельных растворов

С целью определения степени очистки модельного раствора № 3 от изотопов цезия с использованием ферроцианида меди и выбора оптимальных условий проводились экспериментальные исследования при различных значениях pH (в кислой, щелочной и нейтральной средах). Результаты эксперимента представлены графически на рисунке (рисунок 5). Из приведенной гистограммы видно, что достаточно высокая степень очистки ЖРО достигается в кислой и нейтральной средах. В щелочной среде степень извлечения цезия из раствора не превышает 80 %, так как при данном значении pH происходит частичное растворение сорбента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были определены основные стадии технологического процесса по переработке неорганических ЖРО: перманганатное окисление с последующей фильтрацией и ионоселективная сорбция на ферроцианиде меди, выбраны оптимальные условия для каждой из стадий:

- На стадии окисления в качестве достаточно эффективного окислителя органической составляющей ЖРО может применяться перманганат калия в количестве 7 г на литр ЖРО. Очевидно, что окисление ЖРО необходимо осуществлять в 2 стадии. На первой стадии необходимо рН среды довести до 3-4 (с помощью серной кислоты). При этих условиях провести перманганатное окисление органической составляющей ЖРО. После контроля полноты разрушения органики, выпавший осадок необходимо будет отфильтровать и провести вторую стадию

окисления при рН=10. При этом в осадок должна перейти основная часть радионуклидов.

- На стадии сорбционной очистки - в качестве сорбента предлагается использовать ферроцианид меди, который имеет достаточно высокую сорбционную емкость – не менее $6,6 \cdot 10^{13}$ Бк на 1 кг сорбента. При этом важным контролируемым параметром является концентрация в отходах трилона Б и рН среды. При использовании ферроцианида меди следует учитывать, что в щелочной среде его эффективность снижается более чем на 20%.

После отработки технологии на реальных ЖРО РУ БН-350 и подтверждения эффективности предлагаемого метода можно будет судить о применении данных технологических операций в промышленном масштабе для утилизации жидких радиоактивных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Выпуск 2. Труды Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг.: сб.ст. / под рук. С. Н Лукашенко. - Павлодар: Дом печати, 2010. - 528 с.
2. Технология переработки плавов, накопленных на АЭС / А.П. Кобелев, А.Е. Савкин, О.Г. Синякин, Е.А. Качалова, А.Н. Сороколетова, В.Р. Нечаев // Стратегия безопасности использования атомной энергии: междунар. конф. - Санкт-Петербург: ГУП МосНПО «Радон», 2006
3. Метод ионоселективной очистки жидких радиоактивных отходов атомных станций / А.Э. Арустамов, А.В. Зинин, П.В. Красников, Ю.П. Прилепо, В.В. Перевезенцев, А.Е. Савкин, А.А. Свитцов, С.Б. Хубецов. - Москва, ЗАО «РАОТЭХ», 2006.
4. Селиверстов, А.Ф. Разложение шавелевой кислоты концентрированным озоном в водных растворах / А.Ф.Селиверстов, Б.Г. Ершов, Ю.О. Лагунова [и др.] // Радиохимия. - 2008. - Т.50. - №1. - С.62-65.
5. Шилов, В.П. Гетерогенно-каталитическое разложение комплексонов / В.П. Шилов, В.И. Дзюбенко, Л.Н. Астафурова, Н.Н. Крот // ЖПХ. - 1990. - Т.63. - № 2. - С.348-353.
6. Крот, Н.Н. Способ разложения комплексонов в азотнокислых растворах / Н.Н. Крот, В.П.Шилов, В.И. Дзюбенко [и др.] // Радиохимия. - 1994. - Т.36. -№1. - С. 19-24.
7. Shilov, V.P. Investigation on Application of Homogeneous and Heterogeneous Catalysis for Alkaline Waste Treatment / V.P. Shilov, A.A. Bessonov, A.Y. Garnov [et al.]. // Report PNNL-11623 UC-2030. - Richland, Washington (USA): Pacific Northwest National Laboratory, 1997.
8. Гарнов, А.Ю. Каталитическое разложение органических анионов в щелочных радиоактивных отходах. 1. Окисление ЭДГА / А.Ю. Гарнов, В.П. Шилов, А.В. Гоголев [и др.] // Радиохимия. - 2002. - Т.44. -№ 5. - С. 437-442.
9. Крешков, А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ, книга вторая / А.П. Крешков. - М.: Химия, 1976. - 480 с.
10. Дятлова, Н.М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н.М. Дятлова, В.Я. Темкина, К. И. Попов. - М.: Химия, 1988. - 544 с.

БН-350 РҚ ОРГАНИКАЛЫҚ ЕМЕС СРҚ ҚАЙТА ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

Зверева И.О., Лукашенко С.Н., Коровина О.Ю., Каширский В.В.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Бұл мақалада қазіргі уақытта пайдаланудан шығару сатысында тұрған Ақтау қаласында орналасқан шапшаң нейтрондардағы реактор қондырғысы қалдықтарының мөлшерлік және сапалық құрамын ескере отырып, органикалық емес СРҚ қайта өңдеу технологиясын әзірлеу мақсатында өткізілген жұмыстардың нәтижелері берілген. Құрамы БН-350 РҚ СРҚ құрамына барынша жақындатылған үлгідегі ерітінділердің органикалық құрамын ыдырауға арналған перманганат тотығын қолдану тиімділігі мен мүмкіндігін зерттеу нәтижелері берілген. Мыс ферроцианидіннің суспензиясын пайдалана отырып ион алмасу сорбциясы сатысында изотоптан тазалау тиімділігін анықтау нәтижелері берілген. Ұсынылған БН-350 РҚ СРҚ қайта өңдеу технологиясының негізгі кезеңдерінің оңтайлы шарттары анықталды.

**DEVELOPMENT OF REPROCESSING TECHNOLOGY
FOR INORGANIC LIQUID RADIOACTIVE WASTE (LRW) OF RU BN-350**

I.O. Zvereva, S.N. Lukashenko, O.Yu. Korovina, V.V. Kashirskiy

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents the results of the works done to develop a technology for reprocessing of inorganic LRW taking into account quantitative and qualitative composition of wastes from fast neutron reactor plant located in Aktau city, that is at the decommissioning stage. Results are presented on the research of feasibility and efficiency of permanganate oxidation to digest organic constituents of model solutions, composition of which is as close to the composition of LRW from BN-350. Results are presented on determination of separation efficiency from caesium isotopes at the stage of ion-exchange sorption with a suspension of copper ferrocyanide. The optimal conditions were found main stages of the proposed technology for reprocessing of liquid radioactive wastes from BN-350.

УДК 577.391:504.064:539.16

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ (пл. «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»)

Кожуханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Ларионова Н.В.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты натурального эксперимента с сельскохозяйственными культурами, выращенными на радиоактивно-загрязненной территории площадки «Опытное поле» бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП). В результате работ выявлены особенности накопления и распределения техногенных радионуклидов в морфологических органах исследуемых растений. Получены коэффициенты накопления ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am для продукции растениеводства, необходимые для прогноза концентраций данных радионуклидов при оценке возможности передачи части территории СИП в хозяйственное пользование.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях проведения масштабных работ, по передаче части земель бывшего СИП в хозяйственное использование не хватает экспериментальных величин необходимых для прогноза возможных концентраций радионуклидов в продукции растениеводства, в случае их получения на исследуемой территории. Исследования, проводимые ранее на территории СИП были связаны с изучением накопления и распределения радионуклидов в дикорастущей растительности, а также с оценкой качества продукции животноводства – отрасли сельского хозяйства, являющейся основной для данного региона. Работ по изучению особенностей накопления техногенных радионуклидов в урожае сельскохозяйственных (с/х) культур в мировой практике достаточно, однако их результаты применимы только в аналогичных почвенно-климатических условиях [1,2]. Особый интерес представляют радионуклиды $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , данные по которым встречаются крайне редко даже в обобщенных материалах мировых исследований [3].

Проведение исследований, направленных на получение прогнозных величин накопления радионуклидов в продукции растениеводства имеет большую практическую значимость для оценки дозовых нагрузок на население, проживающее на территории СИП и прилегающих территориях.

1. ПОСТАНОВКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на площадке «Опытное поле» расположенной в северо-западной части бывшего СИП. Для проведения исследований на территории испытательного участка П-2 площадки «Опытное поле» был выбран опытно-экспериментальный участок с высоким уровнем содержания в почве техногенных радионуклидов, в особенности трансураниевых радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am .

В качестве экспериментальных растений были выбраны 23 вида с/х культур, относящихся к 6 раз-

личным семействам: злаковым, лилейным (посажеными семенами и севком - небольшой луковичкой), тыквенным, пасленовым, капустным и сельдерейным.

Система земледелия включала следующие мероприятия: агротехнические (перекопка почвы, выравнивание поверхностного слоя, удаление сорных растений) и мелиоративные (искусственное орошение привозной чистой водой). Агротехнические приемы ведения земледелия (использование удобрений и других химических веществ, применяемых против болезней и вредителей растений) не применялись, с целью получения данных об особенностях накопления радионуклидов в с/х растениях без влияния данного фактора.

Отбор проб с/х растений производился по мере созревания их основной продукции, с последующим разделением на генеративные и вегетативные органы. Сопряжено с отбором растений производился и отбор почвы.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайности с/х культур позволяют сделать вывод о том, что на исследуемой территории возможно выращивание картофеля, редиса и моркови (277, 94 и 144 ц/га соответственно) при использовании только искусственного орошения и простых агротехнических приемов. Урожайность фасоли, лука, перца, томата и арбуза – 36 ц/га, 52,5 ц/га, 47 ц/га, 45 ц/га и 15 ц/га соответственно, что в 2-7 раз меньше средних урожайностей для данных культур указанных в литературных источниках [4]. Дыня, баклажан, петрушка в почвенно-климатических условиях исследуемого региона были не урожайными.

2.1. Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных растениях и почве

В ходе эксперимента были получены удельные активности радионуклидов в исследуемых растениях и почвах, которые представлены в таблице 1.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ (пл. «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»)

Таблица 1. Удельная активность радионуклидов в растениях (воздушно-сухое состояние) и почвах

С/х культура	Тип пробы	Удельная активность, Бк/кг		
		²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
арбуз	плоды	0,24 ± 0,12	5 ± 0,2	*
	стебли	9,7 ± 0,4	89 ± 1	*
	корни	6,2 ± 1,4	53 ± 3	*
	почва	1000 ± 100	2200 ± 200	2000 ± 500
дыня	плоды	0,8±0,4	4,9±0,7	*
	листья	5,9±0,4	56±2	3050±16
	корни	2,8±0,7	26±2	*
	почва	1100±100	2400±200	2000±400
томат	плоды	0,32 ± 0,11	6 ± 0,4	<1,5
	листья	6,3 ± 0,3	55 ± 1	640±6
	стебли	1,6 ± 0,3	15,3 ± 0,7	1020±8
	корни	34,3 ± 0,7	250 ± 2	700±8
перец	почва	1400 ± 100	2500 ± 300	2700 ± 500
	плоды	0,5 ± 0,2	2,5 ± 0,3	<2,3
	листья	2,4 ± 0,2	26,8 ± 0,5	650±5
	стебли	1,7 ± 0,2	14,9 ± 0,6	1100±10
баклажан	корни	1,5 ± 0,4	22 ± 1	390±8
	почва	670 ± 70	1200 ± 100	1700 ± 400
	плоды	*	*	<5,1
	листья	4,7±0,4	45,6±1,4	950±8
капуста	стебли	0,7±0,2	5±0,4	980±10
	корни	1,8±0,3	16,2±0,7	360±5
	почва	690±70	1100±100	1200±300
	листья	0,85 ± 0,15	12,3 ± 0,5	780±5
петрушка	стебли (кочерыги)	3,2 ± 0,5	21,1 ± 1,1	60±2
	корни	13,3 ± 0,4	89,2 ± 1,1	107±3
	почва	1100 ± 100	1500 ± 200	1800±400
морковь	листья	1,5 ± 0,3	12 ± 1	78±6
	корни	0,7 ± 0,1	6,7 ± 0,4	<3,2
	почва	390 ± 40	540 ± 50	520 ± 230
лук репчатый (семенами)	листья	0,9 ± 0,2	10,5 ± 0,4	97±3
	корнеплод	0,83 ± 0,08	4,6 ± 0,2	380±5
	почва	530 ± 50	690 ± 70	990±270
лук репчатый (севком)	листья	20 ± 1	60 ± 2	550±16
	луковицы	7 ± 1	46 ± 3	234±6
	почва	570 ± 60	1100 ± 100	770 ± 280
лук репчатый (севком)	листья	1,7 ± 0,2	14,9 ± 0,6	232±3
	луковицы	2,2 ± 0,5	22 ± 1	1070±13
	почва	1100 ± 100	2000 ± 200	2300±400

2.2. Изучение характера распределения радионуклидов по генеративным и вегетативным органам сельскохозяйственных растений

На основании полученных значений удельной активности ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в исследуемых растениях рассчитаны коэффициенты накопления (Кн) данных радионуклидов. Проведена оценка распределения ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr по органам исследуемых растений с учётом принадлежности к тому или иному семейству (таблицы 2-5).

Характер распределения данных радионуклидов в органах растений семейства тыквенных схож и представляет следующий убывающий ряд: надземная часть > подземная часть > плоды. Общий вид распределения ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs в органах растений семейства злаковых: корни > стебли > пленка зерна > зерно. Анализ данных показал что в среднем Кн ¹³⁷Cs больше Кн ²⁴¹Am для растений семейства тыквенных и злаковых в 4 раза и 6 раз соответственно.

Таблица 2. Кн радионуклидов в органах растений семейства тыквенных и злаковых

С/х культура (тыквенные)	Тип пробы	Кн		С/х культура (злаковые)	Тип пробы	Кн	
		²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs			²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs
арбуз	плоды	0,00025	0,0023	пшеница	зерно	<0,0033	0,0036
	надземная часть*	0,010	0,041		пленка зерна	0,0057	0,0062
	корни	0,0064	0,024		стебли	<0,0061	0,028
дыня	плоды	0,00073	0,0020	ячмень	корни	0,015	0,099
	надземная часть	0,0054	0,023		стебли	0,0028	0,017
	корни	0,0026	0,011		корни	0,017	0,10

Примечание: * - стебли + листья

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ (пл. «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»)

Таблица 3. Кн радионуклидов в органах растений семейства пасленовых

С/х культура	Тип пробы	Кн		
		²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Томат	плоды	0,00023	0,002	<0,00056
	листья	0,0045	0,022	0,24
	стебли	0,0011	0,006	0,38
	корни	0,025	0,1	0,26
Перец	плоды	0,00075	0,0021	<0,0014
	листья	0,0036	0,022	0,38
	стебли	0,0025	0,012	0,65
	корни	0,0022	0,018	0,23
Баклажан	плоды	*	*	<0,0043
	листья	0,0068	0,042	0,80
	стебли	0,0010	0,0046	0,82
	корни	0,0026	0,015	0,30

Примечание: * - данных нет

Убывающий ряд по накоплению ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs в органах растений семейства пасленовых следующий: листья > стебли ≥ корни > плоды. Исключение составил томат, где максимум данных радионуклидов отмечен в корнях. Накопление ⁹⁰Sr в органах растений семейства пасленовых отличается и имеет

следующий убывающий ряд: стебли > листья ≥ корни > плоды. Накопление радионуклидов в органах растений семейства пасленовых представлено следующим образом: ⁹⁰Sr > ¹³⁷Cs > ²⁴¹Am.

Распределение ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в органах растений семейства лилейных зависит от вида посадочного материала: листья > луковицы (семенами); луковицы > листья (севком). Характер распределения ⁹⁰Sr в органах растений семейства лилейных: листья > луковицы (семенами) и луковицы > листья (севком), а у растений семейства сельдерейных: надземная часть > подземная часть (петрушка) и подземная часть > надземная часть (морковь). Накопление радионуклидов в органах растений семейства лилейных: ⁹⁰Sr > ¹³⁷Cs > ²⁴¹Am, а у растений семейства сельдерейных: ¹³⁷Cs > ⁹⁰Sr > ²⁴¹Am. Накопление ⁹⁰Sr у растений семейства лилейных происходит интенсивнее ¹³⁷Cs в среднем в 18 раз и ²⁴¹Am – в 85 раз; а у растений семейства сельдерейных накопление ⁹⁰Sr интенсивнее ¹³⁷Cs в 23 раза (исключение корни петрушки) и ²⁴¹Am в 84 раза.

Таблица 4. Кн радионуклидов в органах растений семейства лилейных и сельдерейных

С/х культура (лилейные)	Тип пробы	Кн			С/х культура (сельдерейные)	Тип пробы	Кн		
		²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr			²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
лук репчатый (семенами)	листья	0,035	0,055	0,71	Морковь	листья	0,0017	0,015	0,098
	луковицы	0,012	0,042	0,30		корнеплоды	0,0016	0,0067	0,38
лук репчатый (севком)	листья	0,0015	0,0075	0,10	Петрушка	листья	0,0039	0,022	0,15
	луковицы	0,0020	0,011	0,46		корни	0,0018	0,012	<0,0062

Таблица 5. Кн радионуклидов в органах растений семейства капустных

С/х культура	Тип пробы	Кн		
		²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
капуста	листья	0,00077	0,0082	0,43
	стебли	0,0029	0,014	0,033
	корни	0,012	0,060	0,059

Распределение ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs в органах растений семейства капустных: корни > стебли > листья. Распределение ⁹⁰Sr в органах растений семейства капустных: листья > корни > стебли. В среднем Кн ⁹⁰Sr для растений семейства капустных превышает Кн ¹³⁷Cs – в 3 раза и ²⁴¹Am – в 191 раз.

2.3. Оценка возможности производства растениеводческой продукции в условиях радиоактивного загрязнения на территории СИП

Сравнительная оценка полученных данных удельной активности ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr с допустимой удельной активностью (ДУА в сырой растительной массе) данных радионуклидов в продукции растениеводства показывает, что исследуемые растения по значениям удельной активности не превышают санитарно-гигиенических норм [5]. Используя формулу:

$$ПДС_{почва} = \frac{ДУА}{Кн}$$

где ПДС_{почва} – предельно допустимое содержание исследуемого радионуклида в почве, ДУА – допустимая удельная активность радионуклидов в растительной продукции (на сырую массу), Кн – коэффициент накопления исследуемого радионуклида, можно рассчитать допустимое содержание радионуклидов в почве, при котором возможно получение «чистой» с/х продукции. ПДС некоторых исследуемых радионуклидов в почве представлено в таблице 6.

Таблица 6. Оценочное предельно допустимое содержание радионуклидов в почве

С/х культура	Продукция	ПДС в почве, Бк/кг		
		²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
арбуз	плоды	161700	528000	*
дыня	плоды	61100	653000	*
томат	плоды	117000	333000	480000
перец	плоды	76600	823000	422000
баклажан	плоды	*	*	134000
петрушка	листья	2000	10600	500
капуста	листья	18500	52300	300
морковь	корнеплод	17000	120000	700
лук (семенами)	луковицы	2500	22100	1000
лук (севком)	луковицы	12500	68200	540

Примечание: * - данных нет

ВЫВОДЫ

Установлено, что наиболее интенсивно происходит накопление ^{241}Am и ^{137}Cs у злаковых, капустных, лилейных (севком), сельдерейных (морковь) и пасленовых (томат) - в подземной части растений, а у сельдерейных (петрушка), тыквенных, пасленовых (перец, баклажан) и лилейных (семенами) - в надземной части растений. Максимальное накопление ^{90}Sr отмечается в листьях (капуста, петрушка, перец, баклажан и лук (семенами)), Наименьшее накопление исследуемых радионуклидов отмечается в генеративных органах (плодах и зерне). Для всех исследованных растений выявлена следующая закономерность накопления радионуклидов: накопление ^{90}Sr в среднем интенсивнее ^{137}Cs на 1-2 порядка и

^{241}Am – на 2-3 порядка, а накопление ^{137}Cs происходит интенсивнее ^{241}Am в 5 раз.

Полученные экспериментальные значения Kn ^{137}Cs , и ^{241}Am указывают на возможность получения растениеводческой продукции соответствующей санитарным нормам при высоких уровнях радионуклидного загрязнения почв: ^{241}Am – 61100 Бк/кг и ^{90}Sr – 134000 Бк/кг для растений семейства тыквенных и пасленовых. При выращивании с/х культур на территории «Опытного поля» с концентрацией в почве: ^{241}Am – не более 2000 Бк/кг и ^{90}Sr – не более 300 Бк/кг основная продукция растений семейства капустных, сельдерейных и лилейных будет соответствовать санитарным нормам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сельскохозяйственная радиэкология / под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. - М.: Экология, 1992. - С. 54-79.
2. Фесенко, С.В. Динамика снижения коэффициентов перехода ^{137}Cs в сельскохозяйственные растения после аварии на чернобыльской АЭС/ С.В. Фесенко, Н.И. Санжарова, К.Б. Лисянский, Р.М. Алексахин. //Радиационная биология. Радиэкология. - 1998. - Т. 38. - Вып. 2. - С. 256-265.
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA - TECDOC-1616. – Vienna: IAEA, 2009. - С. 155-178.
4. Эдельштейн, В.И. Овощеводство / В. И. Эдельштейн. – Изд. 3-е, перераб. - М., Сельхозиздат, 1962. - 440с.
5. Санитарные правила и нормы от 11 июня 2003 года N 4.01.071.03 "Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов". - С.53-56.

ЖЕРҮСТІ ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАР ӨТКІЗІЛГЕН АУДАНДА («ТӘЖІРІБЕ АЛАҢЫ») АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ТЕХНОГЕНДІ РАДИОНУКЛИДТЕРДІ ЖИНАҚТАУ ЕРЕКШЕЛІГІ

Қожаханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Ларионова Н.В.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Бұл мақалада бұрынғы Семей сынақ полигонының (ССП) «Тәжірибе алаңының» радиоактивті ластанған аумағында өсірілген ауыл шаруашылығы дақылдарына жасалған табиғи тәжірибенің нәтижелері берілген. Жұмыстардың нәтижесінде зерттеліп жатқан өсімдіктердің морфологиялық мүшелерінде техногенді радионуклидтердің таралуы мен жинақталуының ерекшеліктері анықталды. Өсімдік шаруашылығы өнімдері үшін ^{137}Cs , ^{90}Sr және ^{241}Am жинақталу коэффициенті алынды, бұл ССП аумағының кейбір бөліктерін халық шаруашылығына пайдалануға беру мүмкіндігін бағалау кезінде аталған радионуклидтердің шоғырлануына болжау жасау үшін қажет.

FEATURES OF ACCUMULATION OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN THE AGRICULTURAL CROP IN THE VICINITY OF GROUND NUCLEAR TESTS ("EXPERIMENTAL FIELD" SITE)

T.E. Kozhakhhanov, S.N. Lukashenko, A.V. Panitskiy, N.V. Larionova

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents the results of full-scale experiments with crops grown on radioactively contaminated land of "Experimental field" sites at the former Semipalatinsk test site (STS). The research revealed peculiarities of accumulation and distribution of artificial radionuclides in the anatomical agency organs of the plants studied. There were obtained accumulation coefficients of ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{241}Am for crop products, necessary to predict the concentrations of these radionuclides in assessing the feasibility of releasing the STS territory for economic use.

УДК 577.4:577.391: 504.73:539.16

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
СТЕПНЫМИ РАСТЕНИЯМИ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» БЫВШЕГО СИП**

Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Кундузбаева А.Е., Келлер С.А.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены количественные параметры накопления радионуклидов степными растениями на площадке «Опытное поле». Установлены диапазоны значений коэффициентов накопления ^{241}Am , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ и оценочно ^{90}Sr . Рассмотрены физико-химические свойства светло-каштановых почв и их влияние на накопление радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs растениями. Приведен сравнительный анализ коэффициентов накопления радионуклидов для степных растений с «Опытного поля» с коэффициентами накопления для растений с других участков бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований особенностей накопления искусственных радионуклидов степными растениями обусловлена, прежде всего, проведением масштабных работ по передаче части земель бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) в хозяйственный оборот. В этих условиях параметры перераспределения радионуклидов в системе почва-растение являются неотъемлемым звеном для прогноза уровней радиоактивного загрязнения продуктов питания, и как следствие, используются при расчете доз для населения, проживающего на территории СИП.

Отдельные работы по изучению особенностей накопления радионуклидов растениями на территории бывшего СИП проводились и ранее, однако более регулярные исследования в этом направлении были начаты сравнительно недавно. Впервые для получения достоверных данных, характеризующих накопление искусственных радионуклидов определенными видами растений, такие работы были проведены на площадке «Дегелен». Так, в районе штолен № 176 и № 177, в условиях контроля большинства основных влияющих факторов, исследовались особенности перераспределения и динамики содержания радионуклидов в наземной части растений лугового биогеоценоза [1].

На сегодняшний день относительно слабо изученным, причем не только для территории СИП, но и для международных исследований в целом, остается вопрос о накоплении растениями трансурановых радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am . В связи с этим появилась необходимость в достоверной информации о параметрах их перехода из почвы в наземную часть растений, получение которой возможно лишь при наличии высокого уровня радиоактивного загрязнения почв. Таким образом, в качестве исследуемой территории на СИП была выбрана площадка «Опытное поле», характеризующаяся высоким содержанием трансурановых радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвах.

Полученные знания параметров накопления радионуклидов исследуемыми видами растений в дальнейшем будут использованы при расчете доз для населения, проживающего на территории СИП, а также могут послужить основанием для разработки как конкретных практических рекомендаций, направленных на решение проблемы радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова исследуемой территории, так и для комплекса мероприятий по снижению содержания радионуклидов в продукции, получаемой в условиях радиационного загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**Проведение экспедиционных работ**

Участки для проведения исследований выбраны на основании данных площадного распределения мощности экспозиционной дозы (МЭД) и результатов измерений радиационных параметров (плотности потока β -частиц и МЭД) во время проведения экспедиционных работ [2]. Исследовательские площадки (всего 32) заложены на всех, выявленных ранее, 12-ти эпицентрах проведения различных наземных испытаний на площадке «Опытное поле», по 3-4 площадки на каждом из эпицентров (рисунок 1).

Изучение растительного покрова проводилось отдельными методами геоботанического описания с выделением основных типов растительности, определением проективного покрытия и видового состава растений [3]. Объектами исследования выбраны основные ценозообразователи сухой степи: ковыль (*Stipa capillata*), типчак (*Festuca alesiacca*) и полынь (*Artemisia sublessingiana*, *A. marschalliana*). С каждой площадки сопряженно отобраны наземные части исследуемых видов растений и смешанная проба почвы (методом конверта на глубину 5 см).

Физико-химический анализ почв

Механический состав почвы определялся пипет-методом, устанавливающим количественное соотношение в процентах почвенных фракций, охватывающих ту или иную группу частиц разного размера [4].

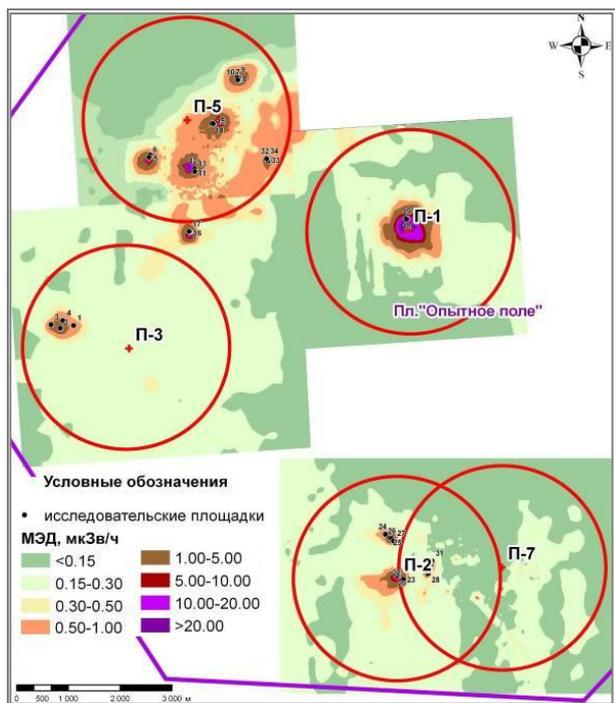


Рисунок 1. Схема расположения исследовательских площадок на «Опытном поле»

Определение содержания в почве гумуса проводилось по методу Тюрина в модификации Никитина [4]. Карбонатность определялась объемным методом по Голубеву, основанном на измерении добавочного давления в кальциметре, получаемого от углекислоты, выделившейся при воздействии 18 %-ного раствора HCl на содержащиеся в почве карбонаты. Давление измерялось по высоте поднявшегося ртутного столба в стеклянной трубке, отсчет производился по специальной шкале [4]. Наиболее доступные растения формы нахождения радионуклидов в почвах определялись методом последовательного выщелачивания различными реагентами (водой – водорастворимая форма и 1М раствором уксуснокислого аммония – обменная форма) и измерением их содержания в полученных вытяжках [6].

Радионуклидный анализ

Анализ по измерению удельной активности радионуклидов в пробах почвы и растений проводился в соответствии с гостированными методическими указаниями на поверенной лабораторной аппаратуре [7,8]. Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводилось на гамма-спектрометре Canberra GX-2020, ^{90}Sr – на бета-спектрометре «Прогресс», $^{239+240}\text{Pu}$ определяли радиохимическим выделением с последующим измерением на альфа-спектрометре Canberra, мод.7401. Концентрация ^{137}Cs в растениях определялась в сухих (предвари-

тельно вымытых) измельченных образцах, ^{241}Am , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Предел обнаружения по ^{137}Cs составлял 0,1 Бк/кг (для проб растений) и 4 Бк/кг (для проб почвы), ^{241}Am – 0,05 Бк/кг и 1 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,1 Бк/кг и 1 Бк/кг соответственно, ^{90}Sr – 100 Бк/кг. Погрешность измерений для ^{137}Cs и ^{241}Am не превышала 10-20 %, ^{90}Sr – 15-25 %, $^{239+240}\text{Pu}$ – 30%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установление количественных параметров накопления радионуклидов степными растениями на площадке «Опытное поле»

Для количественной оценки параметров накопления радионуклидов из почвы в надземной части растений использован, наиболее часто применяемый в мировой практике показатель – коэффициент накопления (Кн) [9]. В таблице представлены результаты анализов по определению удельной активности и Кн радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ для растения ковыль (*Stipa capillata*) (таблица 1). Ввиду отсутствия количественных величин удельной активности радионуклида ^{90}Sr в надземной части растений значения Кн для него указаны оценочно.

Исходя из полученных данных, можно отметить, что все выбранные исследовательские площадки характеризуются почвами с высоким содержанием трансурановых элементов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , и в сравнительно меньшей степени загрязнены ^{137}Cs и ^{90}Sr . Диапазон значений Кн $^{239+240}\text{Pu}$ составляет 2 порядка, Кн ^{241}Am и ^{137}Cs – по 3 порядка. Оценочные значения Кн ^{90}Sr аномально низкие – не превышают десятых. Распределение значений Кн радионуклидов представлено в виде гистограммы частоты встречаемости Lg Кн (рисунок 2).

Представленная гистограмма наглядно демонстрирует, что накопление радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ степными растениями изменяется в довольно широких пределах. Причем для ^{241}Am и ^{137}Cs эти различия чуть более выражены, чем для $^{239+240}\text{Pu}$. Отношение $\text{Кн } ^{137}\text{Cs} / \text{Кн } ^{241}\text{Am}$ составляет ~ 10 , $\text{Кн } ^{239+240}\text{Pu} / \text{Кн } ^{241}\text{Am} \sim 2$, $\text{Кн } ^{137}\text{Cs} / \text{Кн } ^{239+240}\text{Pu} \sim 5$. Таким образом, наибольшее накопление в надземной части растений характерно для ^{137}Cs , при этом оно примерно в 10 раз превышает накопление ^{241}Am и в 5 раз – $^{239+240}\text{Pu}$. Радионуклид $^{239+240}\text{Pu}$ же в свою очередь накапливается в растениях приблизительно в 2 раза больше, чем ^{241}Am . Определенный интерес представляют собой и оценочные величины Кн ^{90}Sr не превышающие единицы, что предварительно указывает на незначительное его накопление в надземной части растений исследуемой территории.

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
СТЕПНЫМИ РАСТЕНИЯМИ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» БЫВШЕГО СИП**

Таблица 1. Диапазоны значений удельной активности и K_n радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$

Радионуклид	n	Удельная активность, Бк/кг				Коэффициенты накопления		
		почва		растения		min	max	среднее арифметическое
		min	max	min	max			
^{241}Am	32	700	102000	0,05	860	0,00001	0,01	0,001
^{137}Cs	32	340	9000	0,1	160	0,0001	0,1	0,01
^{90}Sr	32	*	29000	*	2800	-	-	<0,1
$^{239+240}\text{Pu}$	12	900	1300000	2	27	0,00001	0,002	0,001

Примечание: n – число случаев, * – ниже предела обнаружения (^{90}Sr - <100)

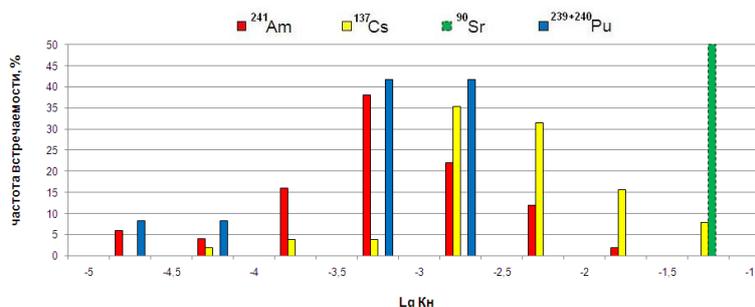


Рисунок 2. Распределение значений $Lg K_n$ радионуклидов

Изучение и оценка влияния некоторых физико-химических свойств почв на накопление радионуклидов растениями на площадке «Опытное поле»

Определенное влияние на накопление радионуклидов растениями могут оказывать физико-химические свойства почв и формы нахождения в них самих радионуклидов [10]. По данным проведенных анализов установлено, что исследуемые почвы относятся к светло-каштановым, нормальным (мощность рыхлых отложений более 80 см), суглинистым (содержание физической глины 27,5-67,6 %), карбонатным (до 4-5 %) и слабо засоленным (сумма солей 0,03-0,1 %). По содержанию органического вещества исследуемые почвы слабо гумусированы – общий гумус не превышает 2-3,5 %. Содержание наиболее доступных растениям водорастворимой и обменной форм нахождения всех

рассматриваемых радионуклидов в большинстве случаев находится ниже предела обнаружения.

Оценка влияния некоторых физико-химических свойств светло-каштановых почв (кислотности, суммы солей в водной вытяжке, содержания в почве гумуса и физической глины) на накопление радионуклидов растениями из-за недостатка количественных данных по ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ рассмотрена только для ^{241}Am и ^{137}Cs (для ковыля (*Stipa capillata*)) (рисунок 3).

Как показывают представленные графики, влияние рассмотренных физико-химических свойств почв на накопление радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs растениями отсутствует. Причиной этому может служить, как недостаточный диапазон варьирования данных факторов в пределах исследуемой территории, так и отсутствие наиболее доступных форм нахождения в почве радионуклидов.

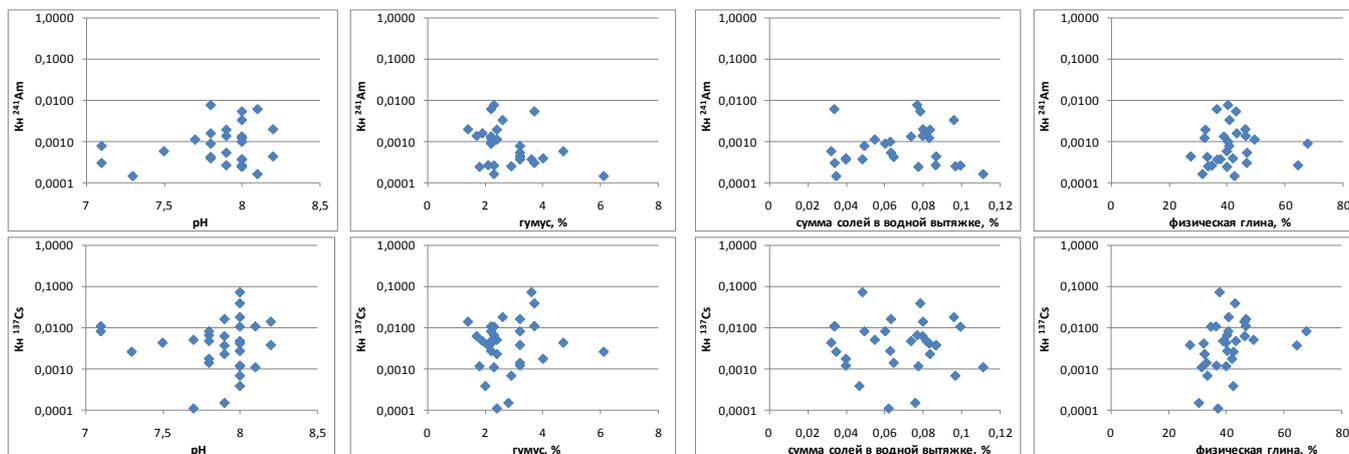


Рисунок 3. Зависимость K_n радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs от некоторых физико-химических свойств светло-каштановых почв (для ковыля (*Stipa capillata*))

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
СТЕПНЫМИ РАСТЕНИЯМИ НА ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» БЫВШЕГО СИП**

Сравнительный анализ коэффициентов накопления радионуклидов для степных растений с «Опытного поля» с коэффициентами накопления для растений с других участков бывшего Семипалатинского испытательного полигона

Для оценки полученных результатов о накоплении радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ степными растениями проведем их сравнительный

анализ с данными полученными ранее для различных растений, отобранных с других территорий СИП. Дополнительно сопоставим полученные данные с обобщенными международными материалами [11] для 2-х групп растений (разнотравье и пастбищные травы), отобранных на суглинистых почвах, характерных и для территории СИП (таблица 2).

Таблица 2. Диапазоны значений коэффициентов накопления (Кн) радионуклидов для различных растений с территорий СИП

Исследуемые растения	Кн			
	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
Исследуемая территория «Опытного поля»				
ковыль (<i>Stipa capillata</i>)	$\frac{0,001 (n=32)}{0,00001 - 0,01}$	$\frac{0,01 (n=32)}{0,0001-0,1}$	<0,1 (n=32)	$\frac{0,001 (n=12)}{0,00001 - 0,002-}$
Площадка «Дегелен», район штольни № 176				
пижма (<i>Tanacetum vulgare</i>)	-	$\frac{2,80 (n=10)}{0,01 - 16,30}$	$\frac{1,80 (n=10)}{0,80 - 5,70}$	-
шиповник (<i>Rosa spinosissima</i>)	-	$\frac{2,60 (n=10)}{0,01 - 13,20}$	$\frac{2,00 (n=10)}{0,40 - 4,50}$	-
волоснец (<i>Leymus angustus</i>)	-	$\frac{1,30 (n=10)}{0,05 - 7,50}$	$\frac{3,30 (n=10)}{0,90 - 9,50}$	-
Площадка «Дегелен», район штольни № 177				
пижма (<i>Tanacetum vulgare</i>)	<0,03 (n=10)	$\frac{0,02 (n=10)}{0,002 - 0,06}$	$\frac{0,80 (n=11)}{0,50 - 1,40}$	$\frac{0,01 (n=5)}{0,0003 - 0,02}$
иван-чай (<i>Chamaenerium angustifolium</i>)	<0,13 (n=12)	$\frac{0,20 (n=12)}{0,001 - 1,00}$	$\frac{1,30 (n=13)}{0,50 - 4,00}$	$\frac{0,004 (n=3)}{0,001 - 0,003}$
бодяк (<i>Cirsium arvense</i>)	<0,09 (n=9)	$\frac{0,10 (n=11)}{0,008 - 0,60}$	$\frac{2,47 (n=11)}{1,80 - 3,20}$	$\frac{0,01 (n=2)}{0,003 - 0,02}$
«Фоновые» северные территории СИП				
степное разнотравье	$\frac{0,06 (n=3)}{0,02 - 0,11}$	$\frac{0,02 (n=14)}{0,003 - 0,06}$	<0,40 (n=4)	$\frac{0,03 (n=9)}{0,01 - 0,1}$
«Фоновые» западные территории СИП				
степное разнотравье	<0,20 (n=22)	$\frac{0,05 (n=12)}{0,01 - 0,1}$	$\frac{0,8 (n=3)}{0,1 - 1,7}$	$\frac{0,04 (n=13)}{0,002 - 0,2}$
Международные обобщенные данные (2009)				
разнотравье	-	$\frac{0,1 (n=10)}{0,01 - 0,2}$	$\frac{0,9 (n=6)}{0,3 - 2,0}$	-
пастбищные травы	$\frac{0,003 (n=11)}{0,005 - 0,02}$	$\frac{0,4 (n=124)}{0,01 - 2,6}$	$\frac{1,2 (n=58)}{0,4 - 2,6}$	$\frac{0,0006 (n=10)}{0,00006 - 0,003}$
Примечание: в числителе – среднее арифметическое, в скобках – число случаев, в знаменателе – диапазон значений, - данные отсутствуют				

Как видно из представленной сравнительной таблицы, несмотря на многочисленные ранее проводимые исследования, впервые для территории СИП получены статистически достоверные количественные значения Кн ^{241}Am , причем число проанализированных для исследуемой территории случаев в 5 раз превышает все имеющиеся на данный момент международные результаты. Установленные же значения Кн радионуклида ^{241}Am степными растениями на площадке «Опытное поле» смещены в сторону меньших величин, как относительно приведенных количественных и оценочных значений Кн данного радионуклида для других территорий СИП, так и для приведенных международных обобщенных величин для пастбищных трав.

В свою очередь, значения Кн ^{137}Cs для растений с территории «Опытного поля» также существенно ниже, чем для разнотравья и пастбищных трав, приведенных в международных материалах, и растений, отобранных с площадки «Дегелен» (искл. Кн для пижмы (*Tanacetum vulgare*), отобранной в районе штольни № 177), однако, в целом совпадают со зна-

чениями Кн данного радионуклида для растений, отобранных с «фоновых» территорий СИП.

Абсолютно уникальная ситуация наблюдается для ^{90}Sr – даже приведенный максимально возможный оценочный уровень Кн которого, явно меньше всех ранее полученных значений. Значения Кн $^{239+240}\text{Pu}$ на «Опытном поле» также ниже, чем на других территориях СИП, однако в целом совпадают с диапазоном значений Кн по обобщенным международным материалам.

Выводы

В результате проведенных исследований установлены количественные параметры накопления радионуклидов одним из доминантных видов степных растений на площадке «Опытное поле». Диапазон значений Кн $^{239+240}\text{Pu}$ составляет 2 порядка (0,00001-0,002), Кн ^{241}Am и ^{137}Cs – по 3 порядка (0,00001-0,01 и 0,0001-0,1 соответственно). Оценочные значения Кн ^{90}Sr не превышают 0,1.

Значимого влияния рассмотренных физико-химических свойств почв на накопление радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs растениями не выявлено.

Полученные результаты проведенных исследований являются статистически достоверными, при этом значения Кн в целом ниже, чем для других территорий СИП и обобщенных международных данных.

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам Института радиационной безопасности и экологии Яковенко Ю.Ю., Еременко Е.А., Елизарьевой Н.А. за построение картографического матери-

ала, Ивановой А.Р., Шевченко Ю.А., Козкеевой А.М., Немытовой Л.А. за пробоподготовку растительных образцов, Байсеркеновой Т.Н., Бакировой Г.А. за выполнение физико-химических анализов почв, Коровиной О.Ю., Брянцева Н.В., Сальменбаеву С.Е., Чередову О.И. и др., а также сотрудникам Института ядерной физики Глуценко В.Н. и Коваль А.П. за организацию и качественное выполнение спектрометрических и радиохимических анализов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 301-320.: ил.- Библиогр.: с. 528. - ISBN 978-601-7112-28-8.
2. Методика измерения гамма – фона территорий и помещений: утв. Зам. Главного государственного санитарного врача Республики Казахстан Спатаев М.Б. 25.08.1997: Зав. Отделом радиационной гигиены республиканской санэпидемстанции Вдавиченко Г.Д. - 1 с.
3. Полевая геоботаника- т. 1.-1959.-444 с.; т. 2.-1960.-500 с.; т. 3.-1964.-530 с.; т.4.-1972.-336 с.; т.5.-1976.-320 с. М., Наука
4. Сборник методических указаний по лабораторным исследованиям почв и растительности Республики Казахстан / под рук. Дюсенбекова З.Д.; Государственный научно-производственный центр земельных ресурсов и землеустройства. – Алматы, 1998. – 222 с.
5. ГОСТ 17.5.4.01–84. Метод определения рН водной вытяжки вскрышных и вмещающих пород. Охрана природы. Рекультивация земель. – Введ. 01.07.85. – Изд. Стандартов. – М, 1985. - 3 с.
6. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. – М.: МГУ, 2001. – 268 с.
7. МИ 5.06.001.98 РК «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91» - 18 с.
8. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс», Менделеево, - 20 с.
9. Анненков, Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии/ Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. – Москва, 1991. – С. 56-83.
10. Лысенко, Н. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды/ Н.Лысенко, А.Пастернак, Л.Рогожина. - СПб: Лань, 2005. – С. 35-36.
11. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA -TECDOC-1616, IAEA, Vienna (2009) - 163 p.

БҰРЫНҒЫ ССП «ТӘЖІРІБЕ АЛАҢЫНДАҒЫ» ДАЛА ӨСІМДІКТЕРІНДЕ ЖАСАНДЫ РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ЖИНАҚТАЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Құндызбаева Ә.Е., Келлер С.А.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатова, Қазақстан

Бұл мақалада «Тәжірибе алаңындағы» дала өсімдіктерінің радионуклидтерді жинақтауының сандық параметрлері ұсынылған. ^{241}Am , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ және бағаланған ^{90}Sr жинақтау коэффициенті мәнінің диапазоны анықталды. Ашық-сарғылт түсті топырақтың физика-химиялық қасиеті және олардың өсімдіктерде ^{241}Am және ^{137}Cs радионуклидтерін жинақтауына әсер етуі қарастырылды. Бұрынғы Семей сынақ полигонының басқа учаскелерінде өсімдіктердің жинақтау коэффициенттері мен «Тәжірибе алаңындағы» дала өсімдіктерінде радионуклидтердің жинақталу коэффициенттеріне салыстырмалы талдау жасалды.

PECULIARITIES OF RADIONUCLIDES ACCUMULATION IN STEPPE PLANTS AT "EXPERIMENTAL FIELD" SITE OF FORMER STS

N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, A.E. Kunduzbaeva, S.A. Keller

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The article presents the quantitative parameters of radionuclides accumulation in steppe plants at "Experimental Field" site. The were found ranges of values of accumulation coefficients for ^{241}Am , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ and estimatively ^{90}Sr . The physical and chemical properties of light-brown soil and their effect on the accumulation of radionuclides ^{241}Am and ^{137}Cs in plants. A comparative analysis has been performed for coefficients of radionuclides accumulation for steppe plants from "Experimental Field" site with the accumulation coefficients for plants from other parts of the former Semipalatinsk test site.

УДК 577.4:504.064:546.02.11

ТРИТИЙ КАК ИНДИКАТОР МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В., Субботин С.Б.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В данной работе предлагается рассмотреть принципиально новый метод верификации мест проведения подземных ядерных взрывов – использование трития в качестве индикатора. Подробные исследования содержания трития в воздушной среде проведены в местах проведения подземных ядерных испытаний – это испытательная площадка «Балапан» и площадка Дегелен, расположенных на территории СИП.

В работе представлены данные по уровню содержания и характеру распространения трития в воздушной среде в месте расположения штолен и скважин - в зонах эпицентра взрывов, в местах расположения устья скважин и портала штолен, а так же на приустьевых участках мест проведения ПЯВ.

ВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует ряд различных направлений и методик, применяемых для индикации мест проведения ядерных взрывов - геологические, гидрогеологические, радиационные, в основу которых положены такие основные методы исследования как термометрия, тектоника, гамма-каротаж, исследование концентрации ряда благородных газов и т.д. В данной работе предлагается рассмотреть новый метод верификации мест проведения подземных ядерных взрывов – использование трития в качестве индикатора. Тритий как изотоп водорода эффективно включается в состав атмосферного воздуха и может быть зафиксирован даже в достаточно малых количествах порядка $0,1 \text{ Бк/м}^3$ и обладает сравнительно большим периодом полураспада равным 12,4 года.

Детальные исследования содержания трития в местах осуществления ПЯВ были проведены на двух испытательных площадках – «Балапан» и «Дегелен».

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УРОВНЯ И ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»

На площадке «Дегелен» подземные испытания проводились в горизонтальных горных выработках – штольнях. В общей сложности была сооружена 181 штольня с поперечным сечением от 9 кв. м. до 25 кв. м. и глубиной более километра.

Методология проведения исследования. Для проведения исследования в местах проведения ПЯВ на территории площадки Дегелен были определены следующие этапы:

1. Исследование уровня и характера распределения трития в воздушной среде внутри полости штольни;
2. Исследование уровня содержания трития в месте расположения вертикальных геологических скважин;
3. Исследование уровня содержания трития в эпицентральной зоне ПЯВ (эпицентр);

4. Исследование уровня содержания трития в воздушной среде на приустьевых участках штолен.

Исследование уровня и характера распределения трития в воздушной среде внутри полости штолен

Результаты исследования представлены на рисунке 1. По горизонтальной оси показано расстояние от портала каждой штольни до концевых боксов в долях от максимального. Точка «0» на графике соответствует порталу штольни.

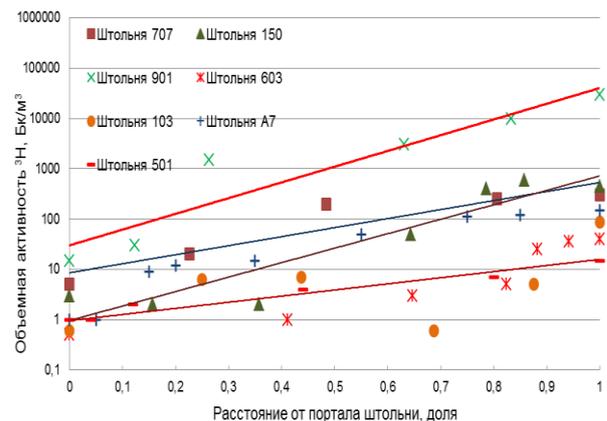


Рисунок 1. Характер распределения трития с воздушными потоками внутри полости штольни

Концентрация трития внутри полости штольни изменяется по экспоненциальной зависимости. Необходимо обратить внимание что, содержание трития на выходе из штольни составляет в ряде случаев десятки Бк/м^3 .

Исследование уровня содержания трития в месте расположения вертикальных геологических скважин

Результаты исследования представлены на следующем рисунке 2.

Значительные количества трития в воздухе до сих пор наблюдаются в полости штолен. Тритий, обладая высокой миграционной способностью, выходит на дневную поверхность с воздушными потоками, через различные разуплотнения горной породы.



Рисунок 2. Содержание трития в месте расположения вертикальных геологических скважин

Исследование уровня содержания трития в эпицентральной зоне ПЯВ

Результаты исследования представлены на рисунке 3.

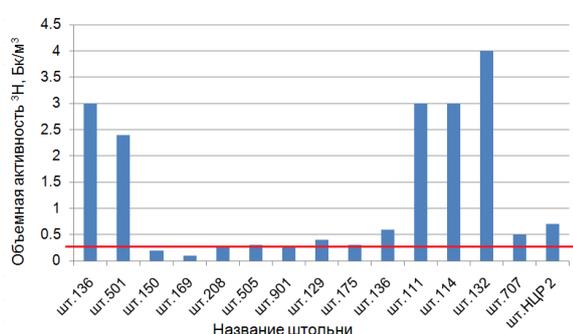


Рисунок 3. Содержание трития в атмосферном воздухе в эпицентральной зоне ПЯВ

Анализ результатов показал наличие трития в атмосферном воздухе исследуемой территории. Полученные значения не могут быть сформированы только фоновыми характеристиками, так как содержание трития в ряде случаев составляет десятки Бк/м³, при фоновом содержании трития на площадке «Дегелен» порядка 0,2 Бк/м³ [10].

Исследование уровня содержания трития в воздушной среде на приустьевых участках штолен

Результаты исследования представлены на рисунке 4.

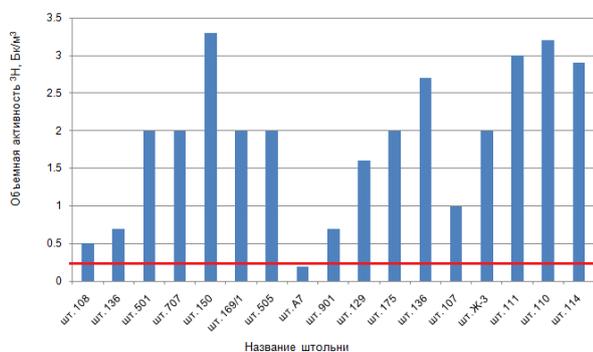


Рисунок 4. Содержание трития в атмосфере на приустьевых участках штолен

Значения содержания трития изменяются в пределах от 0,2 до 3,3 Бк/м³, что превышает фоновый уровень площадки Дегелен.

Результаты проведенного исследования наглядно показали, что в настоящий момент активно идет процесс эманации трития из мест проведения ПЯВ. Спустя более 20 лет после проведения последнего ядерного испытания на площадке «Дегелен», мы можем фиксировать тритий на различных участках в местах проведения ПЯВ.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УРОВНЯ И ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПЯВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЛОЩАДКИ «БАЛАПАН»

Ядерные испытания на площадке «Балапан» проводились в скважинах, имеющих обсадку трубами различного диаметра, глубиной от 125 до 600 м.

Методология проведения исследования. В процессе проведения работы выполнено исследование уровня содержания трития в воздушной среде на территории 8 скважин, и на приустьевых участках 3 из них проведено детально исследование уровня и характера распределения трития в воздушной среде. Схема проведения отбора проб водяных паров почвенного воздуха представлена на рисунке (рисунок 5).

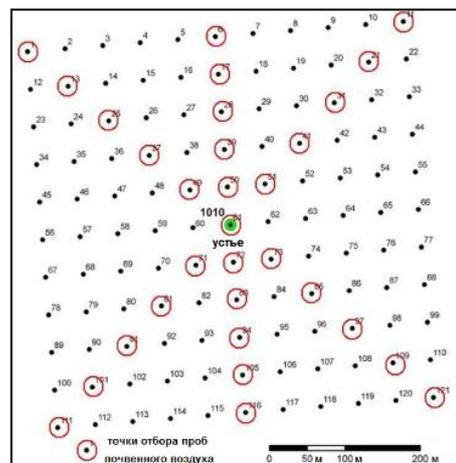


Рисунок 5. Схема расположения точек отбора проб водяных паров на приустьевых участках скважин

Исследование уровня содержания трития в месте расположения скважин

Результаты проведения данного этапа работы отображены на рисунке 9.

Концентрация трития в почвенном воздухе изменяется в пределах от 0,1 до 300 Бк/м³.

Изучение уровня и характера распределения трития в воздушной среде на приустьевых участках скважин

Наиболее масштабный характер распределение трития зафиксирован на приустьевом участке скважины 1355 (рисунке 7). Содержание трития в воздушной среде на приустьевых участках скважин 1010 и Глубокая изменяется в пределах от 0,03 до 20 Бк/м³.

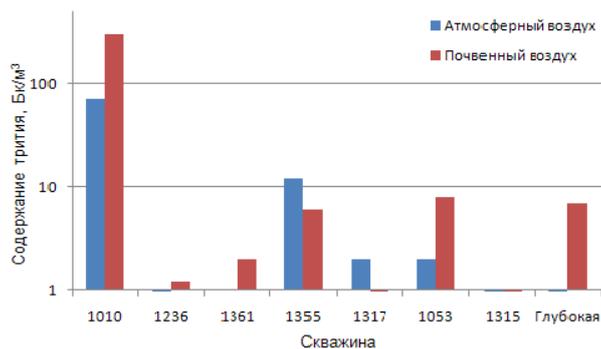


Рисунок 6. Содержание трития в атмосферном и почвенном воздухе на приустьевых участках «критических» скважин

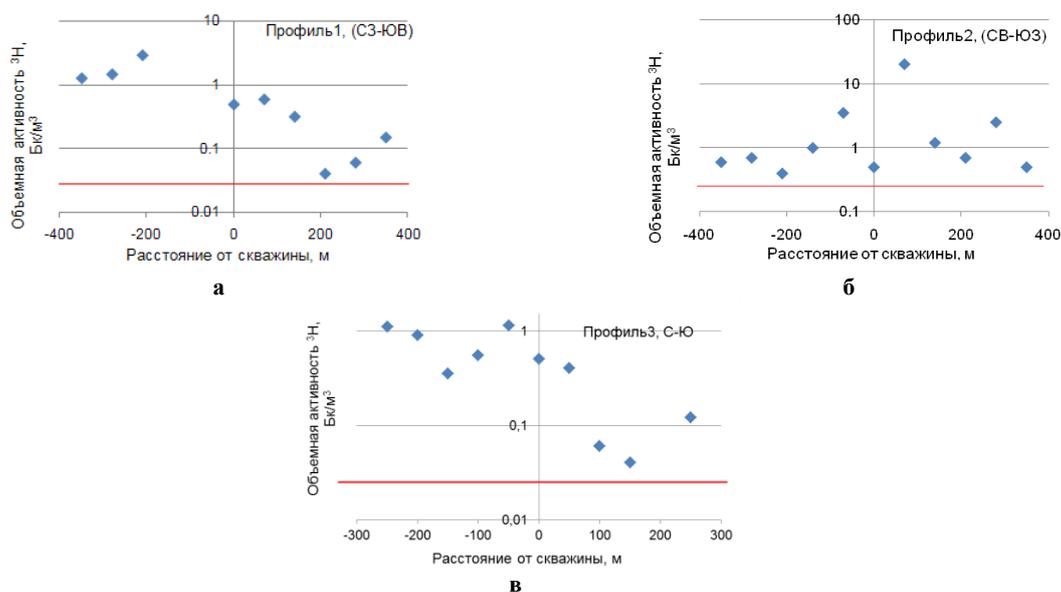


Рисунок 7. Характер распределения ^3H на приустьевом участке скважины 1355 относительно устья скважины по диагональным профилям (а, б) и поперечному профилю (в)

Результаты исследования показали, что на приустевых площадках всех исследуемых скважин идет процесс эманации трития с поверхности почвы в атмосферу.

Не всегда максимальные концентрации трития в воздухе территориально приурочены к месторасположению оголовка скважины. В ряде случаев, значимые концентрации трития в почвенном воздухе были зафиксированы на значительном расстоянии от скважины, составляющим от 50 до 200 м.

ВЫВОДЫ

Спустя более 20 лет, мы можем фиксировать тритий в воздушной среде в месте проведения испытаний, как на близлежащей территории, так и на отдаленных участках. Полученные данные с одной стороны говорят о необходимости контроля содержания трития в местах проведения ПЯВ и в настоящий момент, а с другой стороны, показывают нам принципиальную возможность применения и использования данных об уровне содержания трития в воздушной среде для верификации мест проведения ядерных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 9698-1989: Качество воды – определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной метод сцинтилляционного счета. - 1989, - 15 с.
2. Рекомендации НКРЗ: Методы измерения трития. США: [пер. с англ.]. - М.: Атомиздат, 1978, - 48 с.
3. Ляхова, О.Н. Механизмы формирования тритиевого загрязнения воздушного бассейна в пределах горного массива Дегелен / О.Н. Ляхова, С.Н.Лукашенко, Н.В.Ларионова //Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 331-354.: ил. - Библиогр.: с. 224-231. - ISBN 978-601-7112-28-8.
4. Егоров, Ю.А Тритий в природно - техногенной среде АЭС - окружающая среда. / Ю.А. Егоров // Региональная экология. -2002. - N1-2. – С. 13

5. Горбачев, В.М., Замятин Ю.С., Лбов А.А. Взаимодействие излучений с ядрами тяжелых элементов и деление ядер. Справочник / - Москва, Атомиздат. - 1976, с.40
6. Karlsruhe Nuklidkarte. / Hrsg: Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt November 1981, p.36.
7. IAEA-NDS-CD-05 EXFOR CD-ROM. Version / Annual report -: 2000, January, p. 34
8. Перчук, Л.Л. // Соросовский Образовательный Журнал. - 1997. - №6. - С. 56-63.
9. Кимель, Л.Р., Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник /,. - Москва, Атомиздат, - 1972, с.27
10. Ляхова, О.Н. «Исследование содержания трития в объектах окружающей среды на территории испытательной площадки Дегелем» / О.Н. Ляхова, С.Н. Лукашенко, М.А. Умаров, А.О. Айдарханов / Вестник НЯЦ РК. - 2007. - Вып.4. - С.80 - 86.
11. Ядерные испытания СССР / под ред. В.Н. Михайлова. - М., 1997. - 467с.
12. Субботин, С.Б. Оценка возможности последствий катастрофического характера на территории площадки «Балапан» / С.Б. Субботин, С.Н.Лукашенко [и др.]. // [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 - 2009гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. - Вып. 2. - Павлодар: Дом печати, 2010. - С. 401-450.: ил.- Библиогр.: с. 224-231. - ISBN 978-601-7112-28-8.

ТРИТИЙ ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАР ЖҮРГІЗІЛГЕН ЖЕРЛЕРДІҢ ИНДИКАТОРЫ РЕТІНДЕ

Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В., Субботин С.Б.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Кurchatov, Қазақстан

Аталған жұмыста ядролық жарылыстар жүргізілген жерлерді анықтаудың түбегейлі жана әдісі – тритийді индикатор ретінде пайдалануды қарастыру ұсынылады. Ауа ортасындағы тритийдің құрамын жан-жақты зерттеу ядролық жарылыстар жүргізілген жерлерде жүргізілді – олар ССП аумағында орналасқан «Балапан» сынақ алаңы және Дегелең алаңы.

Жұмыста штольнялар мен ұңғымалар орналасқан жерлердің – жарылыстар эпицентрі аймақтарының, ұңғымалардың аузы мен штольнялар порталы орналасқан жерлердің, сондай-ақ ЖЯЖ жүргізілген жерлердің арнаалды учаскелерінің ауа ортасындағы тритий құрамының деңгейі мен таралу сипаты жөніндегі деректер ұсынылған.

TRITIUM IN THE AIR AS AN INDICATOR OF VENUES FOR NUCLEAR TESTS

O.N. Lyakhova, S.N. Lukashenko, N.V. Larionova, S.B. Subbotin

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

In this paper, it is proposed to consider radically new method for verification of locations of underground nuclear explosions - use of tritium as an indicator. Detailed studies of the tritium content in the air were performed in the locations of underground nuclear tests - "Balapan" and "Degelen" sites located in STS.

The paper presents data on the levels and nature of the distribution of tritium in the air at the location of the tunnels and boreholes - in the areas of the explosion epicentres, in the locations of borehole heads and tunnel portals, as well as in estuarine areas of the UNE venues.

УДК 577.391:577.4:504.74:636.32/.38:539.16

ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНИЗМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ИХ РАЗВЕДЕНИИ В УСЛОВИЯХ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»¹Паницкий А.В., ¹Байгазинов Ж.А., ¹Лукашенко С.Н., ²Коваль А.П.¹Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан²Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

В статье представлены результаты натурных исследований с овцами проведенных на радиоактивно-загрязненной территории площадки «Дегелен» бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП). В результате работ определен характер распределения трансурановых радионуклидов в организме исследуемых животных. Получены коэффициенты перехода ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в продукцию животноводства (баранину), необходимые для прогноза концентраций этих радионуклидов при оценке возможности передачи территорий СИП в хозяйственное пользование.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проводятся комплексные исследования возможности передачи некоторых территорий СИП в хозяйственный оборот. Однако для полной оценки безопасности возможных для передачи территорий не хватает экспериментальных величин необходимых для прогноза возможных концентраций радионуклидов в сельскохозяйственной продукции в случае их получения на исследуемой территории. Имеющиеся в базе данных МАГАТЭ величины, полученные по результатам исследований, проведенных на территориях, расположенных в отличающихся от территории СИП природных условиях, и имеющих совершенно другой характер радионуклидного загрязнения, обусловленный, как правило, различными радиационными авариями. В литературе отсутствуют данные о коэффициентах перехода в традиционную для региона сельскохозяйственную продукцию, такую как конина и кумыс, которые занимают важное место в продуктовой корзине питания для местного населения. Так же практически отсутствуют коэффициенты перехода трансурановых радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в сельскохозяйственную продукцию как растительного, так и животного происхождения. А с учетом роста активности ^{241}Am за счет распада ^{241}Pu , а так же значительный период полураспада трансурановых элементов в долговременной перспективе (сотни лет) значимость этих радионуклидов в формировании параметров радиационной обстановки на территории СИП и близлежащих территориях будет возрастать. В мире имеются лишь единичные работы, связанные с изучением перехода плутония и америция, основные результаты, которых внесены в базу данных МАГАТЭ.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Место проведения исследования. Исследования проведены на опытно-экспериментальной площадке (ОЭП) «Дегелен», расположенной в юго-западной части бывшего СИП. Для проведения исследования была выбрана штольня №177 с водопроявлением, образованным грунтовыми водами, вытекающими из котловой полости штольни [1], тем самым формируя радиоактивное загрязнение ком-

понентов окружающей среды почвы, воды, растительности и воздуха. Участок выбран как один из наиболее загрязненных трансурановыми радионуклидами $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am .

Объекты исследований. В качестве исследуемых животных использовались овцы казахской курдючной грубошерстной породы («Едильбаевская»), схожие по экстерьерно-конституциональным данным.

Выбор объекта и места исследования обоснован тем, что овцеводство является основным видом сельскохозяйственной деятельности данного региона и то, что вблизи ОЭП "Дегелен" расположено наибольшее количество хозяйств, занимающихся животноводством на территории СИП [2].

Схема проведения исследований. Исследования проводили в условиях стойлового содержания в районе шт. №177. Животные были разбиты на две группы (группа - 1 и группа - 2.) по условиям поступления радионуклидов в организм. Животным первой и второй групп скормливался радиоактивно-загрязненный корм (2 кг/сут) и выпаивалась радиоактивно-загрязненная вода (0,9-1,0 л/сут). Животным второй группы в рацион включена радиоактивно-загрязненная почва в количестве 50 г в сутки. Сроки постановки на эксперимент определены схемой эксперимента и составляют 7, 14, 28, 56, 112 суток. После окончания срока эксперимента животные забивались с отбором проб тканей (мышечной, костной и кожной) и органов (сердце, печень, легкие, почки) на радионуклидные анализы.

Радионуклидные анализы. У ^{241}Am определяли по [3], содержание $^{239+240}\text{Pu}$ – радиохимическим методом [4].

Оценка содержания радионуклидов в растительном корме, воде и почве

Для оценки концентрации радионуклидов в растительном корме в течение каждой недели ежедневно из суточной массы радиоактивно-загрязненного корма отбиралось по 300 г растительности, из которых формировалась проба растительности массой 2,1 кг (300 г×7 дней). Растения передавались на радиохимические анализы и анализировались без про-

**ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНИЗМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ
ПРИ ИХ РАЗВЕДЕНИИ В УСЛОВИЯХ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»**

мывания. В итоге, получены результаты по содержанию радионуклидов в растительном корме за каждый недельный период (16 недель) эксперимента. Значения удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в растительном корме изменялись в пределах 0,5 – 30 Бк/кг. Активность ^{241}Am во всех пробах была меньше 1,4 Бк/кг, лишь в трех пробах составила 5, 11 и 12 Бк/кг. При расчете среднеарифметического значения принимали нижний предел обнаружения за значимый результат. Таким образом, среднее арифметическое значение составило 2,8 Бк/кг. Удельная активность ^{241}Am во всех пробах воды, вытекающей из штольни №177 меньше 1,5 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ в пределах <0,001-2,14 Бк/кг, среднее арифметическое значение составило 0,8 Бк/кг. Результаты γ -

спектрометрического и радиохимического анализа проб почв показали, что удельная активность радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в среднем составляет 950 Бк/кг и 12600 Бк/кг соответственно.

Оценка среднесуточного поступления радионуклидов в организм экспериментальных животных

На основании данных о концентрации радионуклидов в растениях, воде и почве было рассчитано среднесуточное поступление радионуклидов в организм животных с учетом недельной динамики удельной активности радионуклидов в растениях. В таблице 1 представлено среднесуточное поступление радионуклидов в организм животных 1 и 2 группы.

Таблица 1. Суточное поступление радионуклидов в группе №1 и группе №2

Среднесуточное поступление, Бк	Срок эксперимента, суток									
	Группа 1					Группа 2				
	7	14	28	56	112	7	14	28	56	112
$^{239+240}\text{Pu}$	60,8	69,8	59,3	43,7	39,8	688,3	697,3	686,8	671,2	667,3
^{241}Am	8,4					58,4				

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование особенностей перехода $^{239+240}\text{Pu}$ в организм овец
Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в организме опытных животных. В таблице 2 представлены данные удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в органах и тканях овец при различных сроках его поступления с различными компонентами окружающей среды.

Наибольшая удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ отмечена в шерсти, независимо от сроков кормления и составляющих рациона. Как и следовало ожидать, по результатам исследования основные концентрации $^{239+240}\text{Pu}$ в «мягких» органах были зафиксированы в печени. Активности других органов относительно печени в 2-3 раза меньше.

Максимальные содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в шерстной ткани, отмеченные для всех экспериментальных животных в каждой группе, говорят о возможности делать оценочные прогнозы возможности присутствия радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в

других тканях по его наличию или отсутствию в шерсти. При этом отпадает необходимость забоя животного для отбора образцов.

Особенность перехода $^{239+240}\text{Pu}$ при различных условиях и сроках поступления. На рисунке 1 представлены K_p $^{239+240}\text{Pu}$ в кожную, шерстную и мышечную ткани, печень, легкие, почки, сердце, селезенку, кожную и шерстную ткань овец групп Б.1. и Б.2.

Результаты эксперимента показали, что в условиях длительного ежедневного поступления $^{239+240}\text{Pu}$ в организм овец с различными компонентами окружающей среды, концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ в органах не увеличивается и процесс накопления не зависит от сроков поступления. Лишь в печени отмечена положительная динамика накопления, где в более ранние сроки переход $^{239+240}\text{Pu}$ проходит интенсивнее, с последующим снижением темпа его накопления, до равновесного состояния (рисунок 1).

Таблица 2. Удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в органах и тканях овец при различных сроках его поступления с различными компонентами окружающей среды

Органы и ткани	При среднесуточном поступлении с кормом и водой (группа 1)					При среднесуточном поступлении с кормом, водой и почвой (группа 2)				
	Количество дней содержания, сутки					Количество дней содержания, сутки				
	7	14	28	56	112	7	14	28	56	112
	Удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в органах, Бк/кг									
сердце	< 0,019	< 0,013	< 0,015	< 0,024	0,0220	< 0,014	0,0380	< 0,015	0,0140	0,0120
печень	< 0,007	0,0130	0,1120	-	0,1390	0,0900	0,3670	0,4600	0,9090	-
почки	< 0,028	< 0,023	< 0,024	0,0580	0,0740	0,0490	0,1330	0,0910	0,1380	0,1210
легкие	0,0170	< 0,007	-	0,0260	0,0110	0,0230	-	0,0230	0,0300	0,0430
селезенка	< 0,022	< 0,096	< 0,065	< 0,071	0,0650	< 0,033	0,0790	< 0,035	0,0720	0,2570
мышцы	< 0,0048	0,0051	0,0069	0,0070	0,0031	0,0049	0,0125	0,0084	0,0162	0,0025
кожа	0,1560	0,0550	0,0440	0,0500	0,0850	0,2390	0,1860	0,2590	0,0650	0,2220
шерсть	0,6000	0,6900	0,1100	0,2700	0,4900	1,3600	2,1900	2,0	1,99	2,20

Примечание: погрешность измерения составляет не более 30%

**ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНИЗМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ
ПРИ ИХ РАЗВЕДЕНИИ В УСЛОВИЯХ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»**

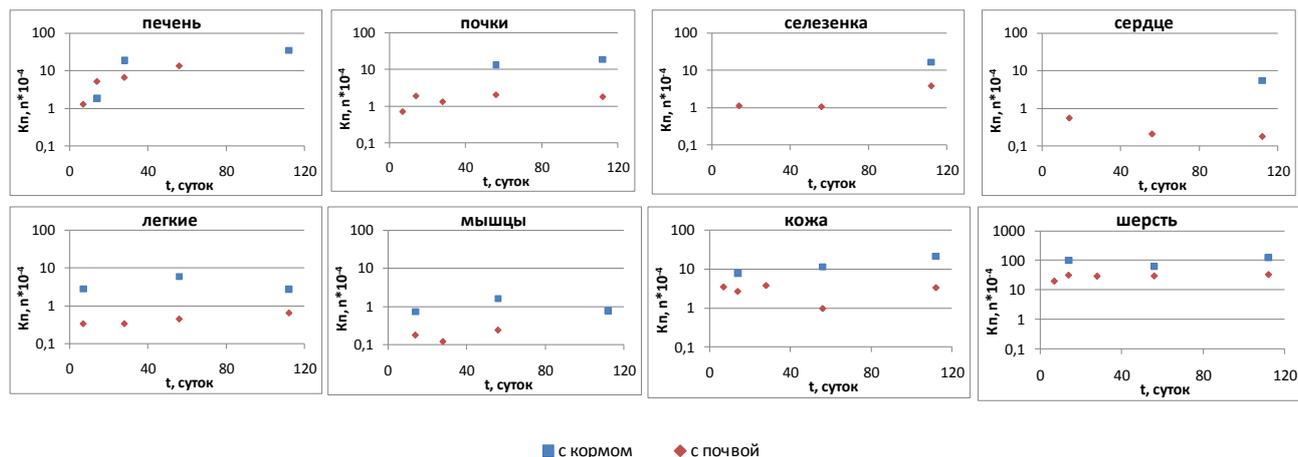


Рисунок 1. Динамика перехода $^{239+240}\text{Pu}$ в органы и ткани овец (группы Б.1. и Б.2.)

Диапазон коэффициентов перехода $^{239+240}\text{Pu}$, полученных в ходе исследований и их средние значения представлены в таблице 3. Видно, что критическим органом при оценке возможного поступления $^{239+240}\text{Pu}$ с продукцией овцеводства является печень, это необходимо учитывать при регламентировании содержания данного радионуклида в суточном рационе овец. Из таблицы 3 видно, что $^{239+240}\text{Pu}$, поступивший с кормом и водой усваивается лучше, чем $^{239+240}\text{Pu}$ поступающий с почвой. Возможно, это связано с тем, что в растениях содержится $^{239+240}\text{Pu}$ который находится в подвижной или обменной форме, то есть в формах легкодоступных для растений, следовательно, легкоусвояемых, а в почве, основной процент фиксируемого $^{239+240}\text{Pu}$, учитываемого при расчете среднесуточного поступления может находиться в прочносвязанной, то есть недоступной для растений форме. С этим может быть связан низкий процент перехода $^{239+240}\text{Pu}$, поступающего с почвой.

В наших исследованиях общую активность тканей и органов животных группы 2 можно рассчитать следующим образом:

$$A_{\text{орган}} = C_{\text{корм}} \times K_{\text{корм}} + C_{\text{почва}} \times K_{\text{почва}}$$

где $A_{\text{орган}}$ – активность органа или ткани; $C_{\text{корм}}$ – среднесуточное поступление с рационом; $K_{\text{корм}}$ – коэффициент перехода из корма; $C_{\text{почва}}$ – среднесуточное поступление с почвой; $K_{\text{почва}}$ – коэффициент перехода из почвы. Опираясь на это уравнение, используя полученные в ходе исследования данные, можно рассчитать $K_{\text{п}}$ из почвы в ткани и органы животных по следующему отношению:

$$K_{\text{почва}} = \frac{A_{\text{орган}} - C_{\text{корм}} \times K_{\text{корм}}}{C_{\text{почва}}}$$

Исходя из этих соображений, получены значения $K_{\text{п}}$ радионуклидов из почвы в ткани и органы животных группы 2 (таблица 4) которые на 1-2 порядка меньше средних $K_{\text{п}}$ радионуклидов с кормом и водой, что необходимо учитывать при проведении оценки возможных концентраций радионуклидов в сельскохозяйственной продукции при ее получении на радиоактивно-загрязненной территории.

Таблица 3. Коэффициенты перехода $^{239+240}\text{Pu}$ в ткани и органы экспериментальных животных

Органы и ткани	При поступлении с кормом и водой, $\times 10^{-3}$				При поступлении с кормом, водой и почвой, $\times 10^{-3}$			
	max	min	Всего значений	сред.	max	min	Всего значений	сред.
сердце	0,55		1	0,55	0,05	0,02	3	0,03
печень	3,49	0,19	3	1,85	1,35	0,13	4	0,67
почки	1,86	1,33	2	1,59	0,21	0,07	5	0,16
легкие	0,59	0,28	3	0,38	0,06	0,03	4	0,04
селезенка	1,63		1	1,63	0,39	0,11	3	0,20
мыш.тк.	0,16	0,07	4	0,11	0,02	0,004	5	0,01
кожа	2,57	0,74	5	1,48	0,38	0,10	5	0,28
шерсть	12,3	1,86	5	8,02	3,30	1,98	5	2,86

Таблица 4. Оценочные $K_{\text{п}}$ $^{239+240}\text{Pu}$ из почвы в ткани и органы экспериментальных животных группы 2

	Сердце	Печень	Почки	Легкие	Селезенка	Мыш.тк.	Кожа	Шерсть
Средние $K_{\text{п}}$ при поступлении с кормом и водой, $\times 10^{-3}$	0,55	1,85	1,59	0,38	1,63	0,11	1,48	8,02
Оценочные $K_{\text{п}}$ при поступлении с почвой, $\times 10^{-3}$	-	0,54	0,059	0,02	0,10	0,005	0,17	2,22

**Исследование особенностей перехода ^{241}Am
в организм овец
Содержание ^{241}Am в организме опытных
животных.**

В большинстве случаев удельная активность ^{241}Am в органах и мышечной ткани была ниже предела обнаружения. Не установлено какого-либо органа, депонирующего ^{241}Am , что связано с низкими

концентрациями радионуклида поступившего в организм. Анализ результатов показывает, что зафиксированные количественные значения связаны с погрешностью аппаратуры. Таким образом, имеющиеся данные позволяют дать лишь оценку максимально возможных Кп ^{241}Am в органы и ткани овец. Оценочные Кп ^{241}Am в органы и ткани овец представлены в таблице 6.

Таблица 6. Оценочные коэффициенты перехода ^{241}Am в органы и ткани овец

Органы и ткани	При поступлении с кормом и водой, $\times 10^{-3}$		При поступлении с кормом, водой и почвой, $\times 10^{-3}$	
	Кп	Всего значений	Кп	Всего значений
сердце	<54,8	5	<9,3	5
печень	<69,1	4	<9,6	5
почки	-*	-	<9,8	4
легкие	<38,1	5	<7,7	5
селезенка	<88,1	4	<11,6	5
мыш.т.к.	<38,1	5	<5,7	5

Примечание: «-» данных нет

ВЫВОДЫ

Установлено, что шерстная ткань является основной тканью, депонирующей $^{239+240}\text{Pu}$. Среди внутренних органов наибольшие концентрации отмечены для печени. Активности радионуклидов в других органах относительно печени в 2–3 раза меньше.

Показано, что в условиях длительного поступления $^{239+240}\text{Pu}$ в организм овец с рационом, концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ в коже, шерсти, сердце, почках, легких, селезенке и мышечной ткани не увеличивается и процесс накопления не зависит от сроков поступления. Процесс накопления $^{239+240}\text{Pu}$ наблюдается только для печени.

Получены оценочные Кп из почвы в ткани и органы животных группы 2, которые на 1-2 порядка меньше средних Кп радионуклидов с кормом и водой, что необходимо учитывать при проведении оценки возможных концентраций радионуклидов в сельскохозяйственной продукции на радиоактивно-загрязненной территории.

Трансурановые радионуклиды, поступающие с почвой, усваиваются меньше, чем при поступлении с кормом.

Установлена возможность контроля присутствия $^{239+240}\text{Pu}$ в продукции овцеводства по их наличию в шерсти, исключая забой животных.

ЛИТЕРАТУРА

- Ахметов, М.А. Радиационный мониторинг водотоков и проблемы реабилитации на горном массиве Дегелен Семипалатинского испытательного полигона / М.А. Ахметов, О.И. Артемьев, Л.Д. Птицкая // Вестник НЯЦ РК Радиозкология. Охрана окружающей среды. – 2000. – Вып.3 (9). – С.23-28.
- Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного по республиканской бюджетной программе 011 "Обеспечение радиационной безопасности на территории РК" Задание 1, Задача 1.2. "Мониторинг хозяйственной деятельности на территории СИП и прилегающих территориях" 2009 г.: отчет о НИР /рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов: ИРБЭ, 2009. – 12 с.
- Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма - спектрометре: МИ 2143-91. - Введ. 1998-06-02. - Рег. № 5.06.001.98. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. - 17 с.
- СТП 17.66-92. $^{238,239,240}\text{Pu}$. Радиохимическая методика выделения из проб почвы и приготовления препаратов для альфа - спектрометрических измерений. Стандарт предприятия. Комплексная система управления качеством разработок. - Введ. 1993-01-02. – Санкт-Петербург: НПО "Радиевый институт им. В.Г. Хлопина", 1993. – 10 с.

**«ДЕГЕЛЕН» СЫНАҚ АЛАҢЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫНДА АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖАНУАРЛАРЫН
ӨСІРУ БАРЫСЫНДА ОЛАРДЫҢ АҒЗАСЫНДАҒЫ ТРАНСУРАНДЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕР**

¹⁾Паницкий А.В., ¹⁾Байғазинов Ж.А., ¹⁾Лукашенко С.Н., ²⁾Коваль А.В.

¹⁾ҚР ҰАО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

²⁾ҚР ҰАО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Мақалада бұрынғы Семей сынақ полигонының (ССП) «Дегелең» алаңының радиоактивті ластанған аумағында қойларға жүргізілген табиғи зерттеулердің нәтижелері берілген. Жұмыстардың нәтижесінде зерттеліп жатқан жануарлардың ағзасында трансурандық радионуклидтердің таралу сипаты анықталды. ССП аумағын шаруашылыққа пайдалануға беру мүмкіндігін бағалау барысында ^{241}Am және $^{239+240}\text{Pu}$ шоғырлануын болжау үшін қажетті, ауыл шаруашылығы өнімдеріне (кой етіне) аталған радионуклидтердің өту коэффициенті алынды.

**TRANSURANIC ELEMENTS IN THE BODIES OF FARM ANIMALS
AT BREEDING THEM IN CONDITIONS OF "DEGELEN" TESTING SITE**

¹⁾A.V. Panitskiy, ¹⁾Zh.A. Baigazinov, ¹⁾S.N. Lukashenko, ²⁾A.V. Koval.

¹⁾*Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

²⁾*Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan*

The article presents results of field experiments on sheep performed at radioactively contaminated territory of "Degelen" testing site of the former Semipalatinsk Test Site (STS). The research determined nature of distribution of transuranic radionuclides in the bodies of animals studied. There were obtained transfer coefficients of ²⁴¹Am and ²³⁹⁺²⁴⁰Pu into animal products (mutton), needed to predict concentrations of these radionuclides when assessing the feasibility of releasing the STS territory for economic use.

УДК 528:577.4:504.064

РАЗРАБОТКА ГИС-ПРОЕКТА «СИП»

Яковенко Ю.Ю., Ерёмченко Е.А., Елизарьева Н.А.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты работы по разработке и созданию ГИС-проекта «СИП», а также примеры анализа данных для оценки состояния территории и экосистем с помощью данного проекта.

Накоплен огромный объем информации, касающийся территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП), в связи с чем возникают проблемы хранения, своевременного доступа и эффективной обработки данных. Данная разработка решает эти задачи, позволяет систематизировать информацию, в том числе по радиационному загрязнению СИП и отдельных испытательных площадок, а также обеспечивает постоянное информационное и аналитическое обслуживание большого числа специалистов.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня геоинформационные системы (ГИС) активно применяются для решения разного рода научных и практических задач. И, пожалуй, ГИС в настоящее время наиболее динамичная в своем развитии система.

В настоящее время накоплен огромный объем информации, касающийся территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) – это результаты научно-исследовательских программ, коммерческих проектов, причем выполненных различными организациями. В связи с этим возникают проблемы хранения, своевременного доступа и эффективной обработки данных.

Для решения этих задач и осуществления комплексных исследований на СИП применение геоинформационных систем (ГИС) особо эффективно. Актуальность, объективность и структурированность информации положительно влияет на эффективность принимаемых решений и результативность выполняемых работ, а для этого необходима оптимизация информационных потоков с помощью ГИС.

Основная цель разработки ГИС-проекта «СИП» – на основе технологии ГИС создать информационный модуль, чтобы собрать и систематизировать информацию, касающуюся бывшего СИП и анализировать современное состояние территории.

1. ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАБОТ**1.1 Методология построения ГИС-проекта**

Модель ГИС-проекта строилась на трех основных компонентах: исходные данные, программный блок и анализ. Четвертый компонент, блок принятия решений, является результирующим компонентом системы [1].

Инструментом (программным продуктом) для создания ГИС-проекта являлась программа ArcGIS

9.x с дополнительными модулями для анализа (Spatial Analyst, Geostatistical Analyst). ГИС-проект выполнен в системе координат WGS-1984_UTM_Zone_43N (Universal Transverse Mercator Zone 43, сфероид WGS 84), это международная прямоугольная система координат, которой пользуются в настоящий момент в Казахстане и других странах для приведения данных к единому стандарту.

Исходными данными для ГИС-проекта являлись различные отчеты, данные дистанционного зондирования, топографические и тематические бумажные карты, данные полевых и лабораторных исследований. Основу ядра исходных данных составили база геоданных и база данных «Радиоэкология», которая представляет собой структурированный огромный фактический материал, накопленный в ходе проведения работ по исследованию радиоэкологической обстановки на территории СИП (более 40 000 проб с результатами различных анализов), и он постоянно увеличивается. База реализована в СУБД Access, так как ее интерфейс достаточно прост и предоставляет пользователю удобные возможности для манипулирования данными. Связь между базами осуществляется с помощью встроенной функции OLE DB Connection.

Обработка исходных данных включала в себя последовательность действий, представленных на рисунке (рисунок 1).

Обработка данных предусматривала создание структуры каждого слоя, то есть определяли, какую информацию должен нести слой для получения достаточного объема данных для анализа. Следующим шагом, в зависимости от типа исходных данных, осуществлялось занесение исходной информации в базу геоданных.

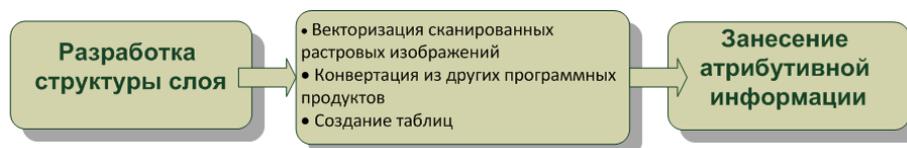


Рисунок 1. Обработка исходных данных

Топографические и тематические карты сканировали, получая растровые данные. При необходимости растры обрабатывали (сшивали) с использованием программы Easy Trace, которая также позволяет выполнить векторизацию сканированных (растровых) изображений – оцифровка карт. Чтобы иметь возможность работать с геометрическими объектами (точки, линии, полигоны) сначала привязывали к карте и определяли проекцию, затем векторизовали растровое изображение [2]. Для подготовки некоторых тематических карт по данным дистанционного зондирования (ДЗЗ) интересующей территории, использовали мультиспектральные спутниковые снимки среднего разрешения. Снимки классифицировали в автоматическом режиме, выделенные контура заверяли в полевых условиях.

Слои, выполненные с помощью таких программных продуктов как AutoCAD, MapInfo и полученные в электронном виде конвертировали в ГИС-проект, определяя необходимую проекцию. Данные, собранные в отчетах, преобразовали в структурированные таблицы и на их основе создали слои.

Анализ пространственных и семантических данных включает в себя процесс обработки информации, в том числе с помощью различных запросов: пространственный, статистический анализ. Один из основных видов используемого нами пространственного анализа - построение карт площадного загрязнения – картографирование процессов загрязнения и прогноз их динамики во времени и пространстве [3]. Построение карт осуществляется с помощью стандартного модуля Spatial Analyst. Од-

нако этот модуль предполагает множество способов создания карт, поэтому методы проанализированы, выбран оптимальный метод построения – крикинг [4]. Разработана классификационная система для отображения процессов загрязнения.

Статистический анализ данных предполагает обработку информации с помощью модуля Geostatistical Analyst, результаты представляют собой различные графики и диаграммы.

1.2 Структура ГИС-проекта «СИП»

В результате обобщения материалов принято, что ГИС-проект «СИП» должен состоять из десяти тематических блоков (наборов слоев), характеризующих полное представление о полигоне:

1. Границы СИП и площадок
2. Топография (топографическая основа, растровые изображения)
3. Места проведения ядерных и других испытаний
4. Хозяйственная деятельность на СИП
5. Водные объекты
6. Растительность
7. Почвы
8. Геология
9. Радиационные характеристики объектов окружающей среды
10. Другие характеристики объектов окружающей среды

Каждый блок (набор) включает в себя слои, которые логически объединены для удобства пользователя и осуществления анализа данных (рисунок 2).

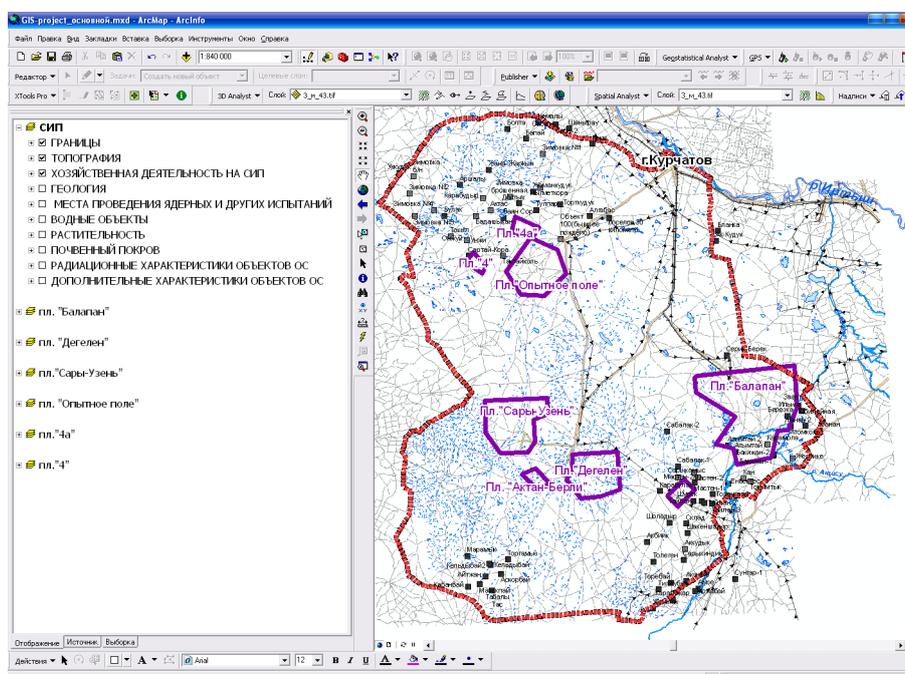


Рисунок 2. Основное окно ГИС-проекта

Блоки будут содержать информацию, необходимую для проведения исследований и мониторинга на территории полигона. Состав и структура данных ГИС определяются собственно объектами окружающей среды (почва, воздух, растения), а также процессами (загрязнение окружающих сред, миграционные процессы).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

2.1 Подготовка исходных данных

В рамках создания ГИС-проекта «СИП» был обработан, систематизирован большой объем информации и приведен в электронный вид в виде растровых изображений:

- отчеты по бюджетным программам и международным проектам за последние 10 лет. Обработана вся информация, имеющая координатную привязку: результаты полевых исследований (например, пешеходной гамма-съемки), хозяйственный мониторинг, бурение скважин и т.п.
- топографические карты: 20 листов масштаба 1:100 000, 8 листов масштаба 1:200 000, 4 листа масштаба 1:500 000 отсканированы и привязаны согласно номенклатуре.
- Для актуализации топографических карт масштаба 1:100 000 приобретены карты, выполненные гос. институтом аэрогеодезических исследований (ГИСХАГИ, 2003 г.).
- для создания таких тематических карт, как почвенные, геологические, гидрогеологические, делались запросы в государственные фонды для получения листов карт на данную территорию. Получено 6 листов геологических карт, 5 листов гидрогеологических карт масштаба 1:200 000, 4 листа почвенных карт масштаба 1:300 000.
- для создания карт фактического материала проводился сбор материала в виде паспортов на объекты, например объект - почвенный разрез, скважина, зимовка.
- для создания карт почвенного и растительного покрова приобретены мультиспектральные спутниковые снимки среднего разрешения космического аппарата ALOS, полученные в 2007 и 2009 годах, на 60% территории СИП.

2.2 Заполнение ГИС-проекта

Границы СИП и площадок. Это фундаментальный блок, содержит информацию о географическом положении территории: граница полигона, испытательных площадок (использованных и неиспользованных), границы областей, административных районов (также прилегающих) и т.п.

Границы полигона и технических площадок получены в виде шейп-файлов (*.shp) и экспортированы в базу геоданных (предоставлены НЯЦ РК). Административные границы областей и районов оцифрованы с атласа Казахстана. Координаты маркировочных столбов взяты с отчета.

Также в этот блок содержит набор слоев «перспективная карта», который включает в себя границы предполагаемого района, к которому будет относиться территория полигона и контуры детального обследования территории полигона до 2020 года. Всего данный блок содержит 12 слоев.

Топография. Здесь представлена топографическая основа масштабов от 1:500 000 до 1:100 000. Данный блок включает в себя следующие поднаборы слоев: рельеф местности (изолинии) с высотными отметками, гидрография (реки, озера и т.п.), дорожная сеть, ЛЭП, также растровые изображения в виде космических снимков, различных схем. Слои созданы на основе листов топографической карты масштаба 1:100 000, занесена необходимая атрибутивная информация: название рек, озер, тип дорог (главная, грунтовая) и т.п. Рельеф масштаба 1:500 000 получен в виде шейп-файлов и экспортирован в базу геоданных (предоставлен НЯЦ РК). Также в этом блоке находятся слои номенклатурных листов разных масштабов.

Данный блок содержит в настоящий момент 14 слоев. В 2011 году будет закончен слой рельеф масштаба 1:100 000, с помощью которого будет построена 3D-модель местности.

Места проведения ядерных и других испытаний. Это исторический блок, будет включать места проводимых ранее ядерных и др. испытаний (штольни, скважины) и их последствия в виде следов радиоактивных выпадений. Эти данные ранее наносились на различные карты, однако, с появлением более новой технической базы для получения координат, данные слои были актуализированы. По всем объектам – штольням, скважинам занесена атрибутивная информация: номер объекта, дата проведения испытания и прикреплены паспорта объектов, которые при необходимости можно посмотреть при наведении на объект. Также при увеличении масштаба (около 1:3 000), можно увидеть ситуацию на самом объекте (участки обследования возле скважин, штолен). Технические площадки на площадке «Опытное поле» и ШПУ (шахтно-пусковые установки) вынесены в отдельный слой.

Также в этом блоке находится набор слоев «следы», так как они оцифрованы с различных источников, который обязательно указывается. Создан слой на основе табличных данных, представленных в литературе. Учитывались место проведения испытания и магнитный азимут направления движения радиоактивного облака. Данный слой используется для детального обследования территории в местах прохождения следов, чтобы подтвердить или опровергнуть данное предположение. Этот блок содержит в общей сложности 19 слоев.

Хозяйственная деятельность на СИП. В данном блоке представлена информация, касающаяся мест ведения хозяйственной деятельности на территории полигона: населенные пункты (зимовки как на территории СИП, так и за его пределами), проектируе-

мые и разрабатываемые месторождения, реакторные комплексы.

В блок включен слой населенные пункты, который оцифрован с листов карт масштаба 1:100 000. По результатам хозяйственного мониторинга (полевых исследований) и на основе созданного слоя нанесены зимовки (летники), занесена следующая атрибутивная информация: название объекта, координаты, состояние объекта (брошенная или жилая), поголовье скота. Также по данным полевых выездов и на основании официальных запросов были нанесены землеотводы хозяйствующих субъектов со следующей информацией: владелец, наименование субъекта, вид работ, площадь землеотвода. Всего на настоящий момент на территории полигона 52 хозяйствующих субъекта, из них 7 разрабатываемых месторождений и 45 сельских хозяйств. Данные слои постоянно пополняются атрибутивной информацией по результатам ежегодного мониторинга. Также в этом блоке размещен слой реакторные комплексы, которые являются промышленными объектами и обозначены особым условным знаком. По результатам материалов сельскохозяйственного картографирования и аэрофотосъемки 2001 года, создана карта сельскохозяйственных угодий, заполненная контурами на 70% от всей территории СИП. В этом блоке на настоящий момент содержится 7 слоев.

Водные объекты. Этот блок будет включать в себя потенциальные объекты водопользования – колодцы, родники и т.п., которые оцифрованы с листов карт масштаба 1:100 000. Затем, на основе данных слоев и в результате полевых исследований были созданы слои с уточненными координатами. К слою колодцы прикреплены паспорта колодцев, в которых имеется фотография объекта, табличные результаты химического и радионуклидного состава воды в данном колодце. Всего блок содержит 5 слоев.

Растительность. Здесь представлены карты растительного покрова разного масштаба и карты-схемы основных экосистем. В настоящий момент создана карта геоботанических контуров на 30% территории СИП масштаба 1:100 000. Для создания слоя на основе данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) использовались мультиспектральные снимки среднего разрешения. Классификация контуров была проведена сотрудниками НЯЦ РК. По результатам полевого дешифрирования была построена карта геоботанических контуров с заполнением соответствующей атрибутивной информации. На ее основе создана карта основных экосистем. Всего блок содержит 2 слоя.

Почвы. Этот блок включает карты почвенного покрова разного масштаба, а также карты фактического материала. Он создавался 2 способами: оцифровка листов карт масштаба 1:300 000, на основе ДЗЗ и полевых заверок (масштаб 1:100 000). Слой почвенные разрезы включает в себя весь фактический материал, собранный за многолетний период, к

каждому разрезу прикреплен паспорт с его подробным описанием.

Всего блок содержит 3 слоя.

Геология. В данном блоке представлена информация, касающаяся геологического строения данной территории: геологические и гидрогеологические карты, с нанесением специфической информации. Созданы слои: направления водных потоков, контуры бассейнов водосбора, месторождения полезных ископаемых, также скважины гидрогеологические, структурные.

Наборы слоев гидрогеология и полезные ископаемые планируется актуализировать в 2011 году. Также будет создана геоморфологическая карта масштаба 1:200 000.

Всего в настоящий момент в блок входит 11 слоев.

Радиационные характеристики объектов окружающей среды. Блок включает результаты обследования всех объектов окружающей среды (почва, воздух и т.п.) как регионального (на всю территорию бывшего СИП) так и локального уровня (отдельные участки, объекты).

Этот блок является динамичным, так как постоянно появляются новые объекты исследований, как точечные, так и большие площади. Блок имеет свою структуру, разбит по годам и объектам окружающей среды (почва, вода, воздух, растения). Координаты точек отбора проб объектов окружающей среды с результатами полевых и лабораторных исследований отражаются в виде точек на карте посредством связи базы данных «Радиоэкология» с ГИС-проектом.

Затем по описанной методике создаются карты площадного загрязнения почвы территории различными радионуклидами естественного и техногенного характера, такими как Cs-137, Am-241 и др. Либо, если точек отбора проб недостаточно для построения площадного распределения на данном участке, точки наносятся в цветовой градации. Также обрабатываются данные по другим объектам окружающей среды – в виде точечной цветовой градации.

Данный блок в настоящий момент содержит 10 слоев на всю территорию и более 500 слоев на локальные участки.

Другие характеристики объектов окружающей среды. Блок содержит данные, касающиеся таких характеристик объектов, как химический состав и т.п. Блок имеет в настоящий момент всего 1 слой – скважины с атрибутивной информацией химического состава воды.

Итак, в настоящее время ГИС-проект «СИП» содержит более 80 слоев с необходимой атрибутивной информацией, чтобы охарактеризовать объект, которые в свою очередь содержат более 20 000 объектов. Названия различных объектов в таблицу атрибутов занесены на трех языках: русский, казахский, английский. В псевдониме каждого слоя пишется краткая информация: источник для создания (например, атлас Казахстана или отчет по программе 011 2008 г), дата создания.

3. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС-ПРОЕКТА

Основная функция ГИС-проекта – анализ данных. Рассмотрим наиболее распространенные примеры анализа данных для оценки состояния территории и экосистем с помощью ГИС-проекта «СИП».

При проведении научных исследований на территории участка месторождения «Байтемир» необходимо было определить характер и механизмы загрязнения территории. По результатам лабораторных анализов построена карта площадного загрязнения ^{137}Cs с помощью модуля Spatial Analyst с цветовой градацией от светлого, менее загрязненного, к темному цвету [5]. Явно виден основной участок загрязнения. Наложение слоев – след в виде изолинии 0,3 Ки/кв.км ^{137}Cs по результатам аэрогаммасъемки с картой площадного распределения радионуклида ^{137}Cs на участке, явно видно, что загрязнение ^{137}Cs приурочено к проходящему по данному участку следу радиоактивных выпадений 1953 года (рисунок 3).

Для интерпретации полученных данных на «северной» части территории СИП по радионуклиду ^{241}Am необходимо применить два вида анализа: пространственный и статистический. На основании пространственного анализа и построения графиков удельной активности ^{241}Am , в распределении ^{241}Am выявлено 6 зон с повышенными концентрациями, которые можно обосновать при наложении следов от радиоактивных выпадений после проведения гидроядерных, гидродинамических и ядерных испытаний. С помощью статистического анализа можно вычислить среднюю концентрацию ^{241}Am по каждому контуру и определить наиболее выраженный (рисунок 4).

В настоящее время есть возможность пользоваться данным ГИС-проектом с помощью приложе-

ния-просмотрщика ArcReader, который открывает ГИС-проект на сервере ИРБЭ НЯЦ РК. Пользователь будет иметь такие возможности, как отключать и включать необходимые ему слои, открывать паспорта на объекты непосредственно наведя на объект, определить местоположение точки (объекта), если известны координаты, просматривать атрибутивную информацию по каждому слою. При работе с инструментами используются стандартные возможности приложения, рассматривается вариант расширения возможностей пользовательского интерфейса. Данные на сервере ИРБЭ НЯЦ РК постоянно пополняются и обновляются.

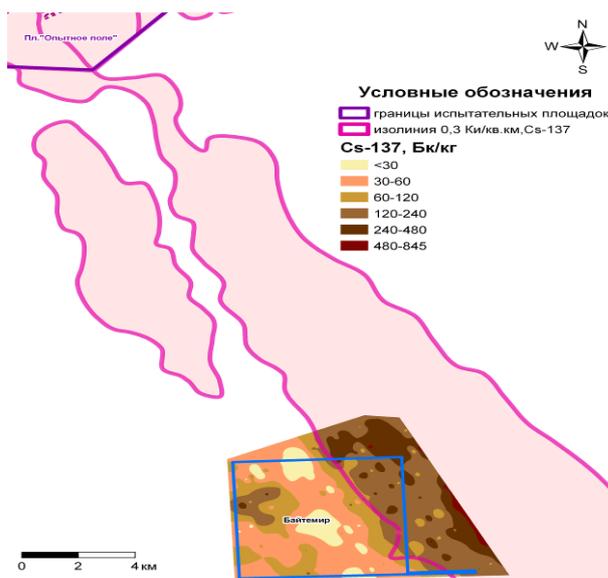


Рисунок 3. Наложение слоев - карта площадного загрязнения и след радиоактивного выпадения

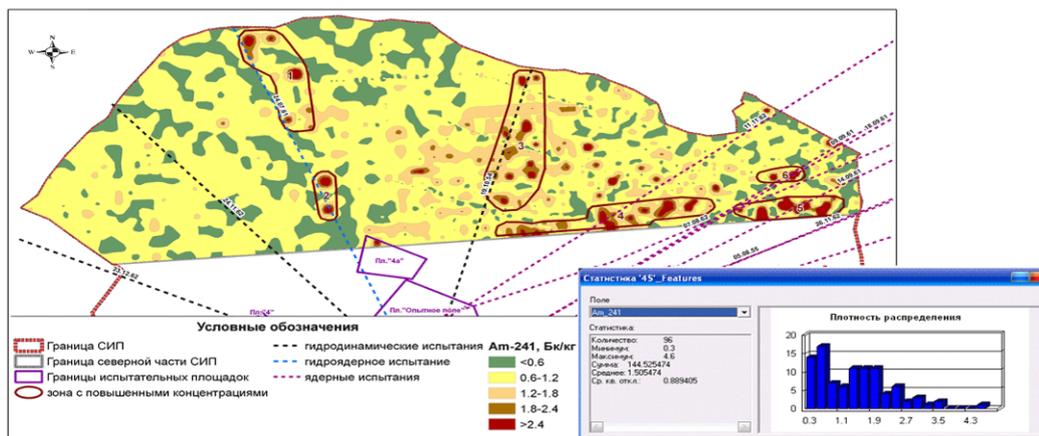


Рисунок 4. Интерпретация данных по радионуклиду ^{241}Am

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Своевременное и эффективное обеспечение данными и информацией о состоянии природной среды является одним из важнейших условий выполнения работ по мониторинговому планированию и принятию решений. Данная разработка позволила систе-

матизировать большой объем накопленной информации, в том числе по радиационному загрязнению СИП и отдельных испытательных площадок, а также обеспечить постоянное информационное и аналитическое обслуживание большого числа специалистов.

На настоящий момент ГИС-проект «СИП» содержит более 80 слоев, которые в свою очередь содержат более 20 000 объектов. Стоит отметить, что в настоящее время все данные, имеющие пространственную привязку, проходят процедуру обработки и занесения в ГИС-проект «СИП».

Дальнейшее развитие ГИС-проекта позволит расширить сферу применения ГИС, таких как моделирование радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха, подземных вод на территории СИП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев, Ю. К. Общая геоинформатика. Ч.1 [Теоретическая геоинформатика.]. Вып.1 / Ю. К. Королев. – М: ООО СП Дата+, 1998. – 118 с.
2. Геоинформатика / А. Д. Иванников [и др.] – М: МАКС Пресс, 2001. – 349 с.
3. Журкин, И.Г. Геоинформационные системы / И.Г. Журкин, С.В. Шайгура. – М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 272 с.
4. Митчелл, Э. Руководство по ГИС анализу [Пространственные модели и взаимосвязи.]. Ч.1. / Э. Митчелл. – Copyright: ESRI, 1999. – 171 с.
5. Лайкин, В. И. Геоинформатика: учебное пособие / В. И. Лайкин, Г. А. Упоров. – Комсомольск-на-Амуре: АмГПУ, 2010. – 162 с.

«ССП» ГАЗ-ЖОБАСЫН ӘЗІРЛЕУ

Яковенко Ю.Ю., Ерёменко Е.А., Елизарьева Н.А.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада «ССП» ГАЗ-жобасын әзірлеу мен құру бойынша жұмыс нәтижелері, сондай-ақ аталған жобаның көмегімен аумақ пен экожүйе жағдайын бағалау үшін деректердің талдама үлгілері ұсынылған.

Бұрынғы Семей сынақ полигонының (ССП) аумағына қатысты ақпараттың үлкен көлемі жинақталған, осыған байланысты деректерді сақтау, уақытында қол жеткізу және тиімді өңдеу мәселелері пайда болады.

Аталған әзірleme жинақталған ақпараттың үлкен көлемін жүйелендіруге, соның ішінде ССП мен жекелеген сынақ алаңдары бойынша радиациялық ластануды, сондай-ақ көп мөлшердегі мамандарға тұрақты ақпараттық және аналитикалық қызмет көрсетуді қамтамасыз етуге мүмкіндік берді.

DEVELOPMENT OF GIS-PROJECT "STS"

Yu.Yu. Yakovenko, E.V. Eremenko, N.V. Elizareva

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents the results of the design and creation of GIS-project "STS", as well as examples of data analysis to assess the state of the territory and ecosystems through this project.

There has been collected a wealth of information concerning the territory of the former Semipalatinsk test site (STS), and therefore there are problems of storage, timely access and effective data processing. This development solves these problems, allows to systematize the information, including radioactive contamination of STS and certain testing sites, as well as provides continuous information and analytical services for a large number of specialists.

2. Определение расстояния от эпицентров событий до инфразвуковой группы IS31-Актюбинск, азимуты от станции на эпицентры, времена пробега и ожидаемые времена прихода инфразвуковых волн.

3. Отбор из автоматических инфразвуковых бюллетеней РМСС [4] детектированных, соответствующих отобраным сейсмическим событиям (по значения азимутам и временам прихода, близким к ожидаемым). Всего отобрано 125 событий из сейсмических бюллетеней и 97 соответствий в автоматических инфразвуковых бюллетенях).

4. Первичная локализация по комплексу сейсмических и инфразвуковых данных по наблюдаемым азимутам на источники и временам прихода

инфразвуковых волн, а также по временам в источниках, полученным по сейсмическим данным.

5. Вынесение результатов первичной локализации на спутниковые снимки Google Earth: (рисунки 1 – 4, синие значки).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВИЧНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ

Анализ пространственного распределения эпицентров событий по сейсмической и первичной комплексной локализации (рисунок 1) показал, что можно выделить несколько подмножеств событий. Каждому подмножеству соответствует карьер, дешифрируемый по космическим снимкам. В данном случае изучались Хромтау (ближайшее к станции IS31 облако точек на рисунке 2), Коктау (облако точек на рисунке 3) и Теренсай (облако точек на рисунке 4).



Значки: синий – результат по сейсмическим данным; красный – по комплексу сейсмических и инфразвуковых данных
Выноска - карьер Хромтау

Рисунок 2. Места проведения взрывов в карьерах Хромтау по данным сейсмических станций сети НЯЦ РК

Эпицентры взрывов по комплексу данных расположены гораздо более плотно, чем результаты локализации только по сейсмическим данным. Однако имеется систематическая ошибка локализации, очевидно, вызванная использованием приближенного значения горизонтальной скорости. Азимутальные ошибки на таких расстояниях существенно не влияют на результаты локализации. В каждую группу входит 13 пар эпицентров взрывов – карьер Хромтау, 11 пар эпицентров – карьер Коктау, 11 пар эпицентров – карьер Теренсай на расстоянии порядка 160 км. Всего реализация первой части предлагаемой методики позволила найти соответствующие карьеры для 74 событий из 125 проверенных. Для рудников Хромтау, Коктау и Теренсай, точно установлено, что взрыв произведен в пределах территории этих рудников.

РЕЗУЛЬТАТЫ УТОЧНЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ

Карьер Хромтау Донского ГОКа имеет несколько близко расположенных карьеров, и для большей

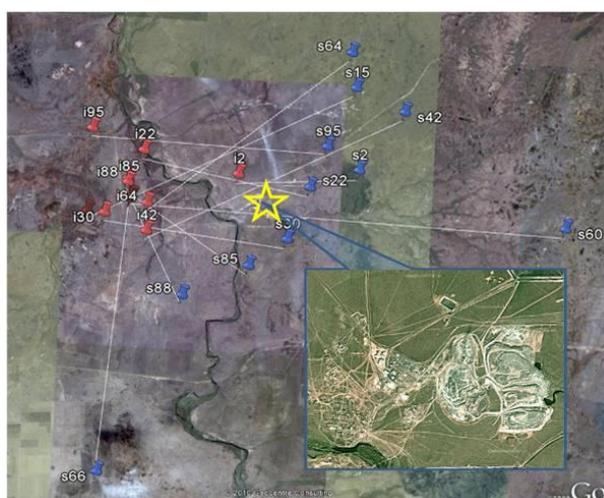


Рисунок 3. Места проведения взрывов в карьерах Коктау по данным сейсмических станций сети НЯЦ РК

определенности были перелокализованы взрывы, произведенные только в карьере Южный, где в 2008 г. они производились наиболее часто. Карьер Южный расположен на расстоянии 31,2 км к востоку от станции IS31 (рисунок 5). Моделирование хода инфразвуковых лучей произведено с помощью программного обеспечения Tau-p/WASP[2]. Параметры профилей ветра и температуры взяты из моделей ARPEGE и HWM93 и MSIS90 [5].

На рисунке 6 показана картина хода лучей, рассчитанная для взрыва, произведенного 3 января 2008 г. в карьере Южный. Как видно из рисунка 6, на станции ожидается приход лучей, распространяющихся на самой малой высоте – в приповерхностном слое. Такая картина типична для эпицентрального расстояния порядка 30 км.

На рисунке 7 приведены отклонения наблюдаемых баказимутам от истинного и предсказанные поправки к баказимутам.



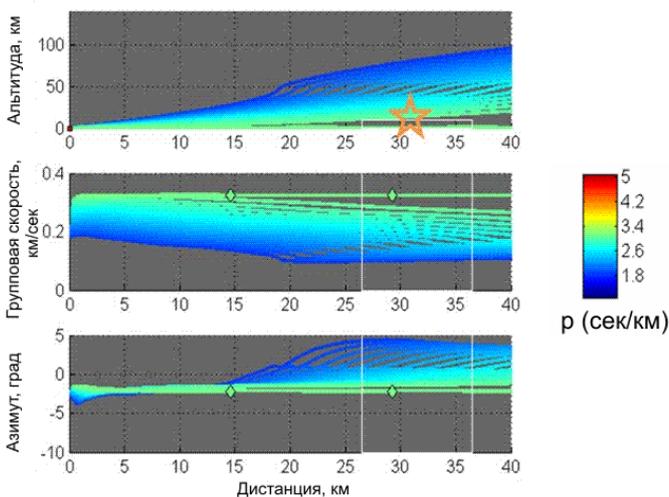
Значки: синий – результат по сейсмическим данным; красный – по комплексу сейсмических и инфразвуковых данных. Выноска - карьер Теренсай

Рисунок 4. Места проведения взрывов в карьерах Теренсай по данным сейсмических станций сети НЯЦ РК



Кружки: голубой - инфразвуковая группа, красный – сейсмическая группа. Звездочка – карьер. Красная линия – трасса моделирования распространения инфразвука.

Рисунок 5. Схема взаимного расположения сейсмических станций AKTO-AS059, инфразвуковой группы IS31 и карьеров



Сверху вниз: зависимость от расстояния: высоты поворота лучей к земле, групповой скорости, отклонения азимута

Рисунок 6. Результаты моделирования хода лучей для взрыва, произведенного 3 января 2008 г. в карьере Южный (Хромтау)

Рисунок 7 показывает, что моделирование хорошо предсказывает тенденцию развития девиаций азимутов, вызываемых сезонными изменениями атмосферы. Однако абсолютные значения поправок могут иметь расхождения, превышающие 2° . Аналогичные результаты получены также для карьеров Коктау и Теренсай.

На рисунке 8 приведены результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в карьере Южный Донского ГОК (Хромтау). Средняя ошибка локализации по сейсмическим данным составляет около 12.3 км, «грубой» локализации по комплексу ин-

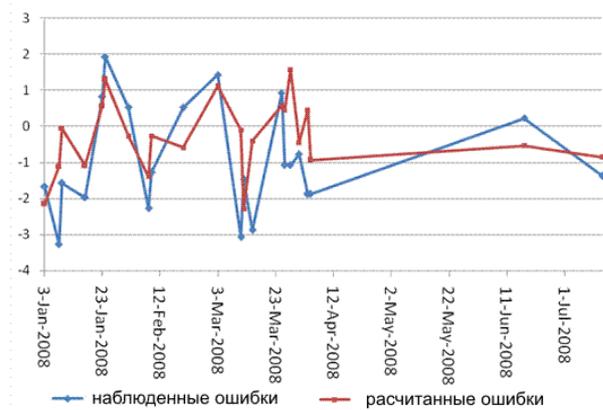
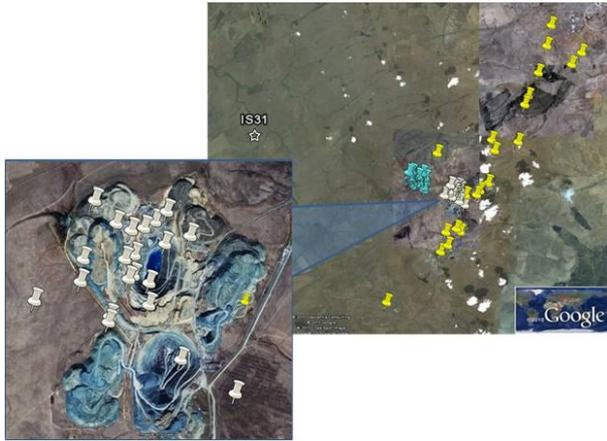


Рисунок 7. Отклонения азимутов на источник для взрывов, произведенных в карьере Южный (Хромтау) в первой половине 2008 г.

инфразвуковых и сейсмических данных – 6.3 км и локализации по комплексу данных с уточненными параметрами около 0.9 км. Применение предложенной выше схемы позволило увеличить точность более, чем на порядок.

На рисунке 9 показаны результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в карьере Коктау (50 лет Октября) в первой половине 2008 г.: средняя ошибка локализации по сейсмическим данным составила 10,4 км, а локализации по комплексу данных с уточненными параметрами - около 2 км.



Значки: желтый – локализация по сейсмологическим данным; зеленый – предварительная локализация по сейсмическим и инфразвуковым данным; белый – локализация с уточненными в результате моделирования значениями баказимутов и групповых скоростей и уточненных времен про бега

Рисунок 8. Результаты локализации взрывов, произведенных в карьере Южный (Хромтау) в первой половине 2008 г.

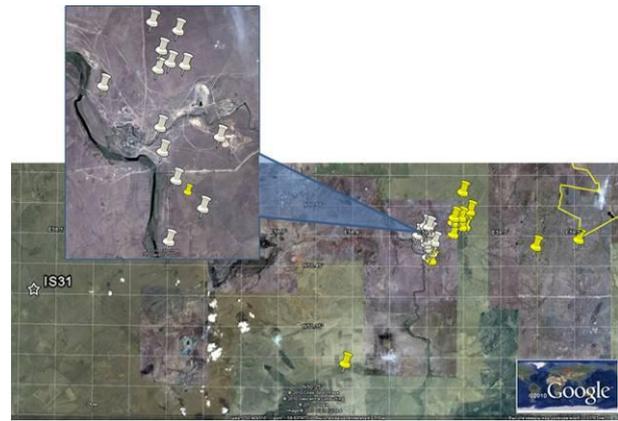
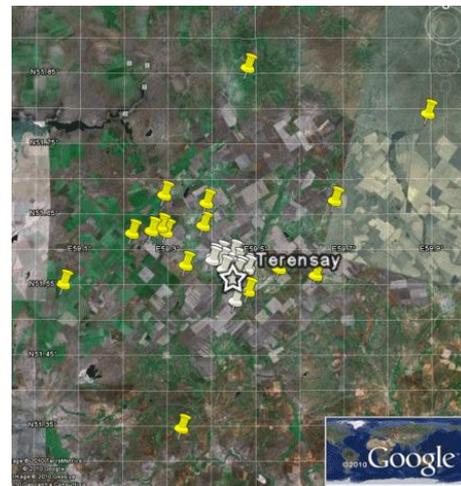


Рисунок 9. Результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в карьере 50 лет Октября (Коктау) в первой половине 2008 г.

Карьер Теренсай находится в 162 км к северо-востоку от станции IS31 (рисунок 5). Из списка событий сейсмического бюллетеня КНЦД отобраны 16 событий, произведенных в карьере Теренсай (Джусинское) в 2008 г., для которых удалось найти соответствующие детектирования в инфразвуковых бюллетенях, рассчитать траектории хода инфразвуковых волн от источника до станции и переснять времена вступления инфразвука. На рисунке 10 приведены результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в этом карьере: средняя ошибка локализации по сейсмическим данным составила около 16,7 км, а локализации по комплексу данных с уточненными параметрами около 2,3км.

Таким образом, совместное использование инфразвуковых и сейсмических данных для трех изученных карьеров, показало существенное повышение точности определения эпицентров источника. Дальнейшее совершенствование методики связано с использованием более точных атмосферных моделей.



Условные обозначения те же, что на рисунке 8.

Рисунок 10. Результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в карьере Теренсай (Джусинское) в 2008 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асминг, В.Э. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками / В.Э Асминг, З.А. Евтюгина, Ю.А. Виноградов, А.В. Федоров // Вестник МГТУ, 2009. – т. 12, № 2 – С. 300 - 307.
2. Garces, M. A. Traveltimes for infrasonic waves propagating in a stratified atmosphere / M. A. Garces, R. A. Hansen, K. G. Lindquist // Geoph. J. Int., 1998. – P. 135, 255 – 263.
3. Интерактивный сейсмологический бюллетень КНЦД [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://kndc.kz/rus/index.php?p=0&f=data.html>.
4. Cansi, Y. An automatic seismic event processing for detection and location: The PMCC method / Y. Cansi // Geophys. Res. Lett., 1995. – 22. – P. 1021 – 1024.
5. Déqué, M. The ARPEGE/IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modeling / M. Déqué, A. Drevet, A. Braun, D. Cariolle // Climate Dynamics, 1994. – P. 10, 249 - 266.

**ОҚШАУЛАУ ДӘЛДІГІН ЖОҒАРЫЛАТУ ҮШІН ИНФРАДЫБЫСТЫҚ
ЖӘНЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ БІРЛЕСТІРІП ПАЙДАЛАҢУ**

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

ҚР ҰҰО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Оқиғалардың эпиорталықтарын инфрадыбыстық және сейсмикалық деректерді бірлестіріп пайдалану кезінде оқшаулау әдістемесі сипатталған. Хромтау, Көктау және Теренсай карьерлерінің жарылыстары бойынша деректерде осы әдісті пайдалану үлгілері көрсетілген.

COMBINING INFRASOUND AND SEISMIC DATA TO IMPROVE IN LOCATING EVENTS

V.I. Dubrovin, A.A. Smirnov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Epicenter locating method with combining seismic and infrasound data has been described. The examples of this method application to the data from quarry blasts in Khromtau, Koktau and Terensai are given.

УДК 528:002; 504:002

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-ВЕРСИИ БАЗЫ ДАННЫХ ГИС

Керимбаев А.О.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

Internet-вариант базы данных ГИС представляет собой информационный модуль, основная цель которого систематизировать большой объем накопленной информации по радиационному загрязнению СИП. Данная разработка позволит обеспечить информационное и аналитическое обслуживание большого сообщества пользователей.

В ходе проведения работ по исследованию радиоэкологической обстановки на территории бывшего СИП накоплен большой объем разносторонней информации. После предварительной обработки, все данные, имеющие географическую привязку, собраны в базе данных ГИС.

Разрабатываемый Internet-вариант базы данных ГИС (далее Internet-версия) представляет собой информационный модуль, основная цель создания которого – предоставление широкому кругу заинтересованных лиц возможности получить информацию о бывшем Семипалатинском испытательном полигоне, содержащуюся в базе данных ГИС.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Инструментом для создания Internet-версии выбрана программа MapView SVG Professional 8.x для ArcGIS [1], которая представляет собой дополнительный модуль к программе ArcView 8.x фирмы ESRI и позволяет конвертировать карты, созданные в ArcView в SVG-формат.

MapViewSVG предлагает следующие функции:

- Экспорт векторных данных в формат SVG;
- Поддержка растровых изображений;
- ArcGIS 8.x/9.x: поддержка персональных географических БД, данных CAD, Coverages, Shapefiles, Layers, подключение к ArcSDE, Raster image, Raster Catalog;
- Включение/исключение новых слоев (тем) в MapView;
- Информация об объекте в виде списка или гистограммы;
- Обнаружение особенностей, строя выражение вопроса (только для HTML);
- Выделение объектов, удовлетворяющих запросу (только решение для HTML);
- Масштабирование слоев;
- Всплывающие тексты;
- Масштабная шкала и обзор;
- Измерение значений и считывание координат;
- Мозаичное представление растровых изображений и точечных слоев;
- Динамическая загрузка видимых слоев.

SVG-формат (масштабируемая векторная графика) – графический формат, основанный на языке XML [2;4], и разработан для представления инфор-

мации в Internet. SVG-файлы – это динамическая высококачественная векторная графика, которая удобна для конечного пользователя, так как позволяет легко масштабировать, увеличивать картинку, и загружать данные в браузер намного быстрее, чем раньше. SVG – открытый стандарт, разработанный Консорциумом World Wide Web (W3C) и рекомендованный к использованию.

Данные для создания web-страницы состоят из SVG- и XML-файлов, содержащих информацию, как о географической привязке объектов, так и всю необходимую дополнительную информацию.

Так как web-страницы используют SVG-формат, то пользователям необходимо будет установить программу для просмотра файлов в этом формате. Adobe SVG Viewer можно скачать бесплатно с сайта компании Adobe Systems Incorporated по адресу: <http://www.adobe.com/svg/viewer/install/main.html>.

СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИИ

Для удобства пользователей Internet-версия базы данных ГИС (и возможного ограничения доступа к чувствительной информации) предполагается организовать два уровня детализации данных:

- Уровень СИП, в котором данные относятся непосредственно к Семипалатинскому испытательному полигону (данные оцифрованы с топографических и тематических карт масштаба 1:500 000). На этом уровне также имеется дополнительная информация, содержащая общие сведения об объектах СИП. Этот уровень планируется сделать полностью открытым, без ограничения доступа.

- Уровень испытательных площадок и объектов (более детальные картографические данные масштаба 1:200 000), кроме того, на этом уровне представлена дополнительная (более подробная) информация об объектах (координаты, время и мощность проведенных испытаний, радиологическая обстановка и пр.). Данный уровень информации, возможно, будет иметь ограниченный доступ (с организацией парольной защиты).

Картографические объекты логически организованы в наборы слоев или тем информации. Например, оцифрованная карта топографической основы представлена слоями населенных пунктов, дорог, речной сети, административных границ, изолиний рельефа и т.д. Слои могут подключаться или отклю-

часть по мере необходимости для того, чтобы не перегружать карту информацией.

Internet-версия работает с двумя различными типами данных – векторными (SVG- и XML-файлы) и растровыми (JPEG-файлы).

ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Internet-версия имеет три варианта интерфейса пользователя – казахский, русский и английский. Интерфейс и содержание документов в различных языковых версиях идентичны (за исключением возможных ошибок внесения данных или перевода).

После выбора языка интерфейса пользователь попадает на главную страницу (Рисунок 1), содержащую информацию об объектах СИП.

Как и большинство web-страниц, входящих в данную разработку, главная страница имеет следующую структуру [3]:

1. Основное окно. В нем содержится карта, состоящая из слоев информации, представленных в легенде. Объекты на карте подсвечиваются при наведении на них курсора, также появляется информация о названии объекта или его местоположении. Если при наведении на объект появляется символ руки, значит, доступна более детальная информация. При нажатии кнопки мышки появляется окно с информацией. В свою очередь эта новая страница тоже может содержать объекты с дополнительной информацией.

2. Легенда содержит список всех слоев, представленных на карте, метод их представления (точки, линии, полигоны и пр.) и их расцветку. Имеется

возможность выключить или включить видимость слоя, если это необходимо. При выключении слоя его легенда сворачивается, при включении – появляется вновь. В поле легенды может находиться построитель запросов для поиска по атрибутам (имени или свойствам). При его использовании выбранный объект подсвечивается на карте, масштаб карты изменяется, чтобы сделать объект видимым.

3. Обзорное окно представляет собой уменьшенную копию карты. При изменении масштаба карты изменяется размер серого прямоугольника, который показывает ту часть карты, которая видна в основном окне. Перемещая этот прямоугольник мышкой по обзорному окну можно перемещаться по карте.

4. Инструменты для работы с картой.



Для работы с картой имеются следующие инструменты:

- увеличение;
- уменьшение;
- перемещение;
- возвращение к первоначальному масштабу;
- линейка для измерения расстояния;
- справка по работе с картой.

При подведении курсора к инструменту, появляется подсказка по работе с этим инструментом. При открытии окна справки можно получить всю информацию по работе с инструментами карты и информацию о программах, необходимых для работы.

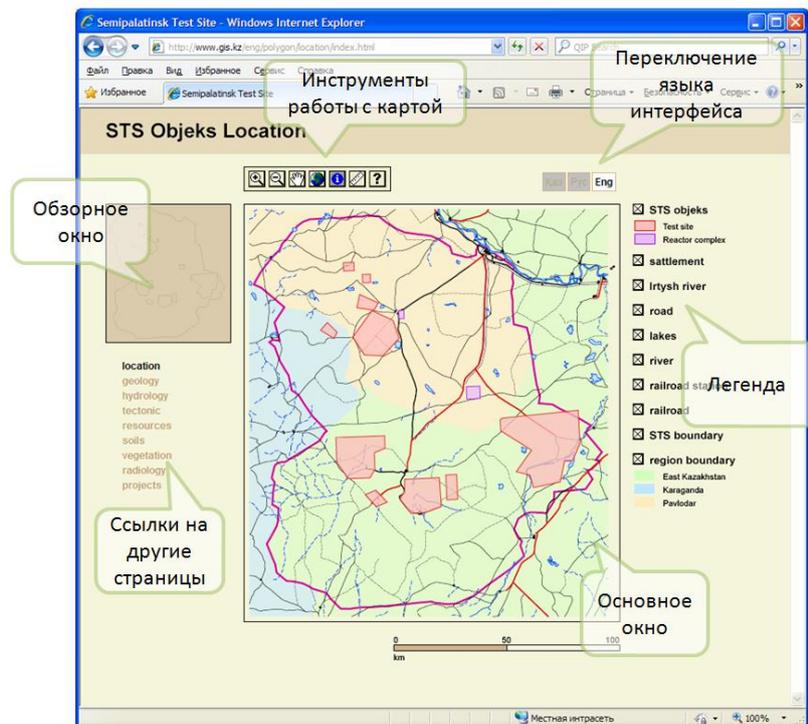


Рисунок 1. Главная страница

5. С левой стороны основного окна имеется список ссылок на страницы, связанные с данной картой. Данный проект содержит десять основных web-страниц информации:

- расположение объектов СИП;
- геологическое строение;
- гидрологическое зонирование;
- тектоническое строение;
- гравиметрические исследования;
- месторождения полезных ископаемых;
- карты почвенного покрова и грунтов;
- растительный покров;
- радиологические исследования;
- места проведения международных проектов на СИП.

В зависимости от уровня детализации информации, названия ссылок и их количество могут быть различными.

6. Кнопки переключения языка интерфейса пользователя позволяют при необходимости переключить язык интерфейса. Это можно сделать в любой момент, так как кнопки находятся на всех страницах Internet-версии.

РАБОТА С INTERNET-ВЕРСИЕЙ

В качестве примера рассмотрим возможность использования Internet-версии для получения информации об интересующей нас штольне горного массива Дегелен, где проводились подземные испытания ядерного оружия. Для этой площадки имеется наибольшее количество различной информации, полученной как при проведении испытаний, так и в ходе работ по ликвидации инфраструктуры испытаний ядерного оружия.

Открыв URL-источник с адресом и получив доступ к работе, попадаем на информационную страницу. После выбора языка интерфейса пользователя, открывается окно главной web-страницы.

Наводим курсор на испытательную площадку Дегелен (название подсвечивается на карте). После нажатия кнопки мышки открывается web-страница с общим описанием площадки Дегелен (характеристика площадки, количество штолен и испытаний в них, и т.д.). На этой странице находится ссылка на web-страницу базы данных ГИС Дегелен, которая приводит к следующему окну.

В легенде, рядом со значком видимости слоя «tunnel», расположена кнопка строителя запроса. Выбираем для примера штольню 152. Для этого строим выражение запроса для поиска нужной штольни (Tunnel = '152') и нажимаем кнопку «Вы-

бор и Увеличение». В основном окне карты, при максимальном увеличении, появляется подсвеченная штольня 152. Кроме того, открывается окно таблицы атрибутов этого слоя со всей информацией по выбранному объекту.

Наводим курсор на штольню и нажимаем. Открывается окно, содержащее атрибутивную информацию для штольни 152. В этом окне представлена следующая информация:

- номер штольни;
- фотография портала;
- координаты портала и высота над уровнем моря;
- дата закрытия;
- дополнительная информация, содержащая данные о геологическом строении и поверхностном загрязнении радионуклидами площадки перед порталом;
- для штолен с водопроявлением – минерализация воды и загрязнение ее радионуклидами;
- испытания в штольне: дата проведения испытаний, цель испытания, мощность заряда в тротиловом эквиваленте.

Дополнительные данные (геологическое строение, поверхностное загрязнение, минерализация и радионуклидный состав штольневых вод) представлены в виде ссылок на web-страницы. При переходе по ссылкам, в новом окне появляется запрашиваемая информация.

Данные об испытаниях в штольне содержатся в связанной таблице, в которой собрана информация обо всех ядерных взрывах в штольнях горного массива Дегелен. По запросу производится выборка испытаний, относящихся к конкретной штольне, и пользователь получает результат запроса в виде таблицы.

ВЫВОДЫ

Благодаря Internet-версии базы данных ГИС широкий круг научных работников и общественности получит доступ к информации о СИП, которая ранее была недоступна.

Данная разработка позволит систематизировать большой объем накопленной информации по радиационному загрязнению СИП и отдельных испытательных площадок, а также обеспечить информационное и аналитическое обслуживание большого сообщества конечных пользователей: специалистов по различным областям науки и техники, экспертов, сотрудников архивных подразделений, работников информационных служб, простых пользователей сети Internet.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт программы MapView SVG [Электронный ресурс] / Mappetizer - Web Mapping Software. Режим доступа: <http://www.mappetizer.de> свободный.
2. Программирование для web. Библиотека профессионала / М. Холл [и др.].: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. - 1264с.

3. Application of GIS-Technologies for Decision Support System Creation [Электронный ресурс] Baranov S.A., Berezin S.A., Mukusheva M.K., Spiridonov S.I., Sadvakasov M.O. /I-st International Workshop <Nuclear legacy of the former USSR>, Munich, Germany, 2006 -1 электрон. опт. диск (CD-ROM) .
4. Квинт, И. HTML, XHTML и CSS на 100% / Квинт И.- СПб.: Питер, 2010.-384с.

ГАЗ ДЕРЕКТЕР ҚОРЫНЫҢ ИНТЕРНЕТ НҮСҚАСЫН ДАЙЫНДАУ

Керімбаев А.О.

Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов

ГАЗ деректер қорының Internet - нұсқасының негізгі мақсаты ССП және жеке сынақ аландарының радиациялық ластануы бойынша жиналған мәліметтердің үлкен көлемін жүйелейтін ақпараттық модуль болып табылады. Бұл әзірleme пайдаланушылардың үлкен бірлестігіне ақпараттық және талдамалық қызмет көрсетуге мүмкіндік береді.

DEVELOPMENT OF THE GIS DATABASE INTERNET VERSION

A.O. Kerimbayev

National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

Internet-version of the GIS database is an information module, whose main purpose to systematize a large volume accumulated data on radioactive contamination STS. This development will provide information and analytical maintenance of a large community of users.

УДК 550.344

СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ СОБЫТИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КУРЧАТОВ-КРЕСТ

Мукамбаев А.С., Соколова И.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Впервые проведена оценка качества распознавания ПЯВ и землетрясений по данным сейсмической группы Курчатов – Крест. Приведены количественные характеристики сейсмического шума станции за 1996 г. и 2007 г., которые свидетельствуют о хороших возможностях этой станции для мониторинга сейсмических событий различной природы. Детально изучены возможности станции для обнаружения и идентификации сейсмических событий различной природы из районов ядерных полигонов Азии.

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Сейсмическая группа (СГ) Курчатов-Крест работает с 1973 г. СГ модернизирована в 1994 г. в рамках Совместной сейсмической программы (JSP) [1], а в 2006 - в соответствии с Договором о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). На двадцати пунктах KUR1 - KUR20 установлены однокомпонентные сейсмометры CMG-3V, на центральном пункте KUR21 - трехкомпонентный сейсмометр CMG-3ТВ. Станция регистрации - Euro-T фирмы Nanometrics.. Сбор информации в центре системы (CRF) и пункте обработки данных (TS2) осуществляется посредством радиомодемов VIP 110-24. По спутниковому каналу данные от CRF передаются в Международный центр данных (МЦД, Вена), а оттуда поступают в Центр данных (КНЦД) в г. Алматы. 18 декабря 2006 г. станция сертифицирована международной комиссией в качестве вспомогательной станции международной системы мониторинга. Географическое положение станции удобно как для контроля за подземными ядерными взрывами, так и для изучения сейсмичности Алтая и Восточного Казахстана. Ядерные полигоны Азии находятся на региональных расстояниях от станции: 1400 км - полигон Лобнор, 2670 км - Чагай, 2670 км - Похаран, 3974 км - Пунгери, (рисунок 1).

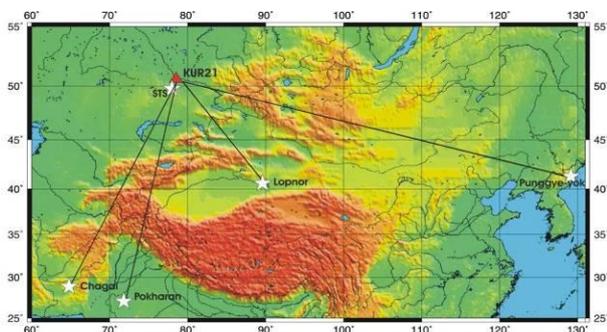


Рисунок 1. Расположения испытательных ядерных полигонов Азии относительно сейсмической группы Курчатов-Крест

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

Изучены количественные характеристики сейсмического шума, поскольку они определяют эффективность чувствительность станции и способность ее к обнаружению сигналов. С этой целью использованы записи станции за 2007 г. (после модернизации 2006 г.) и 1996 г. (до модернизации 2006 г.). Структура микросейсмических помех изучена путем построения спектров плотности сейсмического шума для трех компонент по методике, описанной в [2 - 4]. На рисунке 2 приведены результаты оценки спектральной плотности (медианные спектры) шума в дневное и ночное время для Z-компоненты, регистрируемой в центральном пункте KUR21. Для 1996 г. спектральные кривые сейсмического шума дня и ночи практически совпадают, уровень шума в диапазоне периодов от 0.3 до 5 с тяготеет к нижеуровневой модели сейсмического шума Петерсона [5], однако для периодов менее 0.3 с, наблюдается резкий рост уровня шума, связанный с аппаратурными шумами.

Спектральные кривые шума, рассчитанные за 2007 г., также тяготеют к нижеуровневой модели сейсмического шума Петерсона [5], однако имеется различие в высокочастотной области в спектрах для дневного и ночного времени. Для периодов более 0.5 с уровень спектральной плотности сейсмического шума в дневное и ночное время практически совпадает. В диапазоне периодов 0.06 – 0.5с между уровнями спектральных плотностей сейсмического шума дня и ночи наблюдается существенное различие. Так, для периода 0.4 с разница составляет 9 дБ. Это связано с тем, что в районе расположения сейсмической группы в настоящее время активизировалась хозяйственная деятельность.

На рисунке 3а сопоставлены спектральные кривые сейсмического шума в ночной период за 1996 и 2007 гг.

**СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ СОБЫТИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ
ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КУРЧАТОВ-КРЕСТ**

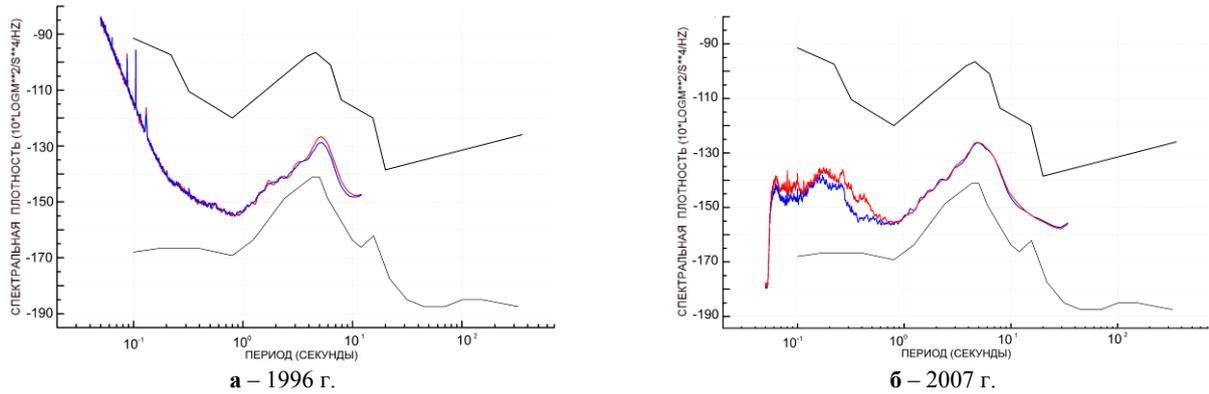


Рисунок 2. Спектральные кривые сейсмического шума для дня и ночи. Z-компонента. Центральный пункт KUR21

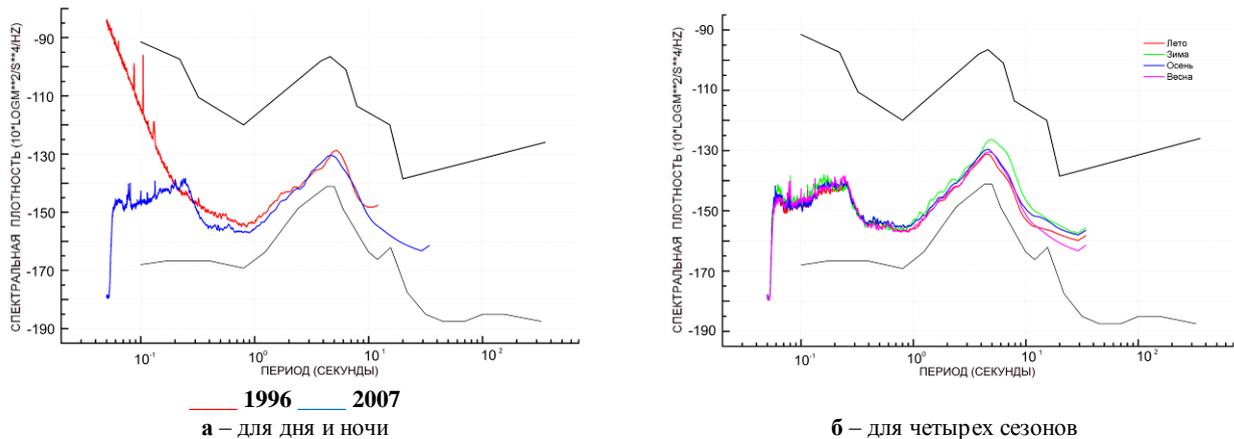


Рисунок 3. Спектральные кривые сейсмического шума на центральном пункте KUR21 (Z-компонента)

В диапазоне периодов от 0.2 до 9 с значения спектральной плотности сейсмического шума практически совпадают, максимальное различие составляет 4 дБ для периода 0.4 с. На рисунке 3б представлены спектральные кривые сейсмического шума для четырех сезонов - лето, зима, осень, весна (Z-компонента, ночное время). Сезонных вариаций сейсмических шумов не наблюдается, что связано с установкой сейсмометров в скважине.

Из сравнения динамических характеристик уровня сейсмических шумов за периоды времени 1995 - 2000 гг. (до модернизации) и 2007 - 2010 гг. (после модернизации) можно сделать вывод, что цифровые данные, полученные как в 1995 - 2000 г., так и в последующие годы в рабочем диапазоне периодов имеют хорошее качество и достаточно хорошие возможности в обнаружении событий. Этот вывод подтверждается данными Международного центра данных (IDC) в Вене: по количеству ассоциируемых и детектируемых вступлений сейсмических волн от событий всего мира станция входит в пятерку лучших из вспомогательной сети МСМ.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ ПЯВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Для исследования качества распознавания сейсмических событий различной природы - ПЯВ и

землетрясения, - были выбраны записи событий из районов испытательных полигонов Лобнор, Чагай, Похаран за 1995 - 2010 гг. (рисунок 4). Отобраны также записи калибровочных химических взрывов за 1997 - 2000 гг., произведенных на участках Балапан и Дегелен Семипалатинского испытательного полигона (СИП) [6], землетрясений, близких к району СИП, а также сильных карьерных химических взрывов в район участка Балапан. В базу данных включены также записи подземных ядерных взрывов на полигоне Пунгери (2006, 2009 гг.). Всего в базу данных вошло 80 событий, зарегистрированных на локальных, региональных и телесеismicких расстояниях.

По записям событий проведены замеры максимальных амплитуд основных региональных фаз (Pn, Pg, Sn и Lg). Для распознавания природы события использовалась методика, аналогичная методике, применявшейся для испытательных полигонов Центральной и Южной Азии [7, 8]. Определялись десятичные логарифмы отношений максимальных амплитуд поперечных и продольных волн после узкополосной фильтрации Sn/Pn и Lg/Pg (фильтры с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне -3 дБ от максимума).

**СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ СОБЫТИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ
ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КУРЧАТОВ-КРЕСТ**

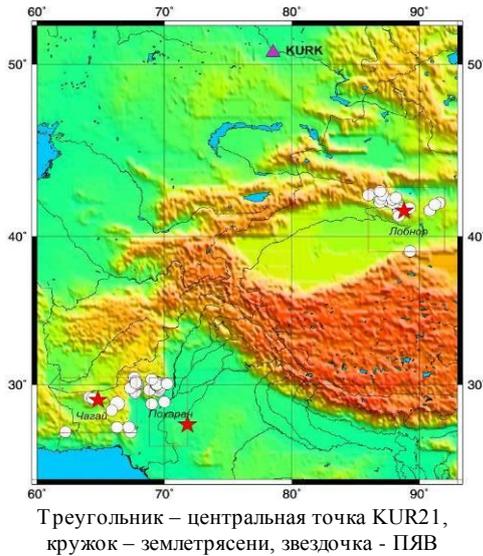


Рисунок 4. Расположения сейсмических событий в районах испытательных полигонов Азии, зарегистрированных сейсмической группой Курчаатов-Крест за 1995 - 2010 гг.

Оценка качества распознавания проведена по следующим логарифмам амплитудных отношений: средние значения для взрывов и землетрясений по выборке; дисперсия по выборке. Коэффициент качества разделения определен как

$$K_{qd} = \frac{\bar{X}_{eq} - \bar{X}_{ex}}{\sqrt{S_{eq}^2 + S_{ex}^2}},$$

где \bar{X}_{eq} и \bar{X}_{ex} - средние значения по выборке, а S_{eq} и S_{ex} - дисперсия для землетрясений и взрывов, соответственно.

Для китайского испытательного полигона Лобнор [7] рассмотрен район, ограниченный координатами 40°-43°с.ш. и 86°-91°в.д. Из него выбраны 15 землетрясений и один подземный ядерный взрыв (ПЯВ), произведенный 17.08.1995 г. (рисунок 4). Диапазон эпицентральных расстояний 1060 км - 1370 км (для ПЯВ - 1280 км), магнитуда mb 3.8 - 5.9. В таблице 1 приведены средние значения спектральных отношений Sn/Pn, Lg/Pg и коэффициента

Таблица 1. Средние значения спектральных отношений Sn/Pn, Lg/Pg и коэффициенты качества распознавания для района испытательного полигона Лобнор

Фильтр, Гц	Среднее lg(Sn/Pn(земл.))	Среднее lg(Lg/Pg(земл.))	Среднее lg(Sn/Pn(ПЯВ))	Среднее lg(Lg/Pg(ПЯВ))	$K_{Sn/Pn}$	$K_{Lg/Pg}$
0.60	0.33	0.76	0.43	0.92	- 0.17	- 0.29
1.25	0.37	0.62	0.25	0.40	0.22	0.35
2.50	0.19	0.14	0.01	- 0.26	0.33	0.76
5.00	- 0.03	0.00	- 0.56	- 0.33	1.06	0.68

Таблица 2. Средние значения спектральных отношений S/P и коэффициенты качества распознавания для района испытательного полигона Похаран

Фильтр, Гц	Среднее lg(S/P(земл.))	Среднее lg(S/P(ПЯВ))	$K_{S/P}$
0,6	-0,79	-0,60	-0,40
1,25	-0,97	-0,94	-0,03
2,5	-1,13	-1,09	-0,09

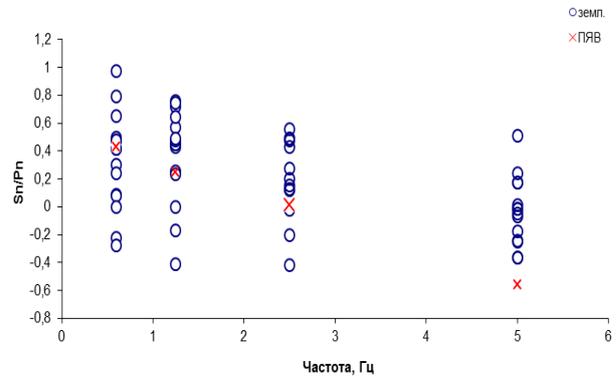


Рисунок 5. Распределение спектральных отношений Sn/Pn для района полигона Лобнор

качества распознавания для района испытательного полигона Лобнор, на рисунке 5 показано полученное распределение спектральных отношений Sn/Pn. Уверенное разделение параметров наблюдается для фильтра с центральной частотой 5 Гц, коэффициент качества распознавания для этого параметра $K_{Sn/Pn} > 1$. Для параметра Lg/Pg разделения параметров не наблюдается $K_{Lg/Pg} < 1$.

Для индийского испытательного полигона Похаран [8] рассмотрен район, ограниченный координатами 25.5°-30.5°с.ш. 68.8°-71.8°в.д. (рисунок 4). Обработано 15 записей землетрясений с эпицентральными расстояниями от 2386 до 2690 км и магнитудой mb от 4.4 до 5.4 и одного ПЯВ, произведенного 11.05.1998 г. (2673 км). В таблице 2 приведены средние значения спектральных отношений Sn/Pn и коэффициента качества распознавания для полигона Похаран, на рисунке 6а - распределение спектральных отношений S/P.

Как следует из таблицы 2 и рисунка 6а, разделения параметров распознавания не наблюдается ($K_{S/P} < 1$).

**СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ СОБЫТИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ
ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КУРЧАТОВ-КРЕСТ**

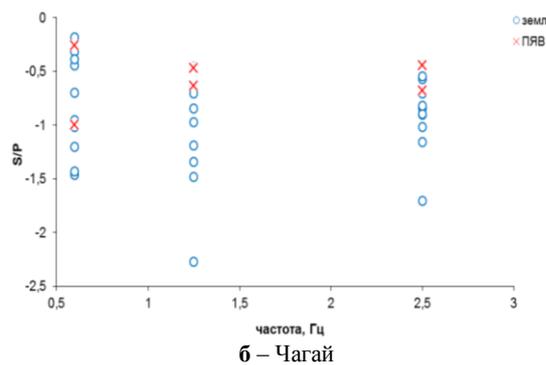
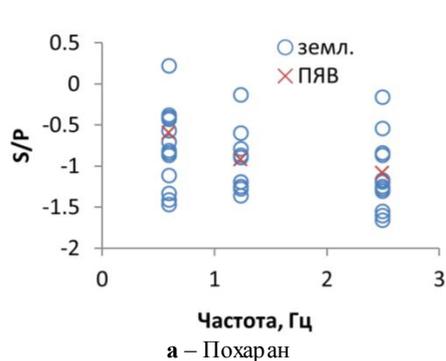


Рисунок 6. Распределение спектральных отношений S/P для района полигонов

Для пакистанского испытательного полигона Чагай рассмотрен район, ограниченный координатами 26.5°-30.5° с. ш. и 61.8°-67.8° в.д. Обработано 10 записей землетрясений с эпицентрными расстояниями от 2434 до 2840 км и магнитудой mb от 4.4 до 6.0, а также двух ПЯВ 28 и 30.5.1998 г. на расстоянии 2670 км (рисунок 4). В таблице 3 даны средние значения спектральных отношений Sn/Pn и коэффициента качества распознавания для полигона Чагай, на рисунке 6б - распределение спектральных отношений S/P.

Таблица 3. Средние значения спектральных отношений S/P и коэффициенты качества распознавания для района испытательного полигона Чагай

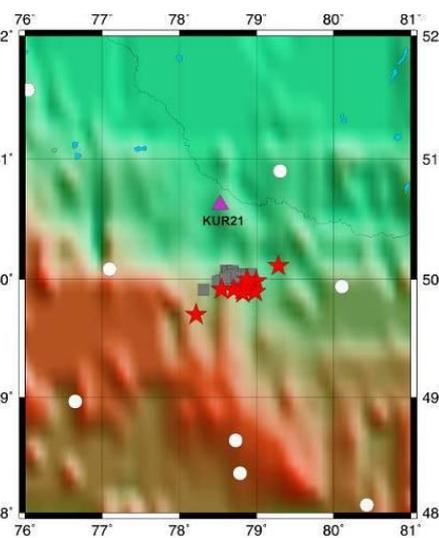
Фильтр, Гц	Среднее lg(S/P(земл.))	Среднее lg(S/P(ПЯВ))	K _{S/P}
0,60	-0,81	-0,63	-0,18
1,25	-1,16	-0,55	-0,89
2,50	-0,92	-0,56	-0,71

Как следует из таблицы 3 и рисунка 6б, разделение параметров не наблюдается ($K_{S/P} < 1$).

Для СИП рассмотрен район, ограниченный координатами 48°-52° с.ш. и 76°-81° в.д. Обработаны записи 7 землетрясений с эпицентрными расстояниями от 63 до 302 км, 12-ти калибровочных взрывов мощностью 2 - 100 т на расстояниях 71- 98 км, 18-ти карьерных химических взрывов на расстояниях 61 - 80 км (рисунок 7). Проведено сопоставление параметров распознавания для калибровочных взрывов и землетрясений, а отдельно для карьерных взрывов и землетрясений (таблица 4, рисунок 8). Как следует из полученных данных, уверенное разделение параметров наблюдается для всех компактных химических взрывов как карьерных, так и калибровочных для фильтра с частотой 5 Гц, $K_{S/P} > 1$ (таблица 4).

ВЫВОДЫ

1. Оценка параметров сейсмического шума по станции «Курчатова-Крест» свидетельствует о хороших возможностях этой станции для мониторинга сейсмических событий различной природы. Уровень спектральной плотности сейсмического шума близок к нижеуровневой мировой модели сейсмического шума.



Треугольник – точка KUR21, кружок – землетрясение, звездочка - калибровочный химический взрыв, квадратик – карьерный взрыв

Рисунок 7. Расположения сейсмических событий в районе СИП

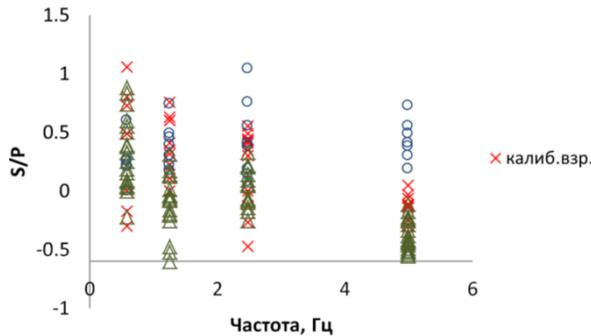


Рисунок 8. Распределение спектральных отношений S/P для района СИП

2. Анализ спектральных отношений основных региональных сейсмических фаз для различных типов источников свидетельствует о том, что сейсмическая группа Курчатова-Крест эффективна для сейсмического распознавания природы событий из района полигонов Лобнор и СИП. Однако эти выводы сделаны на статистически недостаточном материале по ядерным взрывам.

**СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ СОБЫТИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ
ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КУРЧАТОВ-КРЕСТ**

Таблица 4. Средние значения спектральных отношений S/P и коэффициенты качества распознавания для района Семипалатинского испытательного полигона

Фильтр, Гц	Среднее lg(S/P(калибр.))	Среднее lg(S/P(земл.))	Среднее lg(S/P (карьерн.))	K _{S/P} (калиб.)	K _{S/P} (карьерн.)
0,60	0,38	0,22	0,31	- 0,23	- 0,18
1,25	0,40	0,38	- 0,12	- 0,03	1,23
2,50	0,17	0,44	0,01	0,41	0,88
5,00	- 0,15	0,43	-0,38	1,89	2,71

ЛИТЕРАТУРА

1. О сети наблюдений НЯЦ РК. Сейсмическая группа Курчатова-Крест. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.kndc.kz/rus/index.php?p=1&f=kurkAS058.html>. свободный. – Загл. с экрана.
2. Синёва, З.И. Динамические характеристики сейсмического шума по цифровым записям станции Маканчи / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вулканология и сейсмология. – 2001. – вып.4. – С. 48 - 59.
3. Синёва, З.И. Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций казахстанской сети / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // «Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2000. – вып.2. – С. 24 - 30.
4. Михайлова, Н.Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахских станций мониторинга / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, 2006. – Вып. 2. – С. 19 - 26.
5. Peterson, Jon Observation and Modeling of Seismic Background Noise. / Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico.- 1993. - p.42.
6. Михайлова, Н.Н. Определения энергетических и магнитудных характеристик по сейсмическим записям химических взрывов 1997-2000 гг. на Семипалатинском полигоне / Н.Н., Михайлова, Т.И. Германова, И.Л. Аристова // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК.- 2001. - Вып. 2.С. 90-95.
7. Копничев, Ю.Ф. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор / Ю.Ф. Копничев, О.М. Шепелев, И.Н. Соколова // Физика Земли. - 2001. – № 12. – С. 64 - 77.
8. Копничев, Ю.Ф. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов и землетрясений на полигонах Индии и Пакистана / Ю.Ф. Копничев, О.М. Шепелев, И.Н. Соколова // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2001. – Вып.2. – С. 96 – 101.

**КУРЧАТОВ-КРЕСТ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОБЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ
БОЙЫНША ӘР ТЕКТІ ОҚИҒАЛАРДЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТАҢУ**

Мұқамбаев А.С., Соколова И.Н.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатова, Қазақстан

Курчатова-Крест сейсмикалық тобының деректері бойынша алғаш рет ЖЯЖ және жер сілкіністерін таңу сапасына баға берілді. Станцияның 1996 жылғы және 2007 жылғы сейсмикалық шуының сандық сипаттамалары берілген, бұл осы станцияның әр текті сейсмикалық оқиғаларды мониторингілеу мүмкіншілігінің жақсы екендігін дәлелдейді. Азияның ядролық полигондары аудандарынан әр текті сейсмикалық оқиғаларды таңу және сәйкестендірудегі станцияның мүмкіншіліктері егжей-тегжей зерделенген.

**IDENTIFICATION OF SEISMIC EVENTS OF DIFFERENT NATURE
ON DATA FROM KURCHATOV-KREST SEISMIC ARRAY**

A.C. Mukambayev, I.N. Sokolova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

For the first time the quality of UNE and earthquakes detection by data from Kurchatov-Krest seismic array was assessed. The results of quantity characteristics of seismic noise for 1996 and 2007 are shown. Seismic noise parameters assessment shows great capability of the station for monitoring of seismic events of different nature. The station capabilities for detection and identification of seismic events of different nature from Asian nuclear test site were studied in details

УДК 550.34

ЯПОНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 11.03.2011 г. И ЕГО АФТЕРШОКИ ПО ЗАПИСЯМ СТАНЦИЙ НЯЦ РК

Сейнасинов Н.А., Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты обработки сейсмограмм Японского землетрясения с $M_w=9,0$ и более 800 его афтершоков из района близ острова Хонсю, зарегистрированных станциями НЯЦ РК. Изучены характеристики разрыва в очаге сильного землетрясения, построена карта эпицентров афтершоков и установлен временной ход затухания афтершоковой деятельности.

11 марта 2011 года вблизи тихоокеанского побережья острова Хонсю (Япония) произошло землетрясение на глубине 22 км с эпицентром примерно в 100 км от г. Мияге и в 400 км от г. Токио. Землетрясение стало сильнейшей катастрофой за всю историю Японии. Этому способствовали как уникально сильные по степени сейсмического воздействия толчки, так и мощное цунами, разрушившее ряд прибрежных городов. Кроме того, эффект землетрясения был усилен опасной радиационной обстановкой, сложившейся на атомной электростанции Фукусима-1, не преодоленной до настоящего времени. Количество жертв и пропавших без вести составляет более 23000 человек. На рисунке 1 показан эпицентр главного толчка японского землетрясения 11.03.2011г.

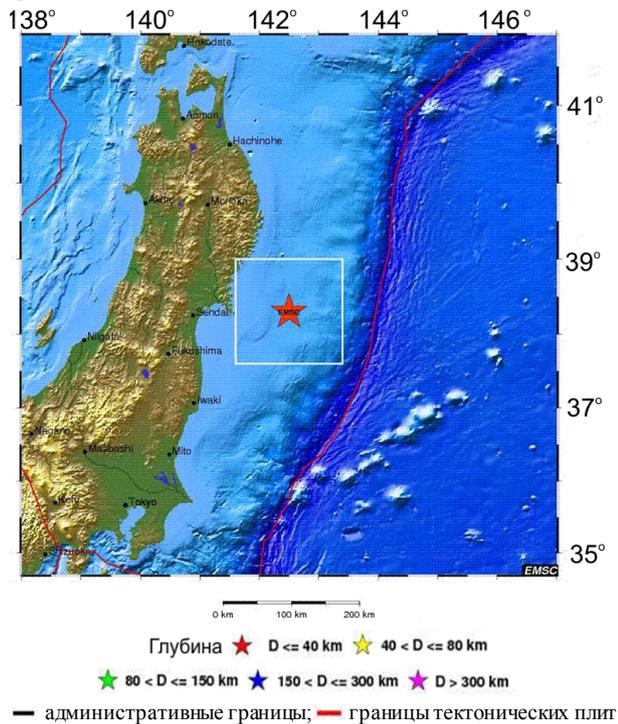


Рисунок 1. Карта расположения эпицентра японского землетрясения 11 марта 2011 года

Географически очаг находится в так называемой “зоне субдукции” (рисунок 2). Здесь проходит граница тектонических плит, находящихся в постоянном движении одна относительно другой. В зоне

японского желоба тихоокеанская плита подвигается под евразийскую плиту. Южнее японского желоба в западном направлении движется филиппинская плита. В историческом прошлом вблизи Японии известны и другие сильнейшие землетрясения, магнитуда которых достигала значений 8,4. Так, в 1933г. севернее изучаемого района произошло землетрясение Санрику с магнитудой $M_w=8,4$.

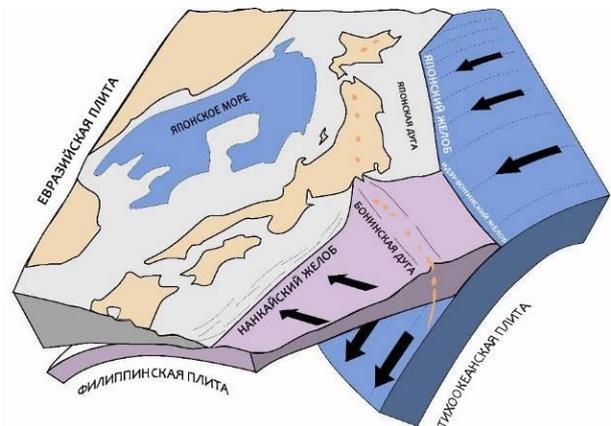
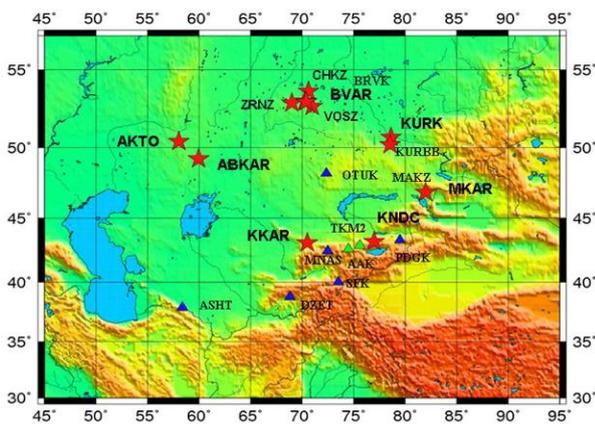


Рисунок 2. Тектоническая ситуация в районе землетрясения 11 марта 2011 года

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПИСЕЙ ГЛАВНОГО ЯПОНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ СТАНЦИЯМИ НЯЦ РК

В Центр данных ИГИ НЯЦ РК в режиме реального времени поступают данные станций, входящих в несколько международных сетей мониторинга [1]: MCM ОДВЗЯИ, AFTAC, CAREMON, IRIS, KNET (рисунок 3). 11 марта в 05:53 минут (GMT) в Центр данных в г.Алматы стали поступать сигналы от сильнейшего землетрясения. Практически все станции НЯЦ РК в полном объеме получили и передали данные по этому событию. На рисунке 4 показаны сейсмограммы станций сети НЯЦ РК с выделенным моментом первого вступления сигнала от японского землетрясения.

Волновая картина этого события очень сложна для интерпретации: наблюдалось большое число различных вступлений, не связанных с приходом волн, прошедших другими путями распространения. Вступления определялись сложным протяженным разрывом в очаге землетрясения.



Звездочка – станция сети НЯЦ РК, синий треугольник – станция CAREMON, зеленый треугольник – станция сети KNET

Рисунок 3. Расположение станций, данные которых поступают в Центр данных ИГИ НЯЦ РК в г. Алматы

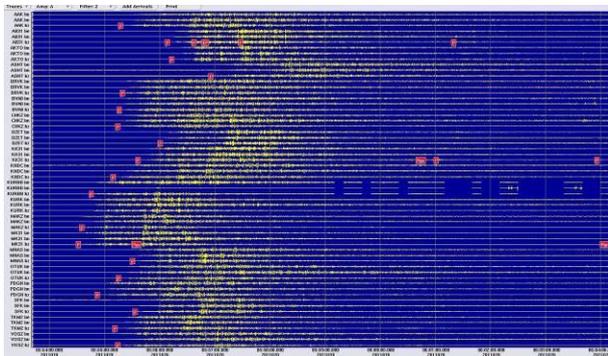


Рисунок 4. Запись главного толчка японского землетрясения 11 марта 2011 г. станции НЯЦ РК (фильтр 1,0 - 2,5Гц)

Процесс разрывообразования длился примерно три минуты и характеризовался несколькими эпизодами с разным количеством высвобождаемой энергии в каждом из них. Характерной особенностью записей является наличие очень длиннопериодной составляющей колебаний во всех типах сейсмических волн – P, S и L, периоды колебаний достигают нескольких минут. Это объясняется большой длиной разрыва и, соответственно, катастрофически большой магнитудой землетрясения. Данные по значениям магнитуды неоднократно уточнялись в международных центрах, и в окончательном решении значение моментной магнитуды M_w принято равным 9,0 [2, 3]. Значения азимута на эпицентр по записям казахстанских сейсмических групп были определены с применением F-K анализа [4] и сравнены с данными, полученными мировыми центрами. Было отмечено, что для этого района мира значения азимута, определенные на основе F-K анализа, отличается от истинного. Невязки азимута различны для разных станций, что связано с особенностями трасс распространения сейсмических волн. Например, по сейсмической группе Маканчи азимут на эпицентр главного толчка составил $85,5^\circ$, тогда как истинный азимут был равен $78,4^\circ$.

В таблице 1 приведены значения невязок азимутов для 20 событий изучаемого района - главному толчку и афтершокам.

Таблица 1. Значения расчетных и наблюдаемых азимутов по данным сейсмической группы Маканчи

N	Дата	Время (ч:мм)	Az расчет.	Az набл.	δAz , град.
1	11.03.2011	5:56	78,4	85,5	7,1
2	11.03.2011	18:09	79,5	87,8	8,3
3	11.03.2011	18:10	77,9	85,1	7,2
4	11.03.2011	18:11	79,9	83,8	3,9
5	11.03.2011	18:51	80,3	88,5	8,2
6	11.03.2011	18:53	78,8	82	3,2
7	11.03.2011	18:55	81,8	89,4	7,6
8	11.03.2011	23:59	81,1	81,5	0,4
9	12.03.2011	0:04	81,5	86,7	5,2
10	12.03.2011	0:04	80	86,7	6,7
11	12.03.2011	0:07	79,6	88,1	8,5
12	12.03.2011	0:09	76,5	82,5	6
13	12.03.2011	0:11	81,2	88	6,8
14	12.03.2011	0:16	79	84,3	5,3
15	12.03.2011	0:21	80,7	87,8	7,1
16	12.03.2011	0:25	79,4	84,5	5,1
17	12.03.2011	0:30	76,7	80,8	4,1
18	12.03.2011	0:32	80,3	92,1	11,8
19	12.03.2011	0:33	81,1	87,8	6,7
20	12.03.2011	1:22	81	87,1	6,1
				Медиана=	6,7

Медиана распределения невязок азимутов составила $6,7^\circ$. Аналогично невязки значений азимутов были рассчитаны и для других групп сети НЯЦ РК. Так для сейсмической группы Боровое $\delta Az = 1,2$, для Акбулака - $\delta Az = 7,6$, для Каратау - $\delta Az = 12,7$ градуса. Эти невязки должны учитываться в дальнейших работах по мониторингу для этой сейсмической группы, что будет способствовать повышению точности локализации источников событий.

ДИНАМИКА РАЗРЫВА В ОЧАГЕ

Гипоцентр землетрясения отражает лишь начальную точку разрыва в очаге, представляющем некоторую область, где произошли необратимые деформации, развился разрыв. Как правило, сильное землетрясение сопровождается афтершоками, отражающими процесс релаксации напряжений в очаге. Совместное пространственное положение главного толчка и афтершоков представляет собой трехмерный объем - очаговую область. Данные сейсмических групп были использованы для изучения динамики распространения разрыва в очаге землетрясения. Для этого использован программный пакет РМСС- прогрессивной многоканальной корреляции, разработанный в CEA\DAE (Франция) [5]. По записи колебаний в продольной волне во временной области скользящим временным окном проведена оценка значений азимута на источник для выявления закономерности его изменения во времени. Расчеты выполнены для сейсмической группы Маканчи, расположенной ближе всех из станций НЯЦ РК к эпицентру (4900 км) и, соответственно,

имеющей наибольший угловой створ на разрыв. На рисунке 5 показана рассчитанная азимутальная диаграмма. Цветом отображено разное время появления сигналов с данным азимутом на станции. За первые три минуты с начала записи диапазон изменения азимута составил 4°. В целом, это соответствует размеру очага, полученному позднее по распределению афтершоков и равному 400 – 500 км. На рисунке 6 показан график изменения азимута во времени (красные точки). Как следует из этого рисунка, сначала разрыв развивался на север, чему соответствует незначительное уменьшение значений азимута, затем, примерно через две минуты, начался процесс от гипоцентра в другую сторону – на юг, причем скорость вспарывания в этом направлении была значительно больше. Азимут увеличился от 82,6° до 87°. Этот ход изменения азимута подтверждает вывод о процессе в очаге, который не может быть однозначно охарактеризован как простой сдвиг или надвиг.

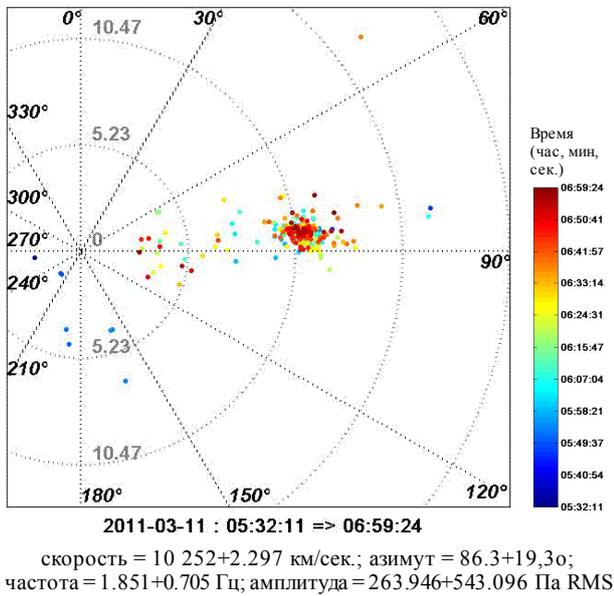


Рисунок 5. Азимутальная диаграмма по данным японского землетрясения

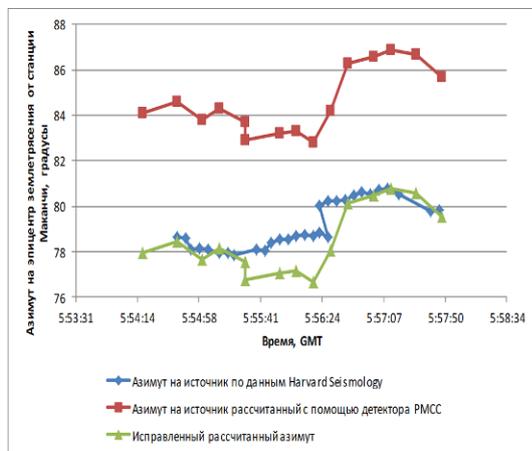


Рисунок 6. Временные изменения азимута в процессе распространения разрыва

После введения поправки в значения азимута - 7,1°, получена зависимость, показанная на рисунке 6 зеленым цветом. Проведено сопоставление хода изменения азимута, полученного по данным сейсмической группы Маканчи, с результатами расчетов, проведенными группой сейсмологов в Гарварде по данным мировой сети станций [6]. Как видно, данные Гарварда и описанные расчеты хорошо согласуются. Тем самым показана принципиальная возможность слежения за развитием разрыва с расстояния даже почти 5000 км при наличии чувствительной сейсмической группы и при условии приемлемого расположения относительно протяженного распространяющегося разрыва.

Таким образом, показано, что очаг японского землетрясения представлял собой протяженный в пространстве разрыв, распространявшийся в разных от гипоцентра направлениях. Общая длина очага составляет 400 – 500 км, общее время излучения в очаге примерно три минуты.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АФТЕРШОКОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Японское землетрясение Mw=9.0 примечательно не только наличием огромного количество афтершоков, но и тем, что среди них есть сильнейшие, сами по себе представляющие сейсмические катастрофы. Центр данных начал регистрировать и обрабатывать афтершоки сразу же после главного толчка. Ежедневно регистрируется до десятка событий из японского землетрясения. Как показал анализ, станции НЯЦ РК могут регистрировать события из этой области, начиная с магнитуды 4,0. Более слабые землетрясения станции не обнаруживают. За двадцать дней после главного толчка было зарегистрировано более 800 землетрясений с M более 4,0. Распределение афтершоков по магнитуде представлено на рисунке 7.

Все зарегистрированные афтершоки локализованы, составлен каталог основных параметров их, построена карта эпицентров афтершоков и форшоков (рисунок 8).

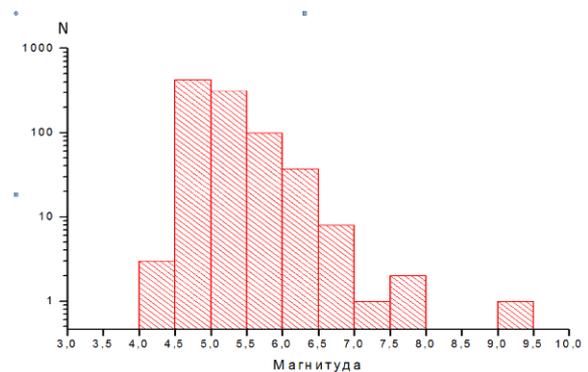
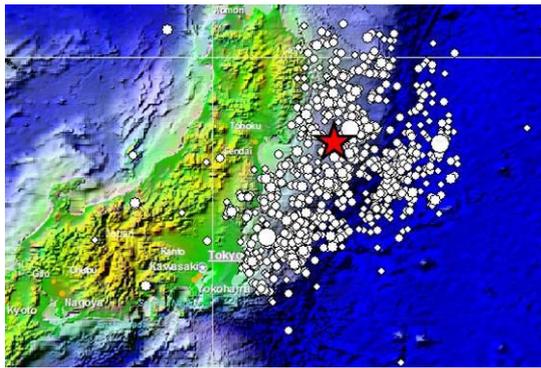


Рисунок 7. Гистограмма афтершоков японского землетрясения по магнитудам



Звездочка - эпицентр главного толчка

Рисунок 8. Эпицентры фошников и афтершоков японского землетрясения 11.03.2011г.

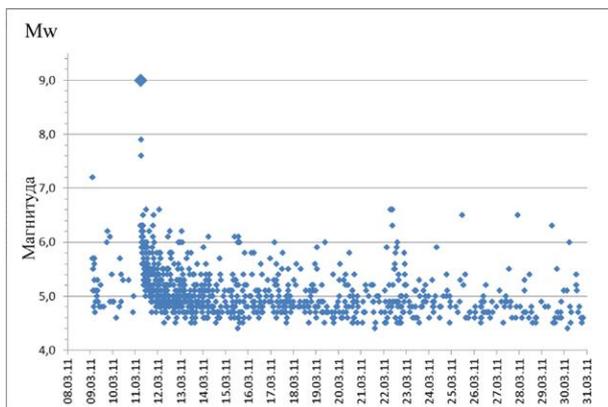


Рисунок 9. Временной ход афтершоковой деятельности в течение 9.03.2011г. – 31.03.2011г.

Поле афтершоков характеризуется линейными размерами $L=600$ км, $W=150$ км. Видно, что очаговая область по афтершокам распространяется как на север и северо-запад, так и на юго-запад от эпицентра главного толчка, что соответствует полученному

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова, Н.Н. Казахстанская система сейсмических наблюдений Института геофизических исследований Национального ядерного центра и ее информационные возможности / Н.Н. Михайлова // Обеспечение сейсмической безопасности города Алматы: Сборник научных трудов научно-технической конференции / Департамент по ЧС МЧС РК. - Алматы. - 2009. - 88 с.
2. Сейсмический каталог Европейского Средиземноморского сейсмологического Центра (EMSC) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.emsc-csem.org/>.
3. Сейсмический каталог Геологической службы США (USGS) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>.
4. Capon, J. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis / J Capon // Proc. IEEE, 1969. – 57. – P. 1408 - 1418.
5. Cansi, Y. An automatic seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. method / Y. Cansi // Geophysical research letters, 1995 -Vol. 22, No. 9. – P. 1021 - 1024.
6. Kizer, Eric. Preliminary Rupture Modelling of the March 11, 2011 Tohoku-Chiho Taiheiy-o-Oki Earthquake and Sequence of Events using the USArray Transportable Array. Harvard University, USA // [Электронный ресурс] Режим доступа : http://seismology.harvard.edu/research_japan.html.

результату по распространению разрыва. Построен график временного хода афтершоков за период с 09.03.2011г. по 31.03.2011г. (рисунок 9).

Интересно то, что за два дня до главного толчка - 09.03.2011 г., в этом же районе произошел сильный форшок с магнитудой 7,2. Это землетрясение ощущалось на значительной территории Японии, но не вызвало серьезных повреждений и разрушений. После землетрясения 09.03.2011 г. последовал рой афтершоков, сильнее из которых имели магнитуду 6,2. Затухание афтершоковой деятельности происходило нормально, трудно было предположить, что после этого может возникнуть еще более сильное землетрясение. Следует отметить, что форшок с $M=7,2$ произошел севернее будущего главного японского землетрясения. После главного толчка был отмечен первый сильный афтершок с магнитудой 7,2. Он расположен на юго-запад от главного толчка. Три события произошли на одной линии, а в пространстве – практически на одной плоскости, которая, по видимому, является главной плоскостью разрыва. По данным определения механизма очага эта плоскость выделена в качестве наиболее вероятной плоскости разрыва.

Таким образом, по полученным результатам можно отметить, что сеть станций НЯЦ РК успешно зарегистрировала всю последовательность землетрясений в районе острова Хонсю – форшоки, главный толчок с $Mw=9.0$ и сотни афтершоков. Наличие сейсмических групп представляет уникальную возможность не только локализовать гипоцентр толчка, но и проследить процесс разрываобразования, в который вовлечена громадная пространственная область, протяженностью около 600 км.

**ҚР ҰЯО СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖАЗБАЛАРЫ БОЙЫНША 2011 Ж.
03.11-ІНДЕГІ ЖАПОНИЯДАҒЫ ЖЕРСІЛКІНУ ЖӘНЕ ОНЫҢ АФТЕРШОКТАРЫ**

Сейнасинов Н.А., Михайлова Н.Н.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

ҚР ҰЯО станцияларымен тіркелген, Хонсю аралы жанындағы ауданнан Жапониядағы $M_w=9,0$ жерсілкінудің және оның 800 астам афтершоктардың сейсмограммаларын өңдеу нәтижелері келтірілген. Қатты жерсілкінудің ошағында жарылымның сипаттамалары зерделенген, афтершоктардың эпиорталықтар карталары жасалған және афтершоктық іс-қоймылы өшуінің уақыттық барысы анықталған.

JAPANESE EARTHQUAKE 11.03.2011 AND ITS AFTERSHOCKS AS RECORDED BY NNC RK STATIONS

N.A. Seynasinov, N.N. Mikhailova

Institute of Geophysical Researches NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The results of processed seismograms of Japanese earthquake with $M_w=9$ and more than 800 of its aftershocks near Honshu island recorded by station network NNC RK have been provided. Rupture features in the focus of this strong event has been studied. The map of aftershock epicenters was build and time dependence to aftershocks attenuations was determined.

УДК 550.34

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ СТАНЦИИ ОРТАУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

Соколов А.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты изучения динамических характеристик сейсмического шума для новой сейсмической станции Ортау в Центральном Казахстане. Показано, что после размещения станции в приборном бункере, спектральная плотность сейсмического шума значительно уменьшилась, сократился диапазон вариаций в дневное и ночное время. После заглубления станции в три раза увеличилось количество сейсмических событий, обработанных в Центре данных с участием станции Ортау, значительно уменьшился представительный энергетический класс К и увеличилась дальность регистрации событий.

На территории Центрального Казахстана до 2010 г. отсутствовали систематические инструментальные сейсмологические наблюдения. В соответствии с Меморандумом о взаимопонимании между Институтом геофизических исследований ИГИ НЯЦ РК и Центром исследований Земли (GFZ) ФРГ, а также согласно Плану сотрудничества CASCADE (Central Asian Cross-border Natural Disaster prevention) в 2009 – 2010 гг. в рамках проекта CAREMON на территории Казахстана установлены две новые сейсмические станции: Ортау (OTUK) и Подгорное (PDGN) [1]. В статье приведены результаты изучения динамических параметров сейсмического шума по новой станции Ортау.

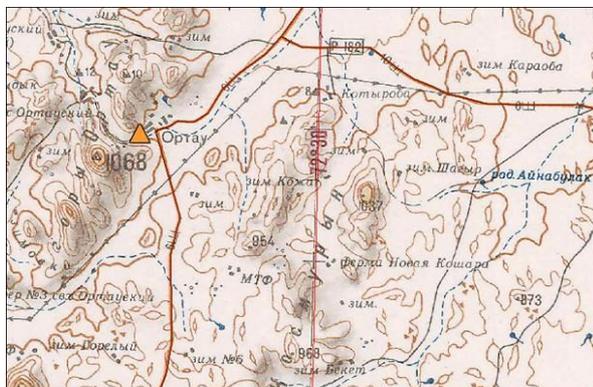
1. ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ СТАНЦИИ ОРТАУ

Трехкомпонентная сейсмическая станция Ортау установлена в Карагандинской области, Шестском районе, на окраине села Ортау. Координаты сейсмической станции: 48° 14' 39.6" с. ш.; 72° 20' 15.2" в. д., высота над уровнем моря 750 м. (рисунок 1 а). Станция расположена в пределах гранитного массива Ортау размерами 33×12 км, вытянутого в северо-восточном направлении. Предварительно были проведены геологическое полевое изучение и оценка уровня сейсмического шума. Местом для размещения станции стал пологий выступ коренных выходов плотных калиево-полевошпатовых гранитов (рисунок

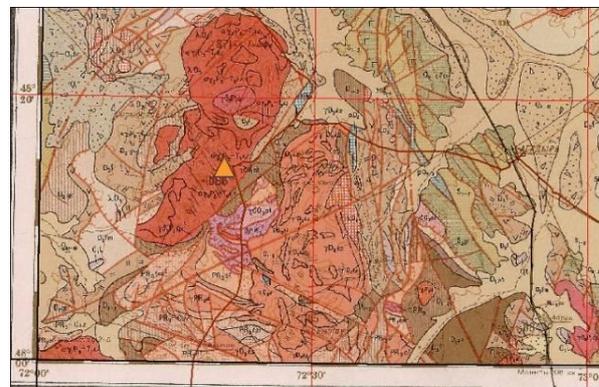
1б), плавно уходящих под отдельно стоящее домовое строение. Глубина гранитов в этом месте 1.5 – 2 м. Источники антропогенных шумовых помех (дробилки, мельницы, вентиляторы и др.) поблизости отсутствуют. К строению подходят линия электропередач на 220 вольт и телефонная линия. Рядом начинается пологое ущелье с вытекающим ручьем и двумя водоёмами (50 м от станции) подпруженными плотинами. Примерные размеры водоёмов 100×50 м, глубина 0.5 – 2 м. На расстоянии 20 м проходит проселочная дорога. Наибольший водоём - озеро Балхаш, удален от станции на 240 км.

Ближайшее расстояние до железной дороги составляет 34 км, до наиболее близкого карьера Шойынтас 58 км. Другие активные карьеры: Жуманай – в 80.5 км, Кентобе – в 87.5 км, Бестобе – в 88.5 км, Бақы – в 115 км, шахты Западный Каражал – в 117 км, Акжал – в 137.7 км, Ушкатын – в 151 км и Жайрем – в 155 км.

Станция Ортау расположена в слабосейсмичном районе. На рисунке 2а представлены эпицентры тектонических землетрясений в радиусе 300 км, начиная с исторических времен до настоящего времени. Самым сильным инструментально зарегистрированным землетрясением в Центральном Казахстане было Шалгинское землетрясение 22.08.2001 $t_0=15-57-57.7$ $\varphi=47.20$, $\lambda=70.20$, $m_b=5.0$ [2], рисунок 2б.



а – топографическая карта



б – геологическая карта

Треугольник – станция

Рисунок 1. Местоположение новой сейсмостанции Ортау

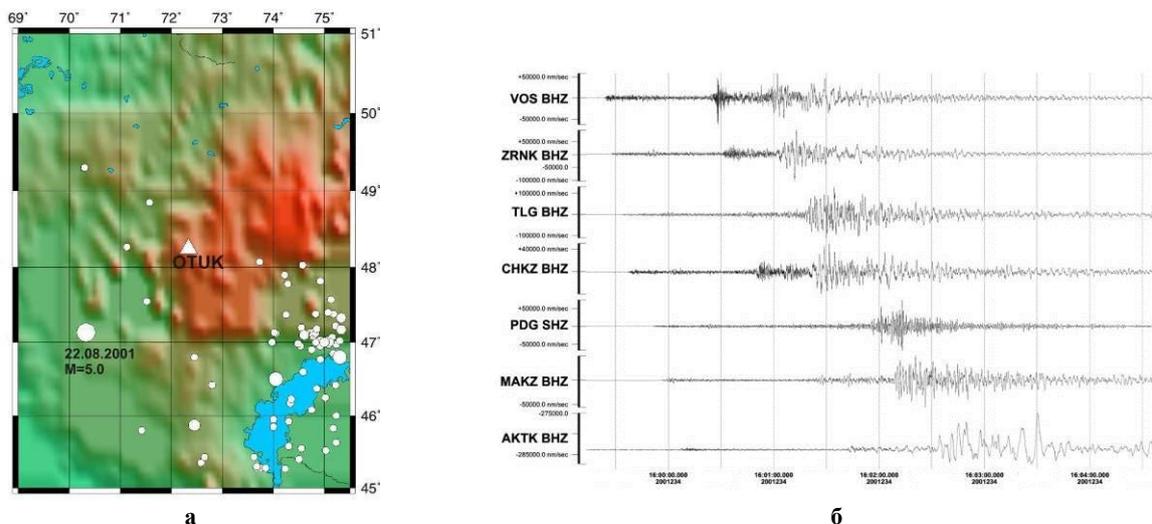


Рисунок 2. Сейсмичность в районе станции Ортау: а – эпицентры землетрясений в радиусе 300 км; б – сейсмограммы наиболее сильно о Шалгинского землетрясения 22.08.01 $\theta=15-57-57.7$ $\varphi=47.20$, $\lambda=70.20$, $m_b=5.0$, по данным сейсмической сети НЯЦ РК

2. ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Сейсмическая станция Ортау начала работу 12 февраля 2010 г., она оборудована широкополосным трехкомпонентным сейсмометром CMG-3ESPC и акселерометром CMG-5T (Guralp, Англия), которые совместно с аппаратурой оцифровки, обработки и накопления GuralpCMG-DM246S и GuralpCMG-EAMPC позволяют передавать в ЦСОССИ, г. Алматы качественную информацию с разрешением 24 бита и частотой оцифровки 100 отсч/сек в режиме реального времени по спутниковым каналам. Сейсмометр CMG-3ESPC имеет полосу пропускания в частотном диапазоне от 0.003 Гц до 50 Гц [1]. В феврале 2010 г. сейсмометр был установлен во временном варианте на поверхности, ввиду чего уровень сейсмического шума был достаточно большим. 13 - 19 августа 2010 г. сейсмическое оборудование станции OTUK переустановлено в специально построенном приборном бункере. Постамент выполнен по специальной технологии: в коренной породе высверлены четыре отверстия, в которых закреплены 4 отрезка арматуры. Выходы коренных пород промыты и залиты бетоном, тем самым обеспечена монолитность постамента с выходом коренных пород.

Спектральная плотность сейсмического шума вычислялась программой Power (Ламонт-Дохертская обсерватория Колумбийского университета США). Расчет проведен для трех компонент, регистрируемых сейсмической станцией Ортау. Использовались записи в формате SEED, которые конвертировались в формат CSS3.0, просматривались и ассоциировались с глобальными и региональными каталогами NEIC (National Event Information Center каталог Геологической службы США, USGS) и REB (Reviewed Event Bulletin - каталог Международного центра данных ОДВЗЯИ), а также с региональным

сейсмическим бюллетенем ЦСОССИ. Из записей выбирались 10 минутные фрагменты, не содержащие сигналы землетрясений или взрывов, в дневное время в период 7 - 8 ч GMT и ночное время в период 17-18 ч GMT [3]. Для обеспечения статистической представительности данных выбраны по 20 фрагментов записей. По каждому фрагменту рассчитана спектральная плотность сейсмического шума, медиана спектральной плотности для каждой компоненты отдельно. На рисунке 3а показан пример спектральной плотности сейсмического шума (Z – компонента) для периода времени, когда сейсмометр был установлен на поверхности. Для этой и других компонент наблюдается резкое различие дневного и ночного шума (до 25 Дб) в широком диапазоне периодов 0.02 - 1 с (рисунок 3а). В ночное время для всех трех компонент наблюдается сравнительно низкий уровень спектральной плотности сейсмического шума, близкий к нижеуровневой модели Петерсона [4]. На рисунке 3б показана спектральная плотность сейсмического шума (Z-компонента) для периода времени, когда сейсмометр был установлен в приборный бункер. Для всех компонент наблюдается снижение различия дневного и ночного шума - до 3 Дб в диапазоне периодов 0.1 - 1 с, и более существенное различие - до 10 Дб для диапазона периодов 0.02 - 0.1 с.

Минимальное значение разницы спектральной плотности для дневного и ночного периода времени наблюдается для компоненты Z. Следует отметить, что после помещения станции в приборный бункер на графиках спектральной плотности в районе 4 - 8 Гц появилась особенность, выпуклость, превышающая основной ход графика на 6 Дб. Аналогичный пик наблюдается для всех станций сети мониторинга НЯЦ РК, установленных в скважинах на глубине [3].

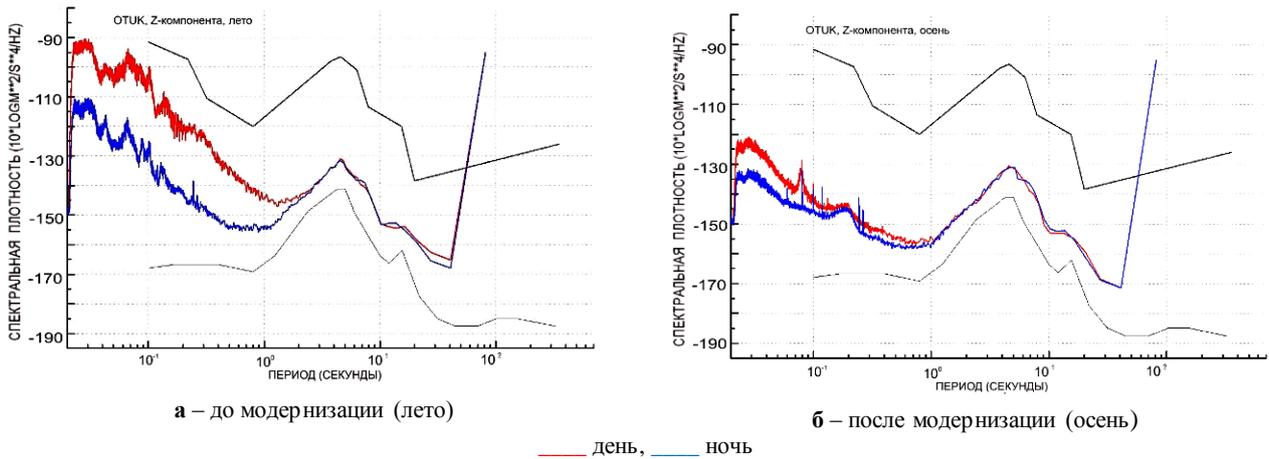
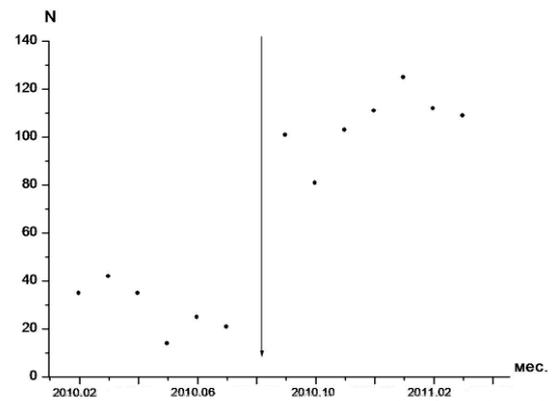


Рисунок 3. Спектральная плотность сейсмического шума сейсмической станции Ортау, Z-компонента

Таким образом, после размещения станции в приборном сооружении станция стала более чувствительной. Значения спектральной плотности сейсмического шума как в ночное, так и в дневное время суток близко к нижеуровневой модели Петерсона, что делает станцию более пригодной для сейсмического мониторинга событий как на региональных, так и на телесеismicких расстояниях. Данные станции Ортау используются аналитиками ЦСОССИ для составлений бюллетеней сейсмических событий разного уровня оперативности. На рисунке 4 показано количество событий, в обработке которых использовались данные станции Ортау.

Видно, что после размещения станции в приборном бункере количество событий, в обработке которых участвовала станция Ортау увеличилось в среднем в 3 раза. На рисунке 5 показано распределение эпицентров событий для обработки которых использовались данные станции Ортау до модернизации и после модернизации за 7 месяцев.



Стрелка - дата размещения станции в приборном сооружении

Рисунок 4. Количество событий в месяц, в обработке которых использованы данные станции Ортау

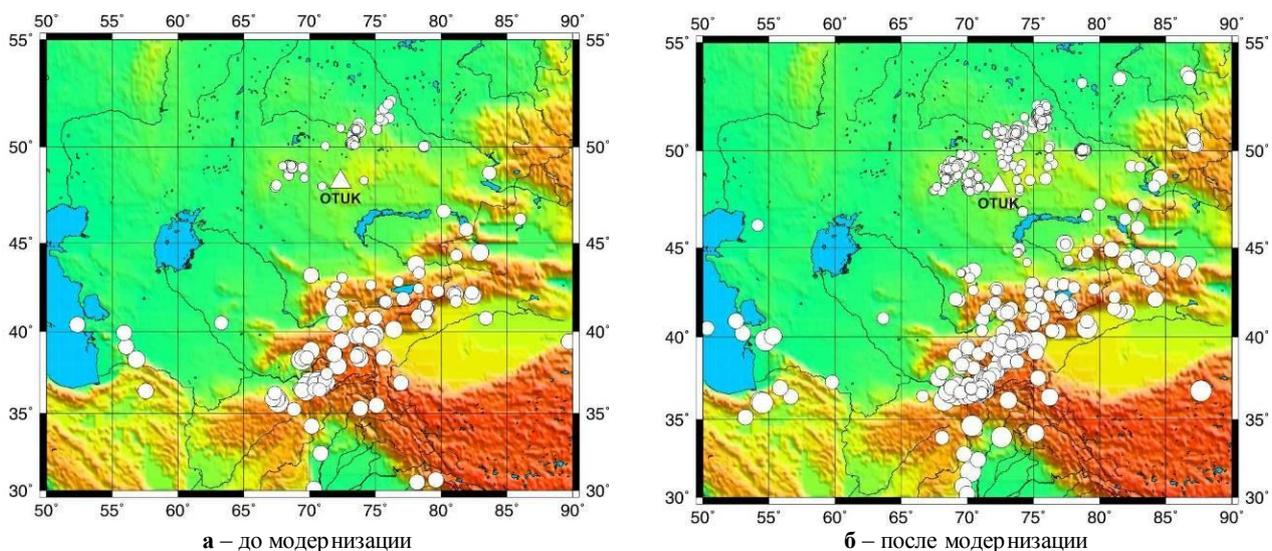
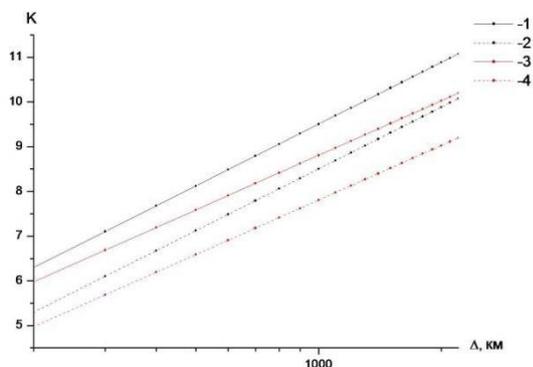


Рисунок 5. События, зарегистрированные станцией Ортау, за 7 месяцев

После модернизации значительно увеличилось количество событий в широком диапазоне энергетических классов, на расстояниях от 100 до 600 км от станции (район Центрального и Южного Казахстана). На рисунке 6 представлена зависимость от расстояния предельного и представительного энергетического класса K , начиная с которого события регистрируются в полном объеме и без пропусков [5, 6] до и после модернизации станции.



1 – до модернизации $K_{\text{предел.}}$; 2 – до модернизации $K_{\text{предел.}}$; 3 – после модернизации $K_{\text{предел.}}$; 4 – после модернизации $K_{\text{предел.}}$.

Рисунок 6. Дальность регистрации событий разной энергии

После модернизации станции значительно уменьшился представительный энергетический класс событий (на 1 для 2200 км), увеличилась дальность регистрации. Таким образом, введение в эксплуатацию новой станции позволило значительно улучшить параметры локализации событий и понизить значение представительного энергетического класса для этого района.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стролло, А. Новые казахстанские станции, установленные в рамках проекта CAREMON / А. Стролло, Д. Бинди, А. Е. Великанов, В. Г. Кунаков, И. И. Комаров, Н. Н. Михайлова, З. И. Синева // Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: тезисы докладов. VI Междунар. конф., Курчатов, 09-13 авг. 2010. - НЯЦ РК, 2010. – С. 21-22.
2. Михайлова, Н. Н. Сильные и ощутимые землетрясения. Шалгинское землетрясение 22 августа 2001 года с $M_w = 5.2$, $I_0 = 6$ (Центральный Казахстан) / Н. Н. Михайлова, Н. Н. Неделков, И. Н. Соколова, Е. Н. Казаков, А. В. Беляшов, Н. Н. Полешко // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 317-330.
3. Михайлова, Н. Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахстанских станций мониторинга / Н. Н. Михайлова, И. И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, 2006. – Вып. 2. – С. 19 - 26.
4. Jon Peterson, Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993 year, 42 pp.
5. Михайлова, Н. Н. Калибровочная функция для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня / Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне / Н. Н. Михайлова, Н. П. Неверова // Алма-Ата: Наука, 1983. – С. 41-47.
6. Раутиан, Т. Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях 3000 км / Т. Г. Раутиан // Труды ИФЗ АН СССР, 1964. – №32 (199) – С. 72-98.

ВЫВОДЫ

Отсутствовавшие систематические сейсмологические наблюдения на территории Центрального Казахстана восполнены открытой в 2010 г. новой сейсмической станцией Ортау.

Оценка параметров сейсмического шума по станции Ортау свидетельствует о хороших возможностях этой станции для мониторинга сейсмических событий различной природы как на региональных, так и на телесеизмических расстояниях. После установки станции в приборном сооружении, спектральная плотность сейсмического шума значительно уменьшилась, сократился диапазон вариаций для дневного и ночного времени. Количество обработанных событий с участием станции увеличилось в три раза. Кроме того, значительно уменьшился представительный энергетический класс K и увеличилась дальность регистрации. Введение в эксплуатацию новой сейсмической станции Ортау позволило повысить точность локализации событий в сейсмическом бюллетене, более уверенно проводить распознавание сейсмических событий различной природы.

По сравнению с бурением глубоких скважин для установки сейсмометров, созданием штолен и шахт строительства приборного бункера гораздо дешевле и легко реализуем. При этом обеспечивает значительное уменьшение уровня спектральной плотности сейсмического шума и увеличение чувствительности станций. Поэтому этот метод может быть рекомендован для других станций сети мониторинга, установленных на поверхности.

**ОРТАУ СТАНЦИЯСЫНЫҢ (ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАН)
СЕЙСМИКАЛЫҚ ШУЛАРЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІ**

Соколов А.Н.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Оталық Қазақстандағы Ортау жаңа сейсмикалық станциясы үшін сейсмикалық шулардың динамикалық сипаттамаларын зерделеу нәтижелері берілген. Станцияны аспаптық бункерге түсірген соң сейсмикалық шудың спектрлік тығыздығы едәуір төмендегені, ал күндізгі және түнгі уақыттарда вариациялар ауқымы қысқарғандығы көрсетілген. Станцияны тереңдікке орнатқаннан кейін, Ортау станциясының қатысуымен Деректер орталығында өңделген сейсмикалық оқиғалардың саны үш есе көбейді, К энергетикалық сыныбы едәуір азайды және оқиғаларды тіркеу қашықтығы артты.

DYNAMIC PARAMETERS OF SEISMIC NOISE AT ORTAU STATION (CENTRAL KAZAKHSTAN)

A.N. Sokolov

Institute of Geophysical Researches NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Dynamic characteristics of seismic noise for the new station Ortau in Central Kazakhstan have been studied. It has been demonstrated, that after the station had been put into the vault, spectral density of seismic noise significantly reduced as well as variations range for daytime and nighttime. Total volume of the data processed with involvement of the station and after its upgrade has tripled. K-class energy decreased and recording range increased.

УДК 550.34:550.378:621.039.9

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ НЕДР В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Беляшов А.В., Шелехова О.Х.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Рассмотрены результаты использования сейсмического комплекса, состоящего из метода обменных волн землетрясений и резонансной сейсмометрии, для изучения мест проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП). Дополнена информационная база по феноменологии ПЯВ и сделан вывод об эффективности рассмотренного сейсмического комплекса для решения геоэкологических и инспекционных задач.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с непрерывно возрастающей хозяйственной деятельностью на территории СИП актуально изучение геоэкологической обстановки не только поверхности, но, что более важно, в недрах полигона [1]. Также актуальны работы по изучению феноменологии ПЯВ в рамках выполнения обязательств по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Применен комплекс геолого-геофизических исследований, включивший пассивные сейсмические технологии - метод обменных волн землетрясений (МОВЗ) и резонансную сейсмометрию (РС), входящую в список официальных инспекционных технологий, принятых ДВЗЯИ (Протокол к ДВЗЯИ, часть II, пар. 69) [2].

Основная цель проведенных исследований состояла в получении информации о современном геологическом строении участков горных пород, нарушенных взрывом. При этом решались следующие задачи:

- построение и анализ объемных моделей поверхности первого обмена по данным МОВЗ в районе боевых скважин и в «чистом», ненарушенном взрывом месте;

- изучение спектральных характеристик сейсмических сигналов на участках поствзрывной дезинтеграции горных пород и на «чистом месте»;
- дополнительное изучение феноменологии ПЯВ для задач Инспекции на месте (ИНМ);
- подтверждение эффективности применения пассивных сейсмических технологий МОВЗ и РС для изучения последствий от ПЯВ.

ОПИСАНИЕ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На рисунке 1 показано местонахождение трёх участков, исследованных сейсмическим комплексом: скважина № 1236 и «чистое место» на участке Балапан (рисунок 1а), скважина № 105 на участке Сары-Узень (рисунок 1б).

Скважина 1236. Подземный ядерный взрыв (ПЯВ) был произведён в 1981 г. Глубина заложения заряда – 525 м, масса заряда – 110 кТ. Горные породы в районе скважины представлены песчаниками и сланцами.

Скважина 105. ПЯВ произведен в 1969 г. на глубине 229 м. Масса заряда - 10 кТ. Горные породы в месте проведения взрыва – песчаники.

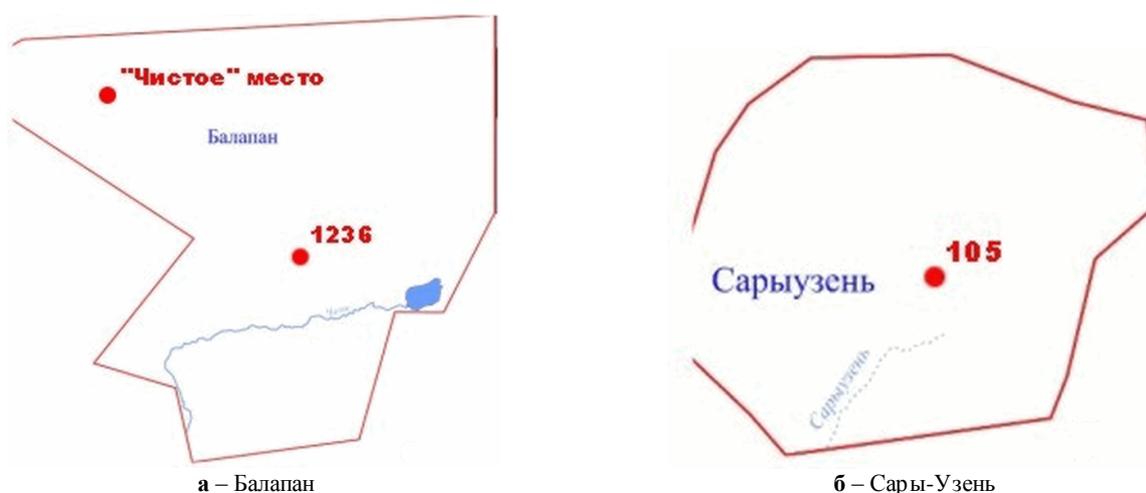


Рисунок 1. Схема расположения скважин

Участок «чистое место» сложен осадочно-эффузивными породами - глинами, песчаниками, алевролитами, конгломератами. Выбран с учётом следующих требований: удалённость от мест проведения ПЯВ как минимум на 4 км, во избежание влияния других взрывов на геологическую ситуацию; относительно стандартные геологические условия проведения ПЯВ на СИП.

При проведении полевых работ проведена непрерывная автономная запись сейсмических сигналов с использованием мобильного цифрового комплекса на базе станций DAS PMD-6102 и DAS PMD-6501 (США). Использованы трёхкомпонентные сейсмометры СК-1П и Guralp CMG-40T. Применена радиально-лучевая система наблюдений, дополненная одиночными внутренними пунктами. Шаг наблюдений 50 м. Один из пунктов наблюдения устанавливался непосредственно на устье скважины. Общее количество пунктов наблюдения до 60, максимальное количество каналов одновременной регистрации – до 210. Полная продолжительность регистрации событий по всем трём участкам - 30 суток (10 суток на каждом из участков). Объём полученной цифровой информации - 679 Гб (231.3 Гб – скв. 1236, 239 Гб – скв. 105 и 208.7 Гб – «чистое» место).

**РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОВЗ**

Скважина 1236 (участок Балапан)

На рисунке 2а приведена объёмная модель поверхности первого обмена для района скважины 1236, построенная в результате обработки полевых данных МОВЗ. Кроме точек поверхности обмена на модель вынесены проекции устья скважины и пунктов наблюдения.

Согласно полученной модели, воздействие ПЯВ на вмещающие горные породы в районе скважины 1236 характеризуется следующими признаками:

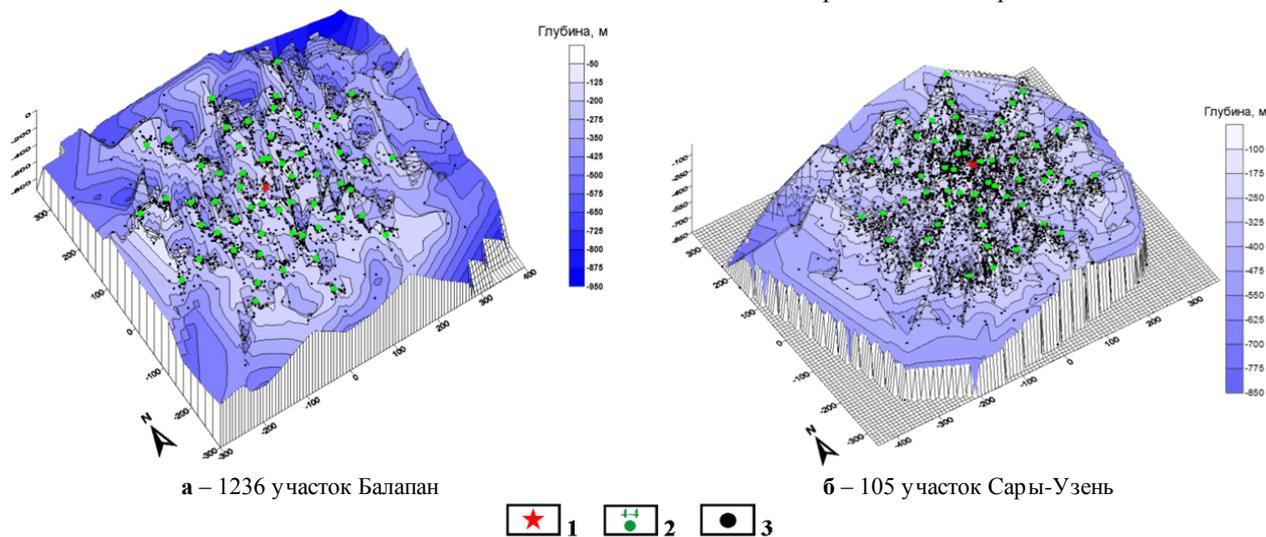
- Над очагом подземного взрыва образована общая куполообразная поверхность откола, залегающая в интервале глубин от (-50) м (в центральной части) до (-350) м (в окраинных частях). Данная поверхность имеет горизонтальные размеры ~500×500 м². Результат подтверждает полученное ранее представление об образовании куполообразной поверхности откола над гипоцентром одиночного подземного взрыва, являющейся границей уверенного обмена сейсмических волн [3, 4, 7, 8].

- Проявлено блоковое сложное строение структуры (~600×700 м²), отличающееся отсутствием надёжной непрерывной поверхности первого обмена и большим количеством различных вертикальных и горизонтальных границ нарушения сплошности среды и отдельных площадок обмена. Выявлены резкие перепады глубин залегания поверхности первого обмена, свидетельствующие о существенной разрушенности горных пород на данном участке. Выявленные признаки характерны для мест проведения ПЯВ [3 - 8].

Скважина 105 (участок Сары-Узень)

На рисунке 2б представлена объёмная модель поверхности первого обмена, рассчитанная для района скважины 105. На представленной модели отмечаются аналогичные характерные особенности:

- Куполообразная поверхность откола над гипоцентром взрыва с глубиной залегания кровли на уровне первых десятков метров и подошвы на уровне (-300) м. Размер куполообразной зоны откола ~400×400 м².
- Сложное блоковое строение участка, аналогичное строению зоны в районе скважины 1236.

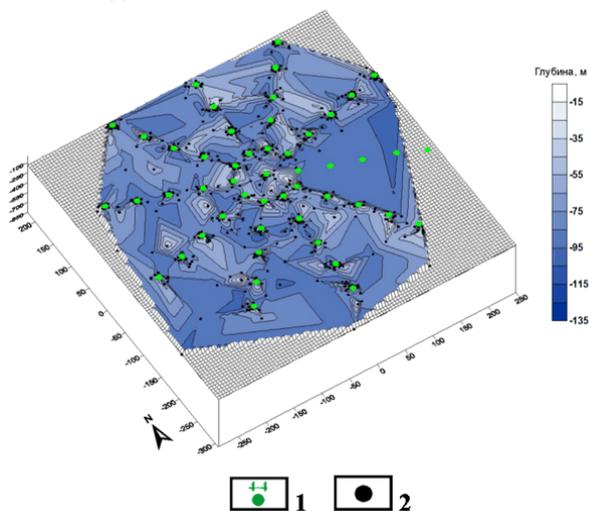


1 – проекция устья скважины на поверхность первого обмена, 2 – проекция пункта наблюдения, 3 – точка обмена

Рисунок 2. Модель поверхности первого обмена по данным МОВЗ в районе скважин

«Чистое» место

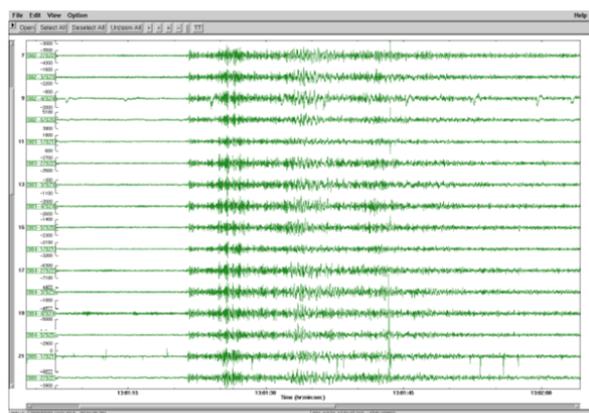
На рисунке 3 приведена модель поверхности первого обмена блока горных пород, не подвергшихся воздействию ПЯВ.



1 – проекции пунктов наблюдения, 2 – точки обмена

Рисунок 3. Модель поверхности первого обмена, полученная по данным МОВЗ на участке «чистое» место

Построенная модель отличается относительно спокойным характером залегания поверхности первого обмена. Глубина ее залегания изменяется в интервале от (-35) до (-45) м и, скорее всего, связана с границей раздела низкоскоростной верхней части разреза и кровли фундамента. Отсутствует куполообразная структура, отсутствуют многочисленные субвертикальные границы раздела с хаотичным распределением точек обмена. Отсутствие на данной



а – общий вид

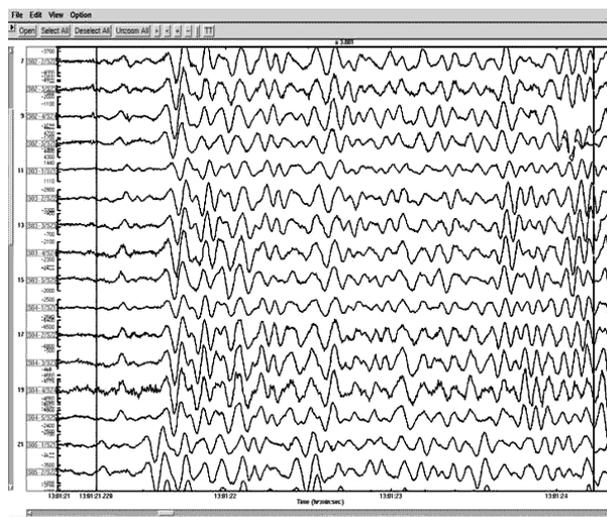
модели характерных признаков ПЯВ, выявленных в ходе наблюдений в районе боевых скважин, свидетельствует о достоверности информации, получаемой с помощью МОВЗ в местах проведения ПЯВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РС

Проведен сравнительный анализа частотных спектров сейсмических сигналов, зарегистрированных в районе боевых скважин, и событий в «чистом» месте. В ходе пересечения зоны дезинтеграции горных пород сейсмический сигнал теряет высокочастотную составляющую и диапазон активного спектра смещается в низкочастотную область [4]. Сейсмический сигнал, прошедший через относительно монолитную, ненарушенную взрывом среду, должен иметь в спектральном составе высокочастотные составляющие.

Для анализа отобраны сигналы относительно удалённого землетрясения с углами выхода луча к дневной поверхности, близкими к нормали. Проанализирована спектральная плотность первых 3-х секунд записей вертикальных каналов, как наиболее информативных для верхней части разреза. На рисунке 4а приведён пример записи сейсмического события и фрагмент записи, использованный для спектральной обработки (рисунок 4б).

На рисунке 5 представлен пример частотных характеристик сейсмических сигналов, зарегистрированных в районе эпицентров ПЯВ скважин 1236, 105 и участка «чистое» место. На положительных экстремумах спектральных кривых проставлены значения частот в Гц.



б – фрагмент, длительностью 3 сек, использованный для обработки

Рисунок 4. Пример записи сейсмического события, использованного для спектрального анализа

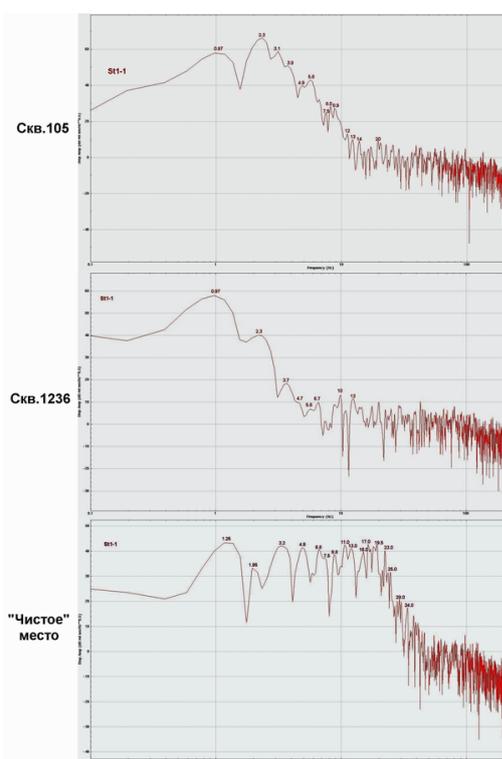


Рисунок 5 Сравнение частотных характеристик сигналов, зарегистрированных в местах проведения ПЯВ

Как видно из рисунка 5, спектральный состав сейсмических сигналов, зарегистрированных в местах проведения ПЯВ, отличается от состава сигнала, зарегистрированного на участке «чистое» место. В районе «боевых» скважин спектральный состав сейсмического сигнала характеризуется смещением спектра в низкочастотную область (0.7 – 2 Гц), что вызвано потерей высокочастотных составляющих при прохождении волны через зону поствзрывного дробления горных пород. В районе участка «чистое» место наблюдается увеличение частотного диапазона сигнала в сторону высоких частот до значений 23

- 25 Гц. В данном случае наличие в спектральном составе сигнала более высокочастотных составляющих свидетельствует об отсутствии под точками наблюдения рассеивающих объектов – области поствзрывной дезинтеграции. Это соответствует результатам сейсмических наблюдений с использованием РС, приведенным в [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе сейсмических исследований получены следующие результаты:

- Построением объёмных моделей поверхности первого обмена для ранее неизученных мест проведения ПЯВ на СИП расширена база фактических данных. С помощью МОВЗ выявлены характерные особенности проявления последствий от ПЯВ в виде образования куполообразной зоны откола и блоковой геологической структуры, типичной для других «боевых» скважин.

- Применение резонансной сейсмометрии в комплексе с МОВЗ позволило с повышенной надёжностью идентифицировать области горных пород, подвергшихся деструктивному воздействию ПЯВ.

- Для сравнения проведены работы в «чистом», не нарушенном взрывом месте, что позволило наглядно проявить особенности результатов сейсмических наблюдений для участков ПЯВ.

Полученные новые данные о характерных особенностях проявления последствий от ПЯВ в сейсмических полях важны для пополнения информационной базы для изучения феноменологии ПЯВ в рамках решения задач Инспекции на месте. Результаты позволяют сделать вывод об эффективности сейсмического комплекса для изучения строения геологической среды в местах проведения ПЯВ с целью решения геоэкологических задач и позволяют рекомендовать его для дальнейшего применения в комплексных исследованиях, выполняемых на ядерных полигонах Казахстана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Создание методических основ геолого-геофизических исследований техногенно-измененных геологических сред в местах проведения подземных ядерных взрывов (промежуточный отчет по НТП 04.03.Н за 2009 год) / Архив КазЦНТИ (рег. № 0109РК00474), рук. В.Н. Шайторов, 2010. – 114 с.
2. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний - Подготовительная комиссия ОДВЗЯИ, Вена, 1996 - 139 с.
3. Шелехова, О.Х. Изучение последствий одиночных ПЯВ в скважинах участка Балапан (СИП) сейсмическим методом обменных волн землетрясений / О.Х. Шелехова // Вестник НЯЦ РК, 2008. – Вып. 3 – С. 59-65.
4. Отчёт по теме: Проведение комплексного геофизического мониторинга территории Казахстана с целью снижения ущерба от стихийных бедствий и антропогенной деятельности / А.Г. Ванчугов [и др.] – Отчет, Курчатова, НЯЦ РК, 1994. – 57 с.
5. Померанцева, И.В. Обработка материалов сейсмических исследований методами обменных волн / И.В. Померанцева, А.И. Мозженко // Новосибирск: «Наука», 1977. – 212 с.
6. Пузырев, Н.Н. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн / Н.Н. Пузырев [и др.] – М.: «Недра», 1985. - 277 с.
7. Беляшов, А.В. Использование геофизических и геохимических методов при проведении Полевого Эксперимента 2002 в рамках Инспекции на Месте / А.В. Беляшов [и др.] // Вестник НЯЦ РК, 2004. – Вып. 2. – С. 96-113.
8. Беляшов, А.В. Моделирование мест проведения подземных ядерных взрывов по данным комплекса сейсмических методов / А.В. Беляшов // Вестник НЯЦ РК, 2005. – Вып. 4. – С. 76-83.

**СЕЙСМИКАЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ КӨМЕГІМЕН СЕМЕЙ
СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР
ЖҮРГІЗІЛГЕН ЖЕРЛЕРДЕГІ ЖЕР ҚОЙНАУЫНЫҢ ҚАЗІРГІ КҮЙІН ЗЕРДЕЛЕУ**

Беяшов А.В., Шелехова О.Х.

ҚР ҰАО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Семей сынақ полигонындағы (ССП) жерасты ядролық жарылыстар (ЖЯЖ) жүргізілген жерлерді зерделеу үшін жер сілкіністерінің ауыспалы толқын әдістері мен резонанстық сейсмометриядан тұратын сейсмологиялық кешенді қолдану нәтижелері қаралды. ЖЯЖ феноменологиясы бойынша ақпараттық база толықтырылды және аталмыш сейсмикалық кешеннің геоэкологиялық және инспекциялық міндеттерді шешудегі тиімділігі туралы қорытынды жасалды.

**STUDIES OF EXISTING SUBSURFACE CONDITIONS
WITHIN SEMIPALATINSK TEST SITE USING SEISMIC TECHNIQUES**

A.V. Belyashov, O.Kh. Shelekhova

Institute of Geophysical Researches NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The results of applied seismic complex consisting of earthquake converted-wave method and resonance seismometry to study UNE spots within Semipalatinsk Test Site (STS) has been considered. The database on UNEs phenomenology has been updated and conclusion has been made on the effectiveness of this seismic complex to solve geoecological challenges and inspection tasks.

УДК 621.57

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Касымов А.Б., Ермоленко М.В.

Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, Семей, Казахстан

Приведены полученные графоаналитические зависимости показателей экономичности теплового насоса от температур кипения и конденсации. Определены диапазоны температур, в которых применение теплонасосных установок наиболее эффективно. Приведены результаты анализа факторов, влияющих на энергоэффективность работы изучаемых установок.

В концепции по энергосбережению Восточно-Казахстанской области на 2007 - 2015 гг. четко обозначена необходимость перехода к эффективным энергосберегающим системам в жилищно-коммунальном хозяйстве, в частности, с применением тепловых насосных установок [1]. Обеспечение теплоснабжения жилых и производственных помещений на основе энергетических технологий с использованием тепловых насосов является одним из наиболее динамично развивающихся направлений мировой возобновляемой энергетики. С учетом актуальности тематики проведено исследование ряда вопросов, связанных с изучением энергоэффективности тепловых насосов. В частности, проведен расчет показателей экономичности теплового насоса от температур кипения $t_0, ^\circ\text{C}$ и конденсации $t_k, ^\circ\text{C}$. Задачами данного расчета были определение тепловых нагрузок на испаритель Q_0 , кВт, на конденсатор $Q_{кд}$, кВт, определение количества электрической энергии, потребляемой тепловым насосом $N_э$, кВт, а также выявление зависимости коэффициента трансформации от $t_0, ^\circ\text{C}$ и $t_k, ^\circ\text{C}$. Вычисления проведены для теплонасосной установки, разработанной на базе поршневого компрессора 2ФВ-4/4,5 с объемной подачей $V_{км} = 0,000844 \text{ м}^3/\text{с}$, работающего на холодильном агенте R22 [2-5]. Результаты расчетов представлены на рисунках 1, 2, показывающих зависимость Q_0 , $Q_{кд}$, $N_э$ от температур кипения $t_0, ^\circ\text{C}$ и конденсации $t_k, ^\circ\text{C}$ соответственно.

Основным показателем экономичности теплового насоса является коэффициент трансформации M , который является отношением количества вырабатываемой тепловой энергии к потребляемой электроэнер-

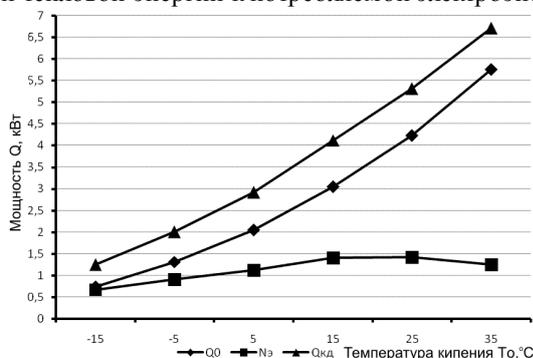


Рисунок 1. График зависимости Q_0 , $Q_{кд}$, $N_э$ от температуры кипения

гии [6]. На рисунках 3, 4 приведена зависимость коэффициента трансформации от температур кипения $t_0, ^\circ\text{C}$ и конденсации $t_k, ^\circ\text{C}$, с соответствующими приближенными математическими уравнениями.

Анализ полученных данных показывает, что использование тепловых насосов не всегда целесообразно, и существует определенный диапазон их применимости. Экономическая эффективность от внедрения тепловых насосов напрямую зависит от коэффициента трансформации, т.е. от разности температурных уровней в испарителе и конденсаторе. Максимальная температура теплоносителя, нагреваемого в конденсаторе, ограничивается свойствами холодильных агентов [2, 3]. Существенно, что при большом значении повышения давления в компрессоре, к нему предъявляются большие требования, что приводит к увеличению капитальных затрат, поэтому температура теплоносителя на практике составляет не более $(55-60)^\circ\text{C}$.

Ключевую роль в эффективности применения тепловых насосов также играют цены на тепловую и электрическую энергию в регионе, т.е. высокое значение коэффициента трансформации не всегда говорит об экономичности. Максимальная эффективность достигается при индивидуальном теплоснабжении, или при включении тепловых насосов в схемы ТЭЦ, что увеличивает общий КПД электростанций [7 - 9]. Тем не менее, применение тепловых насосов снижает количество органического топлива, сжигаемого напрямую, и соответственно, уменьшает загрязнение атмосферы вредными выбросами, присущими традиционным котельным.

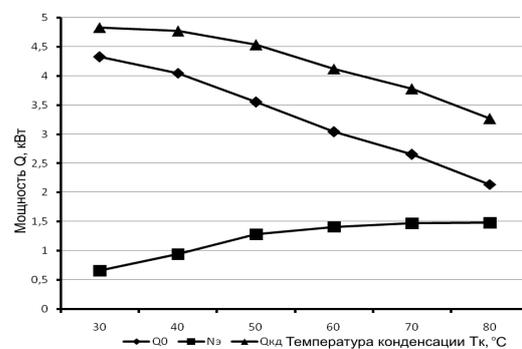


Рисунок 2. График зависимости Q_0 , $Q_{кд}$, $N_э$ от температуры конденсации

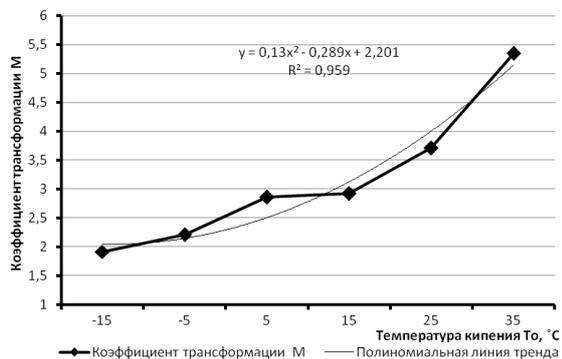


Рисунок 3. График зависимости M от температуры кипения

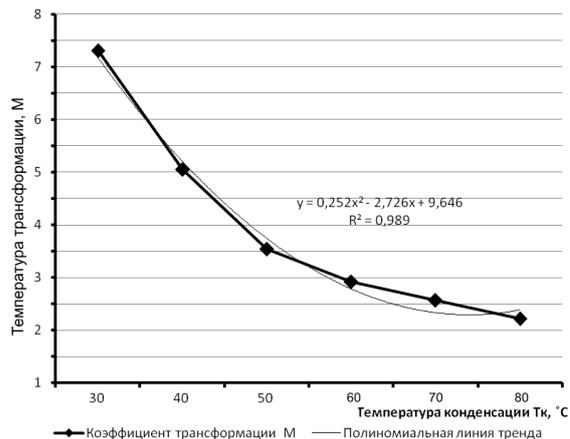


Рисунок 4. График зависимости M от температуры конденсации

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция по энергосбережению Восточно-Казахстанской области на 2007 - 2015 годы. / Усть-Каменогорск, 2007. – 23 с.
2. Явнель, Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха – 3-е изд., перераб. и доп. / Б.К. Явнель – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с.
3. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. – 4-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Богданова С.Н. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с.
4. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин: Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. Сакуна И.А. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 423 с.
5. Холодильные машины: учебное пособие для вузов / Под общ. ред. Сакуна И.А. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 510 с.
6. Рей, Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. / Д. Рей, Д. Макмайкл – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
7. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. / Е.Я. Соколов – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
8. Трухний, А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: Учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 540 с.
9. Теплофикационные паровые турбины: Учебное пособие для вузов - 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Бузина Д.П. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.

ЖЫЛУ СОРҒЫЛАРЫНЫҢ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Қасымов А.Б., Ермоленко М.В.

Шәкәрім атындағы Семей мемлекеттік университеті, Семей, Қазақстан

Жылу сорғыларының үнемділік көрсеткіштерінің қайнау және конденсат температураларына графикалық-талдамалық тәуелділіктері көрсетілген. Жылу сорғылары қондырғыларын анағұрлым тиімді пайдалануға болатын температура диапазондары анықталған. Зерделеніп жатқан қондырғылар жұмысының энергиялық тиімділігіне әсер ететін факторларды талдау нәтижелері берілген.

STUDIES OF ENERGY EFFICIENCY OF THERMAL PUMPS

A.B. Kasymov, M.V. Yermolenko

Semipalatinsk State University after Shakarim, Semey, Kazakhstan

The obtained graphic-analytical relations of efficiency to boiling temperature and condensation temperature of heat pump has been provided. The ranges of temperatures in which the use of heat pump facilities is the most effective were determined. Also the factors affecting the energy efficiency of such plants were analyzed.

УДК 621.1

АНАЛИЗ РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА ПРИ ПЕРЕВОДЕ НА ВОДОМАЗУТНОЕ ТОПЛИВО

Ордабаева М.С., Степанова О.А.

Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, Семей, Казахстан

В связи с оценкой эффективности перевода котла, работающего на мазуте, на водомазутное топливо (ВМТ) для каждого из этих видов топлива рассмотрены зависимости термического сопротивления слоя загрязнений конвективных поверхностей от теплопроизводительности и термического сопротивления а также слоя загрязнений конвективных поверхностей нагрева котла от средней скорости продуктов сгорания. Получены уравнения, описывающие эти процессы.

Котел водогрейный, водотрубный в процессе эксплуатации был реконструирован. Техническая характеристика представлена в таблице 1. Это проектные параметры котла при номинальной теплопроизводительности на мазуте.

Определение экономии топлива проводится в два этапа. На первом этапе производится диагностика состояния котла при его работе на различных видах топлива, т.е. на основе данных фактической эксплуатации проводятся тепловые расчеты котла с целью определения загрязнения конвективных поверхностей нагрева котла (термического сопротивления слоя загрязнений на конвективных поверхностях) для всех зафиксированных режимов работы котла в течении рассматриваемых периодов эксплуатации на мазуте и ВМТ. Полученные в результате диагностики состояния котла массивы данных обрабатываются стандартными методами для получения аппроксимирующих зависимостей степени загрязненности котла для каждого вида топлива. На втором этапе полученные аппроксимационные зависимости используются для расчета изменений в режиме работы котла (в том числе и достигнутой экономии мазута) после перевода на новое топливо в сопоставимых условиях сравнения.

Расчетная схема котла представляет собой водяной тракт, включающий фронтальный экран топочной камеры, боковые экраны топочной камеры, задний экран топочной камеры, конвективные пакеты КП-1, КП-2, КП-3, конструктивно объединенные в один

блок, боковые экраны конвективной шахты, задний экран конвективной шахты.

Сетевая вода из обратной линии теплосети подается в нижний коллектор фронтального экрана, поднимается вверх по экрану, затем подается в верхние коллектора боковых экранов, разделенных перегородкой на две части. Вода проходит в нижние коллектора, их них во вторую половину боковых экранов и далее в верхние коллектора. Затем вода поступает в верхний коллектор заднего экрана топочной камеры, опускается в нижний коллектор и поступает в правый и левый коллектора конвективной части. По стоякам и петлям змеевиков вода подается в верхние коллектора конвективной части, из них в боковые экраны конвективной шахты и далее в верхние коллектора боковых экранов конвективной шахты. Из верхних коллекторов боковых экранов конвективной шахты вода по двум перемычкам поступает в верхний коллектор заднего экрана, далее по экрану в нижний коллектор и из него направляется в сеть.

Для определения эффективности от применения водомазутного топлива рассматривались суточные ведомости водогрейных котлов в период отопительного сезона, данные по качеству топлива за тот же период и данные газового анализа продуктов сгорания. Методики измерений соответствовали общепринятым. Избытки воздуха определялись газоанализатором типа ГХП. Влажность топлива определяли в соответствии со стандартной методикой для нефтепродуктов.

Таблица 1. Техническая характеристика котла ПТВМ-50

Наименование величины	Единица измерения	Значение
Теплопроизводительность топлива (мазут)	МВт	65,128
Расход воды через котел	т/ч	800
Температуры воды на входе в котел	°С	70
Температуры воды на выходе из котла	°С	140
Объем топки	м ³	194
Поперечное сечение топки	м ²	17,1
Эффективная поверхность нагрева топки	м ²	124
Поверхность нагрева конвективной части	м ²	1395
Температура уходящих газов	°С	191
КПД	%	91,975
Полный расход топлива	т/ч	6,536

Представленные данные по газовому анализу говорят о том, что коэффициент избытка воздуха в уходящих газах при эксплуатации котла является стабильной величиной и в тепловых расчетах принимают величиной постоянной равной 1,13.

Влажность мазута в течении отопительного сезона практически не изменялась и ее можно считать равной 3,72, а влажность водомазутного топлива претерпела изменения.

При выполнении тепловых расчетов основные параметры работы котла и параметры топлива устанавливались в соответствии с исходными данными.

Потери тепла от наружного охлаждению устанавливались в соответствии с фактической теплопроизводительностью.

Параметры загрязнения хвостовых поверхностей подбирались таким образом, чтобы расчетная температура уходящих газов соответствовала измеренной. При совпадении этих температур расчет прекращали, все полученные в расчете необходимые для последующего анализа результаты фиксировались и далее проводился следующий расчет.

В таблице 2 представлены общие данные о режиме работы котла ПТВМ-50.

Таблица 2. Общие данные о режиме работы котла ПТВМ-50 в рассматриваемых периодах

Показатель	Единица измерения	Топливо	
		мазут	ВМТ
Продолжительность периода эксплуатации	час	1093	2772
Суммарное время непрерывной работы котла	час	689	1022
Выработка тепла котлом в рассматриваемый период	ГДж	63570	86721
Расход обводненного топлива	т	1705	2512
Расход топлива в пересчете на обезвоженное состояние	т	1643	2223
Средняя теплопроизводительность котла за время непрерывной работы	МВт	25,62	23,55
Средняя влажность топлива	%	3,72	11,29
Средний расход воды через котел	т/ч	706,8	650,5
Средняя температура воды на входе в котел	°С	44,9	53,2
Средняя температура воды на выходе из котла	°С	75,5	84,7
Средняя температура воды на входе в конвективный блок	°С	64,2	73,0
Средняя температура уходящих газов	°С	128,7	99,8
Средний температурный перепад на выходе из котла	°С	64,5	26,9
Среднее термическое сопротивление слоя загрязнений конвективных поверхностей нагрева	(м·К)/Вт	0,0314	0,0485
Средний КПД котла	%	93,74	94,87
Удельный расход обезвоженного мазута на выработку тепла	г/МДж	25,83	25,63

На рисунке 1 представлены результаты расчета загрязненности конвективных поверхностей нагрева котла при эксплуатации на мазуте и водомазутном топливе. Данные представлены в зависимости термического сопротивления слоя загрязнений от теплопроизводительности.

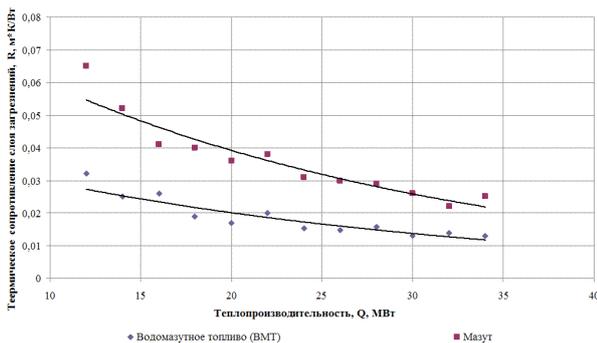


Рисунок 1. Зависимость термического сопротивления слоя загрязнений конвективных поверхностей котла ПТВМ-50 от теплопроизводительности при эксплуатации на мазуте и ВМТ

Получены аналитические зависимости для мазута и ВМТ:

$$R = 0,09 \exp(-0,012Q). \quad (1)$$

$$R = 0,0431 \exp(-0,036Q) \quad (2)$$

где R – термическое сопротивление, Q – теплопроизводительность.

Изменение загрязненности поверхностей нагрева при изменении теплопроизводительности котла связано в основном с изменением скорости продуктов сгорания в конвективной шахте. При увеличении теплопроизводительности сажевые отложения частично сдуваются потоком продуктов сгорания вследствие увеличения их скорости, при снижении теплопроизводительности наоборот – наблюдается рост толщины сажевых отложений и их термического сопротивления.

На рисунке 2 представлена зависимость термического сопротивления слоя загрязнений от средней скорости продуктов сгорания.

$$R = 0,85 \exp(-0,239w) \quad (3)$$

$$R = 0,0431 \exp(-0,036w) \quad (4)$$

где R – термическое сопротивление, w – теплопроизводительность.

Загрязненность конвективных поверхностей существенно зависит от скорости газов в конвективной шахте и увеличивается с ее снижением.

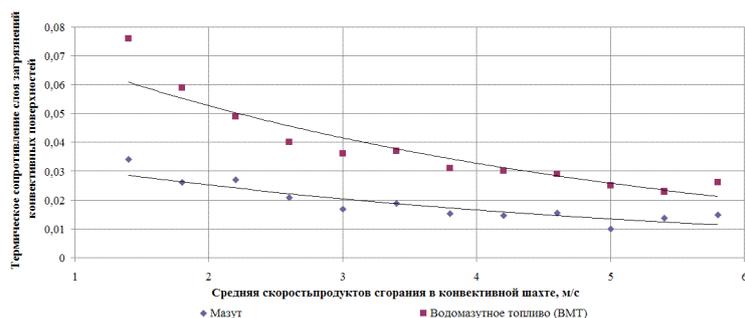


Рисунок 2. Зависимость термического сопротивления слоя загрязнений конвективных поверхностей нагрева котла ПТВМ-50 от средней скорости продуктов сгорания в конвективной шахте при эксплуатации на мазуте и ВМТ Аналитические зависимости для этого случая имеют вид (3),(4)

ВЫВОДЫ

В диапазоне теплопроизводительности 25-100% (16-65 МВт) КПД котла увеличивается на 1,1-1,8%, а расход топлива в пересчете на обезвоженное состояние снижается на 0,74-1,54%. Полный расход топлива с учетом его влажности при переходе на ВМТ увеличивается на 6-7%.

Снижение температур уходящих газов при сжигании ВМТ приводит к уменьшению потерь тепла с уходящими газами, а следовательно к повышению КПД котла.

Снижение загрязненности конвективных поверхностей нагрева при переходе на ВМТ по сравнению с работой котла на мазуте максимально при низких нагрузках. При 25% нагрузке снижение загрязненности составляет 48% относительно загрязненности на мазуте, т.е. в 1,9 раза. При 100% нагрузке загрязненность снижается на 20% (в 1,25 раза).

Снижение расхода топлива и загрязненности конвективных поверхностей нагрева приводит к снижению выбросов в атмосферу при сжигании ВМТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трёмбовля, В.И. Теплотехнические испытания котельных установок / В.И. Трёмбовля, Е.Д. Фигнер, А.А. Авдеева // – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. – М.: Энергия, 1973. – 295 с.
3. НТО «Обследование топливно – энергетического хозяйства ТЭЦ – 1, ТЭЦ – 2 и ТЭЦ – 4 (Семипалатинск ТЭЦ)». – М.: НПО «Гидротрубопровод», 1994.

СУ ЖЫЛЫТАТЫН ҚАЗАННЫҢ СУ-МАЗУТТЫ ОТЫНҒА АУЫСТЫРҒАН КЕЗДЕГІ ЖҰМЫСЫН ТАЛДАУ

Ордабаева М.С., Степанова О.А.

Шәкәрім атындағы Семей мемлекеттік университеті, Семей, Қазақстан

Мазутпен жұмыс істейтін қазанды су-мазутты отынға (СМО) ауыстыру тиімділігін бағалауға байланысты, осы отындардың әрбір түрі үшін конвективтік беттердің ластану қабатының термиялық кедергісінің жылу өнімділігіне және термиялық кедергісіне тәуелділігі, сондай-ақ қазанды жылытудың конвективтік беттерінің ластану қабатының өнімнің орташа жану жылдамдығына тәуелділігі қарастырылды. Осы процесстерді сипаттайтын теңдеулер алынды.

PERFORMANCE ANALYSIS OF A WATER-BOILER RUNNING ON WATER AND FUEL OIL

M.S. Ordabayeva, O.A. Stepanova

Shakarim Semipalatinsk State University, Semey, Kazakhstan

The article is dedicated to the conversion of boiler from fuel oil to water- fuel oil. Dependence of thermal resistance of the convective surface pollution layer from the heat productivity and thermal resistance, dependence of the convective surface pollution layer from average velocity of the combustion products during exploitation of the boiler were considered. Also equations describing these processes has been presented.

СПИСОК АВТОРОВ

- Азимханов А.С., 9
Алейников Ю.В., 9
Байгазинов Ж.А., 129
Бакланов В.В., 49
Барсуков Н.И., 45, 54
Баязитова Ж.Т., 72
Бейсембаев Е.Б., 9
Беляшов А.В., 164
Буртебаев Н.Т., 82
Виток В.А., 63
Вурим А.Д., 9
Гановичев Д.А., 18
Гныря В.С., 9
Гордиенко Ю.Н., 45, 54
Горлачев И.Д., 72, 86
Горцев А.П., 77
Дегтярев В.В., 86
Дербышев И.К., 9
Диков А.С., 77
Дубровин В.И., 140
Дуйсебаев А., 82
Дьячков В.В., 82
Елизарьева Н.А., 134
Ерболатулы Д., 102
Ерёменко Е.А., 134
Ермоленко М.В., 169
Жолдыбаев Т.К., 82
Зверева И.О., 111
Иванов И.А., 86
Игнашев В.И., 18
Иркимбеков Р.А., 14
Карпиков А.Н., 72
Касымов А.Б., 169
Каширский В.В., 111
Келлер С.А., 120
Керимбаев А.О., 145
Киреев В.В., 77
Киричек Е.А., 18
Кислицин С.Б., 72, 77
Коваль А.П., 129
Кожыханов Т.Е., 116
Колбаенков А.Н., 9
Коровиков А.Г., 22
Коровина О.Ю., 111
Котов В.М., 14
Красовицкий П.М., 90
Кривцов П.Ю., 27
Кукушкин И.М., 49
Кукушкин С.М., 31
Кульсартов Т.В., 54
Кундузбаева А.Е., 120
Ларионова Н.В., 116, 120, 125
Лукашенко С.Н., 111, 116, 120, 125, 129
Лысунин С.Н., 72, 86
Ляхова О.Н., 125
Максимкин О.П., 67, 94, 98
Маулимбердин Е.К., 58
Мережко М.С., 67, 94
Мешин М.М., 9
Михайлова Н.Н., 154
Мукамбаев А.С., 149
Мукенева С.А., 36
Мухамедов Н.Е., 63
Нестерова А.Ю., 77
Ольховик Д.А., 22
Ордабаева М.С., 171
Павлов В.М., 22, 27
Паницкий А.В., 116, 129
Пеньков Ф.М., 86
Перепелкин Д.И., 41, 44
Понкратов Ю.В., 45, 54
Попов Ю.А., 9
Рахадиллов Б.К., 102
Рубан С.В., 98
Рыбин С.В., 98
Садвакасова А.О., 45, 54
Садыков А.Д., 6
Салембаев Н.Е., 49
Сейнасинов Н.А., 154
Сенько А.О., 82
Скаков М.К., 102
Смирнов А.А., 140
Соколов А.Н., 159
Соколова И.Н., 149
Степанова О.А., 171
Субботин С.Б., 125
Токтаганов М.О., 9
Токтогулова Д.А., 67
Тулубаев Е.Ю., 54
Турубарова Л.Г., 94
Уханов С.В., 107
Цай Е.Е., 107
Чектыбаев Б.Ж., 6, 58
Шаповалов Г.В., 6, 58
Шелехова О.Х., 164
Яковенко Ю.Ю., 134

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в электронном виде (на CD, DVD диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

Отдельным файлом предоставляются сведения об авторах: ФИО, организация и ее полный адрес, должность, ученая степень, телефон, e-mail.

Текст печатается на листах формата А4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Пожалуйста, для заголовков используйте стили (Заголовок 1, 2...) и не используйте их для обычного текста, таблиц и подрисовочных подписей.

Текст печатается через одинарный междустрочный интервал, между абзацами – один пустой абзац или интервал перед абзацем 12 пунктов.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 2 пустых абзаца или с интервалом перед абзацем 24 пункта, печатается основной текст.

Максимально допустимый объем статьи – 10 страниц.

При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- Статья должна содержать аннотации на казахском, английском и русском языках (130-150 слов) с указанием названия статьи, фамилии, имени, отчества авторов и полного названия организации, города и страны местонахождения, которую они представляют;
- Ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТу 7.1-2003;
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см), либо в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка. Рисунки должны быть представлены отдельно в одном из форматов *.tif, *.gif, *.png, *.jpg, *.wmf с разрешениями 600 dpi.
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation или MathType. Химические формулы и мелкие рисунки в тексте должны быть вставлены как объекты Рисунок Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

К статье прилагаются следующие документы:

- рецензия высококвалифицированного специалиста (доктора наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- акт экспертизы (экспертное заключение);
- на отдельном листе автор сообщает сведения о себе: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность, кафедра и указывает служебный и домашний телефоны, адрес электронной почты.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. В конце статья должна быть подписана автором с указанием домашнего адреса и номеров служебного и домашнего телефонов, адрес электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. У.П. Козтаева
тел. (722-51) 2-33-35, E-mail: KOZTAEVA@NNC.KZ

Технический редактор А.Г. Кислухин
тел. (722-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Тәуелсіздік, 6.
<http://www.nnc.kz/vestnik>

© Редакция сборника «Вестник НЯЦ РК», 2001.

Регистрационное свидетельство №1203-Ж от 15.04.2000г.
Выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии
Национального ядерного центра Республики Казахстан
071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Тәуелсіздік, 6.

