

ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 3(27), СЕНТЯБРЬ 2006

Издается с января 2000 г.

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: к.х.н. АРТЕМЬЕВ О.И., БЕЛЯШОВА Н.Н., к.ф.-м.н. ВОЛКОВА Т.В.
к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г., д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – **заместитель главного редактора**,
д.г.-м.н. ЕРГАЛИЕВ Г.Х., к.б.н. КАДЫРОВА Н.Ж., к.ф.-м.н. КЕНЖИН Е.А.,
КОНОВАЛОВ В.Е., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., к.ф.-м.н. МУКУШЕВА М.К.,
д.б.н. ПАНИН М.С., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е., к.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.
д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С. – **заместитель главного редактора**, к.т.н. ТУХВАТУЛИН Ш.Т.

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

3(27) ШЫҒАРЫМ, ҚЫРҚҮЙЕК, 2006 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

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

ISSUE 3(27), SEPTEMBER 2006

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. В настоящее время редакция располагает возможностью быстрой публикации статей.

Сборник содержит доклады, представленные на VI конференции - конкурсе НИОКР молодых ученых и специалистов НЯЦ РК (15 - 17 мая 2006 г., Курчатов, Казахстан)

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ-ДЕСОРБЦИИ ГАЗОВ ИЗ ЦЕРАТОВ БАРИЯ И СТРОНЦИЯ.....	5
Мунасбаева К.К., Хромушин И.В., Аксенова Т.И., Жотабаев Ж.Р., Букенов К.Д.	
РЕЗОНАНСНАЯ ДИФФУЗИЯ СОСТАВНЫХ ЧАСТИЦ	11
Красовицкий П.М., Пеньков Ф.М.	
ТЕРМИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СЛОИСТЫХ СИСТЕМАХ Fe-Zr.....	15
Аргынов А.Б., Жубаев А.К., Русаков В.С., Кадыржанов К.К.	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ LiD-КОНВЕРТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ	21
Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Прозорова И.В., Кимолаев Ж.Б.	
ЭЛЕКТРОННЫЙ КАТАЛОГ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА.....	27
Ястребкова Н.В., Ларионова Н.В., Барсукова С.А., Султанова Б.М., Стрильчук Ю.Г.	
РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДАННЫХ ПО БЫВШЕМУ СИП НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ.....	33
Садвакасов М.О., Березин С.А., Баранов С.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ «ГОРЯЧИХ» ЧАСТИЦ ПОЧВ СИП	40
Абишев Т.Б., Горлачев И.Д., Квочкина Т.Н., Князев Б.Б., Лукашенко С.Н., Мульгин С.И.	
ОСОБЕННОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИОНАМИ АРГОНА С ЭНЕРГИЕЙ 2-7 кэВ	47
Максимкин О.П., Цай К.В., Русакова А.В.	
ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ	52
Осипов И.С., Максимкин О.П., Гусев М.Н.	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ «АСУМ/К».....	57
Поломошнова Л.В., Чернядьев В.В., Коровиков А.Г., Котляр Е.В.	
ИЗУЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА	62
Морговская М.К., Соколова И.Н., Неделков А.И., Султанова Г.С., Казаков Е.Н.	
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТЕПЛОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАСПЛАВА МАТЕРИАЛОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ	70
Акаев А.С., Зверев В.В., Нугуманов Д.К.	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ РЕГИСТРАЦИИ, ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	76
Ястребков Д.И., Инков А.Ф., Цай Е.Е., Черемнов Д.Н.	
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	86
Фролов З.Н., Дроздов А.В.	
ЭРГНОМИКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИК ТОКАМАКА КТМ.....	95
Колокольцов М.В., Шипилов П.В., Шаповалов Г.В.	
ТЕПЛОВЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ С ЭФФЕКТИВНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЦИКЛОМ	103
Котов В.М., Котов С.В.	

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	108
Клименко А.С., Кривцов П.Ю.	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	117
Кривцов П.Ю., Клименко А.С., Горбаненко О.А.	
ГРУНТЫ И ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ В г. КУРЧАТОВЕ	125
Генова С.В.	
ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ БОЛЬШЕБАЗОВОЙ СИСТЕМЫ ГРУППИРОВАНИЯ «БОРОВОЕ»	131
Локштанов С.С., Комаров И.И.	

УДК 539.931

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ-ДЕСОРБЦИИ ГАЗОВ ИЗ ЦЕРАТОВ БАРИЯ И СТРОНЦИЯ

¹Мунасбаева К.К., ¹Хромушин И.В., ¹Аксенова Т.И., ²Жотабаев Ж.Р., ¹Букенов К.Д.¹Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан²Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

Экспериментально исследованы процессы выхода кислорода и воды из допированных цератов бария и стронция. Предложена математическая модель, описывающая выход молекулярного кислорода из допированного церата бария, определена энергия активации десорбции. Выполнены расчеты энергии активации сорбции кислорода для допированного церата бария и величины $\Delta E = E_d - Q$ для допированного церата стронция. Показано, что $\text{SrCe}_{0,95}\text{Y}_{0,05}\text{O}_{3-\alpha}$ характеризуется более высокой энергией активации десорбции кислорода, чем церат бария $\text{BaCe}_{0,9}\text{Nd}_{0,1}\text{O}_{3-\alpha}$, что свидетельствует о более прочной связи кислорода в случае кристаллической решетки орторомбического типа. Предложена математическая модель, описывающая выход воды из допированных цератов кинетическим уравнением первого порядка в предположении, что энергия десорбции является квадратичной функцией концентрации воды $E_{des} = f(n)$. Получены зависимости энергии активации десорбции воды от концентрации газа в материале.

ВВЕДЕНИЕ

Сложные оксиды со структурой перовскита ABO_3 представляют интерес, как с научной, так и с практической точки зрения, благодаря своим уникальным свойствам и в частности, протонной проводимости [1]. Данные материалы являются перспективными кандидатами для практического применения их в качестве мембран топливных элементов, водородных датчиков и водородных насосов [2]. Типичными представителями оксидных протонных проводников являются цераты бария и стронция, которые характеризуются наиболее высокой протонной проводимостью среди широкого круга подобных материалов. Более того, проводимость данных материалов может быть увеличена путем допирования оксидов низковалентным катионом (Nd^{3+} , Y^{3+}), который частично замещает ион Ce^{4+} в позиции «В». В результате такого замещения в решетке $\text{AB}_{1-x}\text{Ln}_x\text{O}_{3-\alpha}$ создаются кислородные вакансии с эффективным зарядом +2, концентрация которых $\alpha=x/2$ определяется уровнем допирования x .

Эффективность протонных проводников во многом зависит от концентрации внедренных протонов и их подвижности; подвижность протонов в свою очередь существенно зависит от того, насколько прочно они связаны с кислородом. Согласно широко распространенной концепции переноса протона в высокотемпературных протонных проводниках кислород играет одновременно роль ловушки и возможного пути миграции протона. Вот почему очень важно знать не только состояние протона в решетке, но и состояние кислорода, и его подвижность. Такая информация, как правило, может быть получена различными путями:

- термодинамическими или равновесными методами исследования состояния газа в оксиде;
- кинетическими или неравновесными методами, такими как, например, термодесорбционная спектроскопия.

Анализ и сравнение результатов, полученных различными методами, дают новую, интересную информацию о процессах обмена газ-твердое тело.

Целью настоящей работы является изучение процессов сорбции-десорбции газов из цератов бария и стронция.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В данной работе представлены результаты исследования процессов термодесорбции кислорода и воды из монокристаллических и керамических бариевых и стронциевых цератов, допированных Nd^{3+} и Y^{3+} , соответственно. Образцы $\text{BaCe}_{0,9}\text{Nd}_{0,1}\text{O}_{3-\alpha}$ и $\text{SrCe}_{0,95}\text{Y}_{0,05}\text{O}_{3-\alpha}$ были синтезированы методом индукционного плавления, а также методом твердофазных реакций.

Изучение процессов термодесорбции газов проводили с помощью универсальной установки газовой выделения [3], которая состоит из следующих основных узлов: высоковакуумная камера, печь-сопротивления, радиочастотный масс-спектрометр. Температура в ходе эксперимента измерялась W-Re термопарой, которая приварена непосредственно к чашечке, в которую сбрасываются образцы. Термодесорбционные эксперименты полностью автоматизированы: нагрев образцов, выбор необходимых масс, измерение температуры и регистрация спектров осуществляли с использованием специального модуля Advantech PCI-1710HG, встроенного в РС. Скорость нагрева образцов составляла $42^\circ\text{C}/\text{мин}$ в интервале $20-1200^\circ\text{C}$, а давление в рабочей камере в начале эксперимента составляло $\sim 2 \times 10^{-5}$ Па.

Практическое использование твердооксидных протонных проводников предполагает постоянный контакт материала с газовой средой, содержащей с одной стороны водород или пары воды, а с другой – кислород. Для прогнозирования поведения оксидов в процессе работы топливных элементов или датчиков и, соответственно, прогнозирования длительности

работы такого устройства в целом, необходимо иметь полную информацию о характере взаимодействия оксидов с газовой средой, включая кинетические и энергетические параметры. Метод термодесорбционной спектроскопии может быть весьма полезен при проведении подобных исследований. В совокупности с масс-спектрометрическим анализом данный метод позволяет не только определить химический состав газов, являющихся продуктами взаимодействия водорода и кислорода с оксидом, но и определить параметры процессов сорбции-десорбции.

В общем случае скорость процесса десорбции газа из материала может быть описана следующим уравнением:

$$\frac{dn}{dt} = -\nu \times n^\gamma \exp\left(-\frac{E_{des}}{\kappa T(t)}\right) \quad (1)$$

где $n(t)$ - количество газа в образце или степень покрытия, E_{des} - энергия активации десорбции, T - абсолютная температура, $T = T_0 + \beta t$, β - скорость нагрева, ν - частотный фактор, γ - порядок реакции. Значение γ может быть равно 0, 1 или 2 и в зависимости от γ термодесорбционный спектр ведет себя по-разному.

Рассмотрим основные виды термодесорбционных спектров для разных значений порядка реакции γ .

В случае, если $\gamma=0$, имеет место нулевой порядок реакции. Уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{dn}{dt} = -\nu \times \exp\left(-\frac{E_{des}}{\kappa T(t)}\right) \quad (2)$$

Отсюда следует что скорость десорбции не зависит от концентрации газа в образце или степени покрытия, и скорость десорбции увеличивается экспоненциально с ростом температуры T . Типичный вид термодесорбционного спектра для $\gamma = 0$ представлен на рисунке 1 а. Характерной особенностью спектров десорбции в данном случае является то, что все они имеют общий передний фронт и резкий спад, когда все молекулы десорбированы. Температура максимума скорости десорбции T_{max} увеличивается с ростом n_{max} . Нулевой порядок реакции, как правило, описывает процессы десорбции газов из массивных образцов.

В случае $\gamma = 1$, процессы десорбции описываются кинетическими уравнениями первого порядка

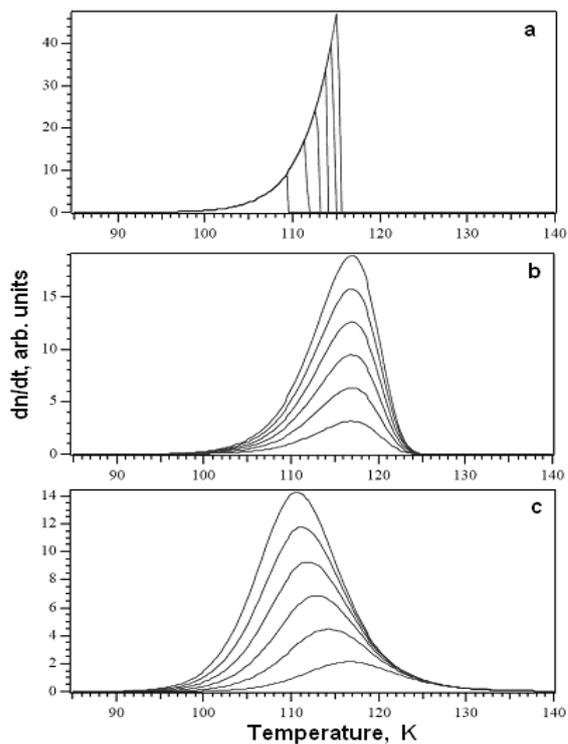
$$\frac{dn}{dt} = -\nu \times n \times \exp\left(-\frac{E_{des}}{\kappa T(t)}\right) \quad (3)$$

В этом случае: T_{max} не меняется с увеличением n_{max} , пик имеет асимметричную форму, а T_{max} увеличивается с увеличением E_{des} . Типичный вид термодесорбционного спектра для $\gamma = 1$ представлен на рисунке 1б. Обычно первым порядком описываются процессы десорбции газов из тонких пленок или в тех случаях, когда процессами диффузии газов в мате-

риалах можно пренебречь. В последнем случае, достаточно одного элементарного акта реакции для того что бы молекула газа десорбировала из образца.

И, наконец, в случае кинетики второго порядка, когда $\gamma=2$, уравнение (1) приобретает вид:

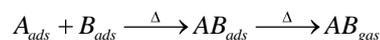
$$\frac{dn}{dt} = -\nu \times n^2 \times \exp\left(-\frac{E_{des}}{\kappa T(t)}\right) \quad (4)$$



а – нулевой порядок; б – первый порядок; в – второй порядок

Рисунок 1. Иллюстрация зависимостей формы спектров термодесорбции газов от порядка реакции для различных начальных концентраций газа в образцах

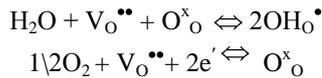
Характерной особенностью данного процесса является то, что скорость десорбции пропорциональна квадрату величины степени покрытия или концентрации газа в образце. Вторым порядком реакции, как правило, описываются процессы десорбции двухатомных газов по следующей схеме:



В этом случае T_{max} смещается в сторону более низких температур с ростом n_0 ; при этом спектры имеют общий «хвост» и симметричную форму рисунка 1с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Образцы цератов бария и стронция в виде плоских пластинок предварительно отжигали при температурах 650-750°C при различных парциальных давлениях паров воды и кислорода. При этом предполагалось, что имеет место высокотемпературное внедрение паров воды и кислорода в решетку оксидов согласно следующим уравнениям:



Экспериментально обнаружено выделение воды и молекулярного кислорода из образцов допированного церата бария после предварительного отжига на воздухе либо во влажном азоте. На рисунке 2 представлена зависимость количества десорбированного кислорода и температуры максимума скорости его выделения от парциального давления газа над образцом в процессе предварительного отжига.

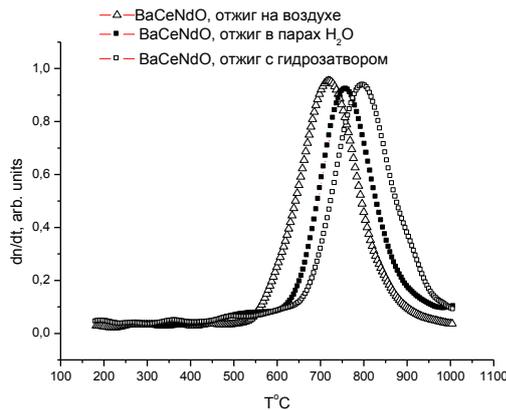


Рисунок 2. Спектры выхода кислорода из образцов $\text{BaCe}_{0,9}\text{Nd}_{0,1}\text{O}_{3-\alpha}$ после отжига при разных парциальных давлениях кислорода ($T_{\text{отж}} = 650^\circ\text{C}$)

На образцах допированного церата стронция, отожженных в аналогичных условиях, обнаружено выделение воды и молекулярного водорода, выхода кислорода в этом случае не наблюдалось.

Изложенный выше анализ термодесорбционных спектров был применен для обработки полученных экспериментальных результатов. Прежде всего, форма пика выделения кислорода из допированного церата бария и зависимость температуры максимума скорости его десорбции от концентрации кислорода в решетке позволили сделать вывод, что процесс десорбции молекулярного кислорода в данном случае контролируется кинетикой второго порядка:

$$\frac{dn}{dt} = -\nu n^2 \exp\left(-\frac{E_d}{\kappa T(t)}\right),$$

где $n(t)$ – концентрация кислорода, E_d – энергия активации десорбции, T – температура, ν – частотный фактор.

Энергия активации десорбции кислорода была определена путем подгонки экспериментальных и расчетных кривых и составила 2.99 eV. На рисунке 3 представлены экспериментальные и расчетные кривые выхода кислорода из допированного церата бария.

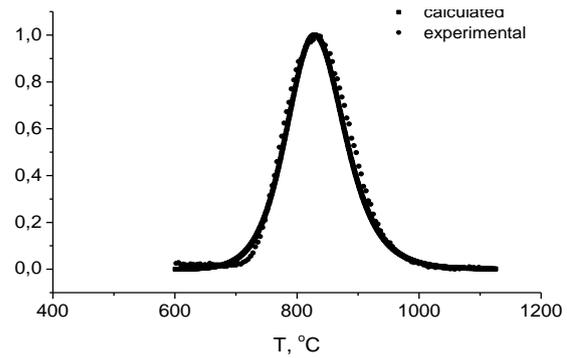


Рисунок 3. Экспериментальный и расчетный спектры выделения молекулярного кислорода из гидратированного образца $\text{BaCe}_{0,9}\text{Nd}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$

Однако, следует отметить, что интерес представляют не только десорбционные параметры, важно также знать и параметры, характеризующие процессы внедрения кислорода в решетку.

Ранее в работе [4] были исследованы зависимости значения кислородного индекса от парциального давления кислорода для различных температур на образцах допированных цератов бария $\text{BaCe}_{0,9}\text{Nd}_{0,1}\text{O}_{3-\alpha}$ и стронция $\text{SrCe}_{0,95}\text{Y}_{0,05}\text{O}_{3-\alpha}$. Эти результаты были получены в условиях термодинамического равновесия и качественно находятся в хорошем согласии с термодесорбционными результатами, поскольку подтверждают возможность наличия сверх стехиометрического кислорода в решетке допированного церата бария и отсутствие такового в церате стронция.

Была выполнена математическая обработка экспериментальных результатов, полученных в работе [4], с учетом параметров, полученных нами методом термодесорбционной спектроскопии. Для этого результаты работы [4] были оцифрованы и была предложена следующая система дифференциальных уравнений для описания поведения кривых насыщения кислородом цератов бария:

$$\frac{dn}{dt} = k_s \times m \times \sqrt{P_{\text{O}_2}} - k_d \times n^2$$

$$\frac{dm}{dt} = -k_s \times m \times \sqrt{P_{\text{O}_2}} + k_d \times n^2$$

$$m + n = a$$

$$3 - \delta = n + b$$

где a – максимальное число потенциальных центров сорбции в образце, $m(t)$ – число центров сорбции в данный момент времени, $n(t)$ – число центров, занятых кислородом, $k_s = k_{s0} \cdot \exp(-Q/kT)$ – константа скорости сорбции, $k_d = k_{d0} \cdot \exp(-E_d/kT)$ – константа скорости десорбции, P_{O_2} – парциальное давление кислорода, b – параметр, соответствующий равновесному кислородному индексу в вакууме при данной температуре.

Данная модель предполагает, что процесс насыщения оксидов кислородом представляет собой конкуренцию процессов сорбции и десорбции с соответствующими константами реакций. Тот факт, что десорбция молекулярного кислорода контролируется реакцией второго порядка, означает, что скорость объемной диффузии кислорода в решетке велика по сравнению со скоростью термодесорбции, и выход кислорода из образца при нагреве в вакууме лимитируется процессом десорбции (а не объемной диффузией кислорода). Вот почему можно считать, что такие параметры как m , n и a относятся к объему образца. Решение уравнений в условиях равновесия выглядит следующим образом:

$$3 - \delta = \frac{-k_s \times \sqrt{P_{O_2}} + \sqrt{k_s^2 \times P_{O_2} + 4k_d \times k_s \times a \times \sqrt{P_{O_2}}}}{2k_d} + b$$

Параметры уравнения были определены путем подгонки экспериментальных и расчетных данных. Для этого использовались значения k_d , полученные из экспериментов по термодесорбции, для разных температур в предположении, что $k_{d0} = 10^{13} \text{ c}^{-1}$. Величины k_s – константы скорости сорбции также были определены для каждой температуры. Последующая обработка методом Аррениуса позволила определить предэкспоненциальный фактор k_{s0} и энергию активации сорбции кислорода – Q , которые составили $2,4 \times 10^{10} \text{ c}^{-1} \text{ atm}^{-1/2}$ и $2,77 \text{ eV}$, соответственно.

На рисунке 4 представлены экспериментальные и расчетные кривые сорбции кислорода, которые показывают очень хорошую корреляцию [5].

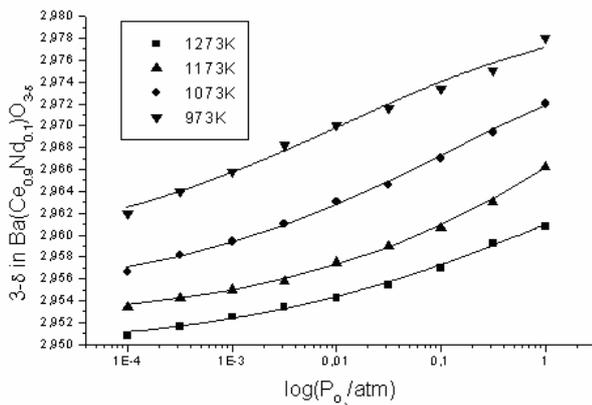


Рисунок 4. Зависимость значения кислородного индекса от парциального давления кислорода для $BaCe_{0,9}Nd_{0,1}O_{3-\alpha}$ (сплошные линии - расчетные кривые)

В случае допированного церата стронция, как отмечалось выше, выхода кислорода в исследованном диапазоне температур обнаружено не было. Поэтому не имелось возможности определить абсолютные значения энергии активации десорбции и сорбции кислорода. Тем не менее, была предпринята попытка определить относительную величину

$\Delta E = E_d - Q$. Исходя из закономерностей процессов насыщения образцов кислородом [4] было предложено следующее уравнение для описания экспериментальных зависимостей значений кислородного индекса от парциального давления кислорода для допированного церата стронция:

$$\frac{dn}{dt} = k_s p^\beta (\delta - n) - k_d n^\gamma$$

где $n(t)$ – число центров, занятых кислородом, γ – порядок реакции, $k_s = k_{s0} \exp(-Q/kT)$ – константа скорости сорбции, $k_d = k_{d0} \exp(-E_d/kT)$ – константа скорости десорбции, p – парциальное давление кислорода, β – показатель степени, $\delta = (3-\alpha)$ – значение кислородного индекса.

При этом принимался во внимание тот факт, что кислородный индекс выходит на насыщение с ростом парциального давления кислорода и не превышает величину $x/2$. Последнее указывает на то, что при данных условиях невозможно внедрить кислород до концентраций выше стехиометрических. Оказалось, что значение $\beta=1/2$ дает наилучшее согласие между экспериментальными и расчетными кривыми. Расчеты были выполнены для $\gamma=1$ и $\gamma=2$. Отсутствие экспериментальных данных по термодесорбции кислорода из церата стронция приводит к неопределенности в определении порядка реакции, поскольку наблюдается хорошее согласие экспериментальных и расчетных данных, как для первого, так и для второго порядка, притом, что значения ΔE практически одинаковы (4,1 и 4,01 эВ). Поэтому, по аналогии с бариевыми цератами мы остановились на реакции второго порядка. Расчетные и экспериментальные данные приведены на рисунке 5, из которого видно хорошее соответствие экспериментальных и расчетных кривых. Полученные значения ΔE указывают на высокое значение энергии активации десорбции по сравнению с энергией активации сорбции и более низкую подвижность кислорода в допированном церате стронция по сравнению с цератом бария. Очевидно, по этой причине мы не наблюдаем выхода кислорода из допированного церата стронция при температурах $\leq 1100^\circ\text{C}$, хотя сорбция кислорода в данном температурном интервале согласно работе [4] имеет место даже при экстремально низких давлениях кислорода над образцом. Возможно также, что различие в подвижности кислорода приводит к тому, что стронциевые цераты проявляют чисто протонную проводимость, поскольку в них подвижными являются только протоны. В допированном церате бария при средних температурах (до 600°C) основными носителями являются протоны, однако при более высоких температурах $\sim 800^\circ\text{C}$ кислород также становится подвижным, и проявляется смешанная протон-кислородная проводимость.

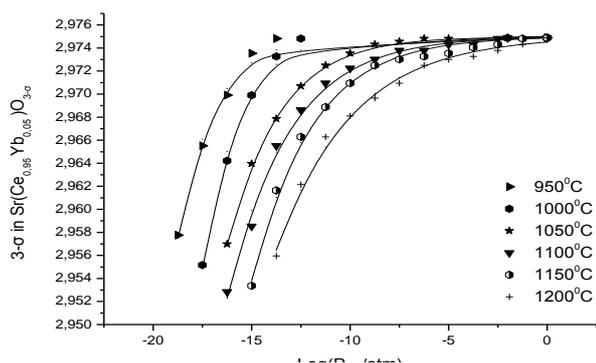


Рисунок 5. Зависимость значения кислородного индекса от парциального давления кислорода для $SrCe_{0.95}Yb_{0.05}O_{3-\alpha}$ (сплошные линии – расчетные кривые)

Спектры выделения воды из допированных образцов церата бария и церата стронция значительно отличаются от спектров выделения кислорода. Анализ формы линии и поведения максимума скорости выделения воды позволили заключить, что процесс выхода воды может быть описан кинетическим уравнением первого порядка в предположении, что энергия десорбции является квадратичной функцией концентрации воды $E_{des} = f(n)$.

$$\frac{dn}{dt} = -v \times n \times \exp\left(-\frac{E_{des}}{\kappa T(t)}\right)$$

где $E_{des} = p_1 \times n(t)^2 + p_2 \times n(t) - p_3$.

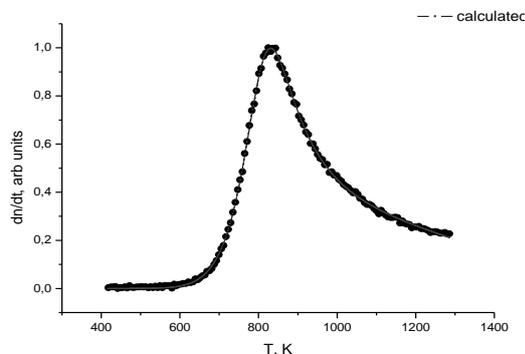


Рисунок 6. Экспериментальный и расчетный спектры выделения молекул воды из образца $BaCe_{0.9}Nd_{0.1}O_{3-\delta}$, отожженного на воздухе

ЛИТЕРАТУРА

1. Proton conduction in sintered oxides and its application to steam electrolysis for hydrogen production / H. Iwahara [et al.] // Solid State Ionics. – 1981. – Vol. 3-4. – P. 359-363.
2. Schober, T. Applications of oxidic high-temperature proton conductors / T. Schober // Solid State Ionics. – 2003. – Vol. 162-163. – P. 277-281.
3. Thermodesorption study of barium and strontium cerates / T.I. Aksenova [et al.] // Solid State Ionics. – 2003. – Vol. 162-163. – P. 31-36.
4. Kishio, K. Oxygen nonstoichiometry defect equilibrium and phase stability of perovskite-based ionic and mixed conductors / K. Kishio // Report of a Priority Area Research Program (FY 1995-1997), National Science Foundation. Tokyo Regional Office. – 1998. – P. 23-26.
5. Mechanism of gas-solid exchange processes for some perovskites / I.V. Khromushin [et al.] // Solid State Ionics. – 2003. – Vol. 162-163. – P. 37-40.

Разработанная нами программа для решения обратных задач для систем дифференциальных уравнений позволила нам описать форму спектров термодесорбции молекул воды, которая представлена на рисунке 6 и получить зависимость энергии активации десорбции от концентрации газа в данном материале, которая имеет следующий вид, смотри рисунок 7.

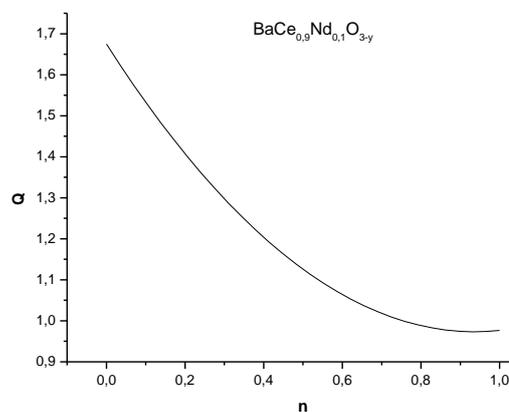


Рисунок 7. Зависимость энергии активации десорбции воды от концентрации для допированного церата бари.

ВЫВОДЫ

- Впервые изучены процессы десорбции газов из бариевых и стронциевых цератов.
- Предложен ряд математических моделей для описания этих процессов.
- В рамках предложенных моделей определены соответствующие энергетические характеристики: энергии активации десорбции E_d и сорбции Q кислорода в $BaCe_{0.9}Nd_{0.1}O_3$ и величина $\Delta E = E_d - Q$ для $SrCe_{0.9}Yb_{0.1}O_3$.
- В рамках новой математической модели получены расчетные спектры выделения воды из цератов бария и стронция и получены зависимости энергии активации десорбции воды от концентрации для данных материалов.

**БАРИЙ ЖӘНЕ СТРОНЦИЙ ЦЕРАТТАРЫНДАҒЫ
ГАЗДАРДЫҢ СОРБЦИЯ –ДЕСОРБЦИЯ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

¹⁾Мунасбаева К.К., ¹⁾Хромушин И.В., ¹⁾Аксенова Т.И., ²⁾Жотабаев Ж.Р., ¹⁾Букунов К.Д.

¹⁾*ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан*

²⁾*Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Алматы*

Барий және стронций цераттарынан оттегі мен судың шығу процестері тәжірибе жолымен зерттелген. Допирленген барий цератынан молекулалық оттегінің шығуын сипаттайтын математикалық модель ұсынылған және оның десорбциясының активтендіру энергиясы анықталған. Допирленген барий цераты үшін оттегі сорбциясының активтендіру энергиясына және допирленген стронций цераты үшін $\Delta E = E_d - Q$ шамасына есептемелер жүргізілген. Барий цератына $BaCe_{0,9}Nd_{0,1}O_{3-\alpha}$, қарағанда стронций цератындағы $SrCe_{0,95}Y_{0,05}O_{3-\alpha}$ оттегі десорбциясының активтендіру энергиясы жоғарырақ екендігі көрсетілген, бұл орторомбалы түрдегі кристалдық тордағы оттегі байланысының беріктігі артығырақ екендігін растайды. Десорбцияның активтендіру энергиясы судың концентрациясының $E_{des} = f(n)$ түріндей квадраттық функция деп санай отырып, допирленген цераттан шығатын суды бірінші ретті кинетикалық теңдеумен сипаттайтын математикалық модель ұсынылған.

STUDY OF SORPTION-DESORPTION PROCESSES FROM BARIUM AND STRONTIUM CERATES

¹⁾K.K. Munasbayeva, ¹⁾I.V. Khromushin, ¹⁾T.I. Aksenova, ²⁾Zh.R. Zhotabaev, ¹⁾K.D. Bukenov

¹⁾*Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan*

²⁾*National Nuclear Centre of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov*

Processes of oxygen molecules release from doped barium and strontium cerates have been studied experimentally. Mathematical model describing oxygen molecules release from doped barium cerate has been suggested and activation energy of desorption was determined. Calculations of activation energy of oxygen molecules sorption for doped barium cerate and quantity of $\Delta E = E_d - Q$ for doped strontium cerate have been done. It was found that $SrCe_{0,95}Y_{0,05}O_{3-\alpha}$ is characterized by higher activation energy of oxygen desorption that barium cerate $BaCe_{0,9}Nd_{0,1}O_{3-\alpha}$ which justifies tighter connection of oxygen in the case of crystalline cell of orthorhombic type.. Mathematical model, describing water molecules release from doped cerates was suggested and dependences of activation energy of water desorption on gas concentration in the materials were calculated.

УДК 53.043

РЕЗОНАНСНАЯ ДИФФУЗИЯ СОСТАВНЫХ ЧАСТИЦ

Красовицкий П.М., Пеньков Ф.М.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Рассмотрены модели, соответствующие процессу диффузии двухатомных молекул. Численное решение двумерной задачи рассеяния демонстрирует ярко выраженный резонансный характер прохождения барьера связанной парой. Квантовая резонансная диффузия молекул бериллия через потенциальный барьер высотой 4000 К и шириной 1.6 Å превышает квантовую одночастичную диффузию.

В 1994 г N. Saito и Y. Kayanuma, рассматривая задачу проницаемости прямоугольного потенциального барьера для пары частиц, связанных бесконечным прямоугольным потенциалом, заметили рост вероятности прохождения при некоторых энергиях [1]. Позже, в 2000 г, подобный эффект прозрачности был предсказан для прохождения барьера парой частиц, связанной осцилляторным взаимодействием для барьеров гауссового и кулоновского вида [2]. Сравнение результатов двух расчетов показало, что речь идет об одном и том же механизме резонансной прозрачности барьеров для связанной пары частиц (F.M.Pen'kov, 2000). В 2005 г G. L. Goodvin и M.R.A. Shegelski показали [3], что пара частиц, связанных потенциалом молекулярного типа, может проходить δ-образный потенциал резонансным образом. Они указали, что некоторые угловые аномалии в рассеянии молекулярных пучков от поверхностей могли бы быть проявлением указанного механизма прозрачности.

В данной работе рассмотрены примеры значительного превышения вероятности прохождения барьеров для молекулярных систем по сравнению с одноатомным прохождением. Это позволяет указать возможность механизма квантовой диффузии двухатомных молекул в твердом теле когда процессы одноатомной термодинамической диффузии значительно подавлены.

УРАВНЕНИЯ

Задача прохождения барьера для пары тождественных частиц, связанной осцилляторным взаимодействием, описывается двумерным гамильтонианом:

$$\hat{H} = -\frac{1}{2m} \Delta_{x_1} - \frac{1}{2m} \Delta_{x_2} + \frac{m\omega^2}{4} (x_1 - x_2)^2 + V_0(x_1) + V_0(x_2),$$

где x_1 и x_2 - координаты двух частиц, $V_0(x_i)$ - потенциал барьера для частицы i , m и ω - масса частицы и частота осциллятора соответственно. Уравнение Шредингера удобно записать в переменных относительного движения в паре x и переменной y для движения центра инерции:

$$x = \sqrt{\frac{m\omega}{2}} (x_1 - x_2), \quad y = \sqrt{\frac{m\omega}{2}} (x_1 + x_2);$$

$$\left[-\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} + V(x-y) + V(x+y) + x^2 \right] \Psi(x, y) = E \Psi(x, y),$$

где энергия E записывается в единицах $\omega/2$, а потенциальный барьер в новых переменных имеет вид:

$$V(x \pm y) = \frac{2}{\omega} V_0(x \pm y) / \sqrt{2m\omega}.$$

Пусть процесс рассеяния идет слева направо, и начальное состояние осциллятора отвечает состоянию n . Тогда граничные условия для фермионной пары частиц записываются в очевидном виде:

$$\Psi(x, y) \rightarrow -\infty \rightarrow \varphi_n(x) e^{ik_n y} - \sum_{j < N} S_{nj} \varphi_j(x) e^{-ik_j y},$$

$$\Psi(x, y) \rightarrow \infty \rightarrow \sum_{j < N} R_{nj} \varphi_j(x) e^{ik_j y},$$

$$\Psi(x \rightarrow \pm\infty, y) \rightarrow 0, \quad \Psi(x=0, y=0).$$

Волновые функции осциллятора $\varphi_j(x)$ отвечают уравнению Шредингера

$$-\frac{d^2}{dx^2} \varphi_j(x) + x^2 \varphi_j(x) = \varepsilon_j \varphi_j(x) \quad \text{с энергией } \varepsilon_j = 4j + 3,$$

импульсы $k_j = \sqrt{E - \varepsilon_j}$, а N - номер последнего открытого канала ($E - \varepsilon_N + 1 < 0$). Вероятности прохождения

$$W_{nj} = |R_{nj}|^2 \frac{k_j}{k_n} \quad \text{и отражения } D_{nj} = |S_{nj}|^2 \frac{k_j}{k_n}$$

удовлетворяют очевидному условию

$$\sum_{j < N} W_{nj} + D_{nj} = 1.$$

МЕХАНИЗМ ПРОЗРАЧНОСТИ

Явление резонансной прозрачности связано с образованием метастабильного состояния связанной пары на отталкивающем барьере [2]. На рисунке 1 приведена поверхность полной потенциальной энергии $U(x, y) = x^2 + V(x+y) + V(x-y)$ с ярко выраженными минимумами (см. стрелки), глубина которых достаточна для образования метастабильных состояний для пары частиц. Поэтому при определенных значениях энергии наблюдается значительное увеличение вероятности прохождения барьера для пары по сравнению с вероятностью прохождения одной частицы.

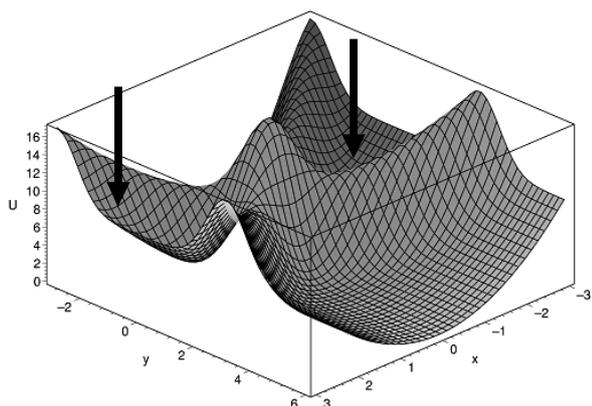
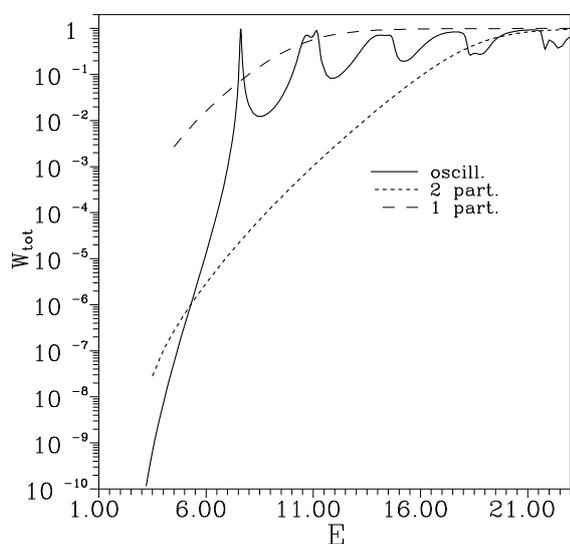
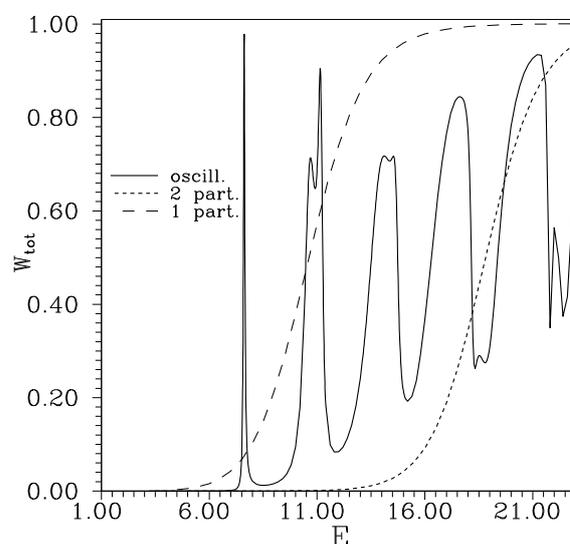


Рисунок 1. Суммарный потенциал, описываемый полной потенциальной энергией $U(x,y)=x^2+V(x+y)+V(x-y)$

На рисунке 2 приведены полные вероятности W_{tot} (сплошная кривая) прохождения пары через барьеры гауссового вида различной ширины r_0 и высоты E_{max} . Масса частиц и частота ω отвечает молекуле бериллия. Для сравнения даны вероятности прохождения одной частицы с массой атома бериллия (пунктирная кривая) и одной частицы с массой двух атомов (точечная кривая). Для малопрозрачных барьеров вероятность прохождения структурной частицы на восемь порядков превышает вероятность прохождения частицы двойной массы и на четыре порядка – вероятность прохождения одной частицы.



a – $E_{max}=1600$ K, $r_0=0.24\text{\AA}$



b – $E_{max}=4000$ K, $r_0=0.45\text{\AA}$

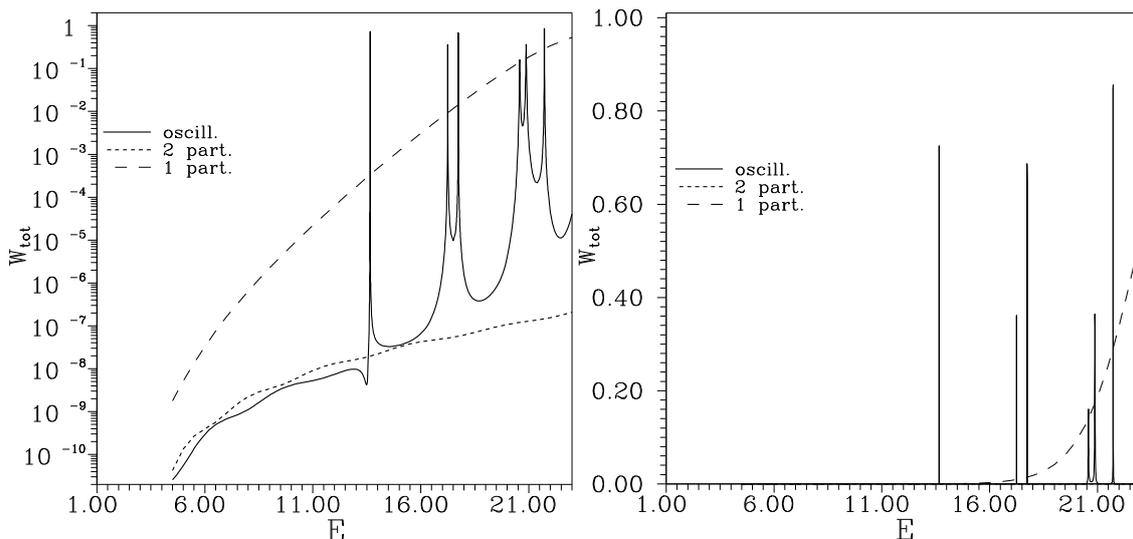


Рисунок 2. Демонстрация эффекта прозрачности гауссовых барьеров различной высоты и ширины. Пояснения для кривых даны в тексте

Можно видеть, что с ростом высоты барьера наблюдается уменьшение ширины резонансных линий. Вместе с тем растет отношение вероятности прохождения в резонансе к вероятности прохождения одной частицы одинарной и, тем более, двойной массы.

ДИФфуЗИЯ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

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 [4]. После термодинамического усреднения получаем известную формулу эмпирической зависимости диффузии от температуры:

$$D_{\text{class}} = \int_0^{\infty} D_0 P(E) e^{-E/T} \frac{dE}{T} \cong D_0 e^{-E_{\max}/T}. \quad (1)$$

В квантовом случае вероятность $P(E)$ нужно заменить на полную вероятность прохождения через барьер:

$$W_{\text{tot}} = \sum_{j < N} W_{jn}.$$

Соответственно:

$$D_{\text{quan}} = \int_0^{\infty} D_0 W_{\text{tot}} e^{-E/T} \frac{dE}{T} \cong D_0 F(T). \quad (2)$$

Нами был рассмотрен случай диффузии для пары частиц, связанной молекулярным потенциалом. Для моделирования свойств двухатомной молекулы был выбран потенциал в виде полинома четвертой степени с отталкиванием на малых расстояниях. Этот потенциал воспроизводит основные характеристики молекулы: средние расстояния между атомами в молекуле и ее вибрационные числа. Параметры потенциала были выбраны таким образом, чтобы воспроизводить характеристики молекулы бериллия. Расчет полной вероятности прохождения барьера ($E_{\max} = 4000$ К, $r_0 = 1.61$ Å) двухатомной молекулой, связанной таким потенциалом, приведен на рисунке 3. Для сравнения на рисунке даны также вероятность прохождения одного атома бериллия и частицы с массой молекулы бериллия, но без внутренней связи через такой же потенциальный барьер.

Анализ расчетов показывает, что вероятность резонансного прохождения молекулы значительно выше вероятности одночастичного прохождения. Для наиболее непрозрачного барьера вероятность прохождения молекулы в резонансных областях на 18 порядков превышает одноатомное прохождение. Ширина резонансов молекулярного прохождения

определяется вероятностью прохождения одной частицы через барьер.

Учет эффекта резонансной прозрачности приводит к тому, что диффузия молекулы сквозь барьер в определенных областях температур будет выше одноатомной диффузии и тем более диффузии частиц с массой молекулы. Очевидно, что этого следует ожидать прежде всего при низких температурах, где вероятность прохождения молекулы в резонансах значительно выше вероятности одноатомного прохождения.

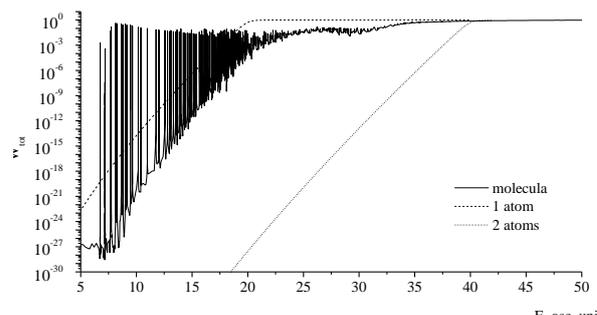


Рисунок 3. Сравнение вероятности прохождения через барьер ($E_{\max} = 4000$ К, $r_0 = 1.61$ Å) двухатомной молекулы (сплошная кривая), атома (пунктирная кривая) и частицы двойной массы бериллия (точечная кривая), единица энергии равна 200 К

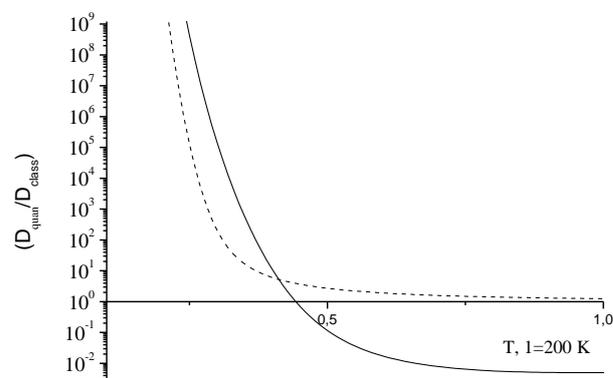


Рисунок 4. Расчет отношения квантовой диффузии к классической при низких энергиях. Сплошная линия – квантовая диффузия молекулы бериллия, пунктирная – одного атома

На рисунке 4 представлены рассчитанные с помощью формулы (2) зависимости диффузии от температуры для молекулы (сплошная кривая) и одного атома бериллия (пунктирная кривая). Абсолютные величины при этих температурах достаточно малы, поэтому дано отношение величин к классической диффузии одного атома (1). На рисунке не приводится диффузия частицы двойной массы. Как и следовало ожидать из рисунка 3, она лежит гораздо ниже обеих кривых.

Видно, что при низких температурах, для которых квантовая диффузия одного атома значительно отличается от классической (область квантовой диффузии), наблюдается значительное превышение

молекулярной диффузии над одноатомной. Результаты расчетов дают возможность определить новый эффект: молекулярную резонансную диффузию в твердых телах со следующими свойствами:

- Область температур (энергии): ниже 80 К;
- Превышение над диффузией одного атома: $10^3 \div 10^5$;
- Объекты диффузии: двухатомные молекулы с одинаковыми атомами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования резонансной диффузии можно сделать следующие выводы:

- Численное решение двумерной задачи рассеяния демонстрирует ярко выраженный резонансный характер прохождения барьера связанной парой.

- Резонансная прозрачность барьера для пары частиц значительно превышает одночастичную прозрачность.
- С уменьшением одночастичной прозрачности вклад резонансной прозрачности растет.
- Резонансное прохождение молекулы бериллия через потенциальный барьер высотой 4000 К и шириной 1.6 Å на восемнадцать порядков превышает одночастичное прохождение;
- молекулярная резонансная диффузия в области квантового прохождения барьера значительно выше одночастичной.

Следует отметить, что современный уровень исследований диффузии в твердом теле позволяет наблюдать эти процессы как раз в рассматриваемой области низких температур [5]. Учет эффектов резонансной прозрачности позволит более точно описать процессы диффузии в области низких температур.

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
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. – Vol. 71. – P. 032719-1,10; Goodvin G. L., Shegelski M.R.A., Three-dimensional tunneling of a diatomic molecule incident upon a potential barrier/ G. L. Goodvin, M.R.A. Shegelski // Phys. Rev. A. – 2005. – Vol. 72. – p. 042713-1,7.
4. Френкель, Я.И. Собрание избранных трудов / Т. III: Кинетическая теория жидкостей/ Я.И. Френкель. – Москва-Ленинград: Издательство АН СССР, 1959. – 460 с.
5. Lauhon, L.J. Direct Observation of the Quantum Tunneling of Single Hydrogen Atoms with a Scanning Tunneling Microscope / L. J. Lauhon, W. Ho // Phys. Rev. Letters. – 2000. – Vol. 85, № 21. – P. 4566-4569.

ҚҰРАЛҒАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ ДИФфуЗИЯЛЫҚ ТЕРБЕТІЛІСІ

Красовицкий П.М., Пеньков Ф.М.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Кристал ішіндегі барьер моделіне арналған екі атомды молекулаларының диффузиялық процесі қаралды. Шашыратып таратудағы екі жақты мақсатының санды шешімі бірігіп байланысқан барьерден өтуіндегі ашық көрсетілген тербетіліс сипатының демонстрациясын жасайды. Кванты тербетіліс диффузиясының беріліс молекуласындағы потенциал биіктігі 4000 К және ені 1,6 А болатын барьер бір атомды кванты диффузиядан жоғары.

THE RESONANCE DIFFUSION FOR BOUNDED PARTICLES

P.M. Krassovitskiy, F.M. Pen'kov

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

The processes of two-atomic molecular diffusion have been investigated for the model intracrystalline barriers. The numerical solution of two-dimension scattering problem demonstrates the evident resonance character of the barrier penetrating for a bounded pair. It was shown that the quantum resonance diffusion of the beryllium molecule through the potential barrier, which attitude is 4000 K and width is 1.6 Å, is much more than the quantum one-atom diffusion.

УДК 539.21:539.12.04

ТЕРМИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СЛОИСТЫХ СИСТЕМАХ Fe-Zr

Аргынов А.Б., Жубаев А.К., Русаков В.С., Кадыржанов К.К.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Методами мессбауэровской спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии исследованы слоистые системы Fe(10 мкм)-Zr(2 мкм) и Fe(5 мкм)-Zr(2 мкм), полученные методом магнетронного осаждения и подвергнутые изотермическому отжигу при 900°C длительностью до 35 часов. Установлена последовательность фазовых преобразований. Получено относительное содержание фаз, формирующихся в объеме образцов на каждом из этапов отжига. Показана возможность получения термически стабильной двухфазной системы Fe₃Zr- α -Fe(Zr).

ВВЕДЕНИЕ

Для направленной модификации приповерхностных слоев металлических материалов с целью улучшения их поверхностных свойств широко применяются методы ионно-плазменного нанесения покрытий. Исходное неравновесное пространственное распределение атомных компонентов и последующий термический отжиг приводят к пространственной направленности процесса фазообразования и созданию слоистой системы. Для практического применения таких систем необходимо создать термически стабильное неоднородное распределение фаз по глубине образца. Разработка методов получения пространственно неоднородного распределения фаз, стабильного к воздействию температуры, представляет собой важную задачу. В связи с этим необходимо иметь правильное представление об особенностях термически индуцированных процессов, происходящих в слоистой системе.

Для исследования процессов диффузии и фазообразования в слоистых системах, полученных методом магнетронного осаждения, представляет интерес бинарная система железо-цирконий. Железо является основным компонентом конструкционных материалов. Ци́рконий в свою очередь является важным конструкционным металлом, применяемый в атомной технике. Высокая коррозионная устойчивость в сочетании с механической прочностью, высокой температурой плавления и малым эффективным поперечным сечением поглощения тепловых нейтронов позволили в последнее время широко использовать циркониевые сплавы в реакторостроении.

К середине 90-ых г.г. в ИЯФ НЯЦ РК были проведены исследования ионно-плазменных процессов формирования покрытий, что явилось основой создания многослойных пленочных систем. Использование ионно-плазменного метода осаждения пленок [1] дало возможность получения высококачественных покрытий с заданным химическим составом и фазовым состоянием.

К одной из особенностей бинарной системы Fe-Zr можно отнести малую взаимную растворимость

компонентов, что вызывает интерес с позиции возможности термической стабильности с учетом особенностей диаграммы состояния Fe-Zr.

Стоит отметить один немаловажный факт. Достоверно известно существование трех интерметаллидных фаз в системе Fe-Zr: FeZr₃ (парамагнетик с орторомбической решеткой типа Re₃B), FeZr₂ (парамагнетик с решеткой типа NiTi₂) и Fe₂Zr (ферромагнетик, фаза Лавеса с кубической решеткой типа MgCu₂). Все эти соединения были нами получены в процессе изохронных отжигов системы Fe (10 мкм)-Zr (2 мкм) [2], а так же обнаружен интерметаллид Fe₃Zr (плотнупакованная гцк структура), упоминаемый в работе [3]. Хотя более поздние исследования (например, [4]) не подтвердили образование данной фазы и цирконид Fe₃Zr не был внесен в диаграмму состояния бинарной системы Fe-Zr [5], в данной работе он играет основную роль.

Целью настоящей работы являлись систематические исследования фазово-структурных превращений в α -железе с циркониевым покрытием при термическом воздействии.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения поставленных задач к методике проведения эксперимента предъявлялись определенные требования.

На этапе планирования эксперимента важным является выбор конфигурации исследуемого образца (размеры подложки и толщины слоя циркония). Этот выбор определяется, во-первых, необходимостью обеспечения заданных средних по образцу концентраций циркония и, во-вторых, специфическими особенностями используемых методов анализа. Подложки для исследований были приготовлены из бруска армо-железа (99,8 % Fe) прокаткой на вальцах до толщины ~10 мкм и ~5 мкм и последующего гомогенизирующего отжига при температуре 850°C в течение 2 ч. В таблице 1 показано содержание различных примесей в подложке α -Fe.

Таблица 1. Содержание примесей в подложке из α -Fe.

	C	O	Si	Cu	Mn	Ni	Co	Cr
Содержание (%)	0,036	0,016	0,03	0,026	0,029	0,022	0,011	0,033

Использование тонких фольг в качестве образцов при исследовании термически индуцированных процессов диффузии и фазообразования имеет по сравнению с массивными образцами ряд преимуществ:

1) на порядки величин меньшие времена релаксации неравновесных процессов;

2) возможность комплексного использования неразрушающих методов исследования – мессбауэровской спектроскопии, рентгенофазового анализа и резерфордовского обратного рассеяния нейтронов и др.;

3) возможность определения концентрации примеси и относительного содержания образующихся фаз на поверхности и в объеме образца.

С технологической точки зрения использование магнетронного осаждения позволяет создавать контролируемые по толщине покрытия.

Использование в качестве подложки железа позволяет в полной мере применять уникальные методические возможности методов мессбауэровской спектроскопии. Комбинируя два метода - мессбауэровскую спектроскопию в геометрии «на прохождение» и рентгеновскую дифрактометрию, можно получить качественную и количественную информацию о происходящих фазовых и структурных превращениях в приповерхностных слоях и объеме образца.

Нанесение циркония на подложки из железной фольги проводилось на установке «Аргмак» [6]. Подложка размещались на массивном медном держателе, температура которого вместе с подложкой во время напыления не превышала 150°C. Для лучшей адгезии перед осаждением циркония на этой же установке подложка подвергались травлению ионами аргона в едином вакуумном цикле. Толщина осажденных слоев определялась по току и времени осаждения. Контроль толщины осажденных слоев осуществлялся как весовым методом, так и с помощью резерфордовского обратного рассеяния [7] нейтронов на ускорительном перезарядном комплексе УКП-2-1 ИЯФ НЯЦ РК [8].

Для проведения последовательного изотермического отжига были приготовлены двухслойные системы Zr (2 мкм) - Fe (10 мкм) и Zr (2 мкм) - Fe (5 мкм), соответствующие средней концентрации циркония в объеме образца 9,2% ат. и 16,9% ат. при условии его полного растворения.

Последовательный изотермический отжиг двухслойных систем Fe-Zr осуществлялся при температуре 900°C продолжительностью до 35 часов. Термическая обработка проводилась в вакуумной печи с танталовым нагревателем с остаточным давлением 6×10^{-6} мм рт. ст. Температура контролировалась хромель-алюмелевой термопарой с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$.

Скорость нагрева и охлаждения составляла 10°C/мин.

В качестве неразрушающих методов анализа использовались мессбауэровская спектроскопия и рентгеновская дифрактометрия.

Эффект Мессбауэра представляет собой ядерный метод, широко используемый в исследовании твердых тел. В этом методе ядра, на которых наблюдается резонансное поглощение или рассеяние γ -квантов, является своеобразными зондами, позволяющими получать локальные характеристики вещества. Исследуя изменение этих характеристик в зависимости от внешних воздействий на исследуемый объект (термический отжиг, деформация, облучение и пр.), можно получить качественную и количественную информацию о происходящих фазовых и структурных превращениях.

Перечислим основные параметры мессбауэровского спектра и ту информацию, которую может «нести» в себе каждый из параметров.

Интенсивность (площадь) мессбауэровского спектра I. В случае «тонкого образца», когда справедлив принцип суперпозиции, интенсивность мессбауэровского спектра I может быть использована для проведения качественного и количественного фазового анализа вещества, а также для получения данных об атомном распределении по неэквивалентным позициям в веществе.

Сдвиг мессбауэровской линии δ позволяет идентифицировать валентное состояние атомов, получать информацию, с одной стороны, о фазовом составе исследуемого вещества, а с другой, об особенностях электронной и кристаллической структур исследуемого соединения.

Квадрупольное смещение компонент спектра ε может дать полезную информацию как о симметрии ближайшего окружения мессбауэровских ядер и о числе неэквивалентных позиций, так и об электронной конфигурации и валентности атомов.

Сверхтонкое магнитное поле H_n зачастую является самым чувствительным параметром к дефектам кристаллической структуры, примесным атомам, локальной неоднородности. Величина и направление сверхтонкого поля H_n несут в себе информацию об особенностях электронной и магнитной структур исследуемого объекта и могут быть использованы, в частности, для идентификации парциальных спектров и определения числа магнитных подрешеток.

Ширина компонент спектра Γ может содержать в себе информацию о таких факторах, как неоднородность состава, отклонение от стехиометрии, нарушения структурного и магнитного упорядочения.

Сверхтонкие мессбауэровские параметры H_n , δ , ε , и Γ чрезвычайно чувствительны к малейшим изменениям в окружении атома ^{57}Fe : примесные атомы замещения или внедрения; уменьшение или увеличение плотности электронов в окружении ядра и т. д. Таким образом можно однозначно определить фазовый состав исследуемого образца. Метод обработки экспериментальных спектров более подробно рассмотрен в работе [9].

Для каждого из исследованных образцов снимались мессбауэровские спектры методом регистрации γ -квантов с энергией 14,4 КэВ в геометрии “на поглощение” (МС). В данном случае мессбауэровская спектроскопия дает информацию о фазовом состоянии, усредненную по всей толщине образца. В исследованиях использован источник ^{57}Co в матрице St активностью 10 мКи.

Исходя из задачи эксперимента, был использован мессбауэровский спектрометр MS1104E, который предназначен для автоматической регистрации ядерных гамма-резонансных спектров эмиссии, пропускания и рассеяния при проведении широкого круга физико-химических исследований.

Метод рентгеновской дифрактометрии использовался в экспериментах в качестве дополнительного метода. Рентгенофазовый анализ образцов выполнен на дифрактометре D8 ADVANCE на излучении $\text{CuK}\alpha$. Измерения проводились в геометрии Брэгга-Брентано с обеих сторон образца. Идентификация кристаллических фаз проводилась с использованием картотеки порошковых рентгенограмм ASTM и JCPDS.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1а представлены характерные мессбауэровские спектры слоистой системы $\text{Zr}(2\text{ мкм}) - \text{Fe}(10\text{ мкм})$ подвергнутой последовательному изотермическому отжигу. После отжига при 900°C длительностью 2 часа в МС-спектре на фоне линий от $\alpha\text{-Fe}$ наблюдается появление совокупности дополнительных секстетов ферромагнитной фазы с существенно меньшими ($\overline{H}_n \sim 206\text{ кЭ}$) сверхтонкими полями. Были восстановлены функции распределения сверхтонкого магнитного поля на ядрах ^{57}Fe для экспериментальных спектров (рисунк 1б, в). Видно, что восстановленная функция распределения имеет несколько плохо разрешенных максимумов, значения полей которых могут быть отнесены к интерметаллидам Fe_2Zr и Fe_3Zr . По мере увеличения времени отжига происходит постепенное разделение максимумов в распределении, которое после тридцатичасового отжига имеет четырехмодальный вид. Похожая картина наблюдается и для системы $\text{Zr}(2\text{ мкм}) - \text{Fe}(5\text{ мкм})$ (рисунк 2). Однако величина вклада парциальных спектров от интерметаллидных фаз значительно выше (рисунк 2б), к тому же максимумы в распределении хорошо разрешены. Во всех спектрах основной составляющей является зеemannовский секстет (рисунки 1а, 2а), относящийся

к ядрам ^{57}Fe в подложке армко-железа и имеющий значение сверхтонкого магнитного поля $\overline{H}_n \sim 330,8\text{ кЭ}$ (рисунк 1в, 2в).

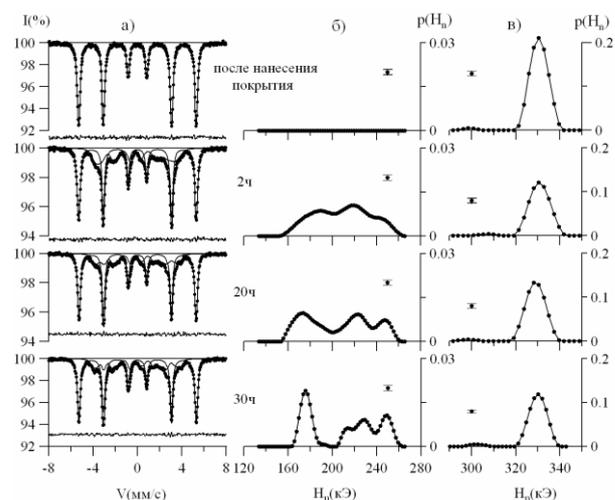


Рисунок 1. Характерные МС-спектры и функции распределения сверхтонкого магнитного поля на ядрах ^{57}Fe слоистой системы $\text{Zr}(2\text{ мкм}) - \alpha\text{-Fe}$ (10 мкм), полученные при изотермическом отжиге

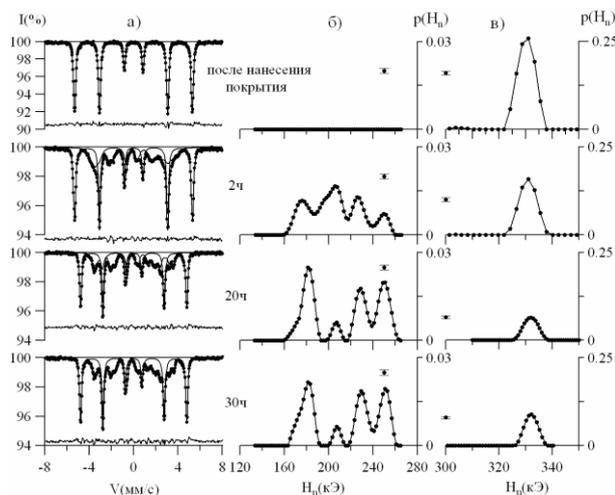


Рисунок 2. Характерные МС-спектры и функции распределения сверхтонкого магнитного поля на ядрах ^{57}Fe слоистой системы $\text{Zr}(2\text{ мкм}) - \alpha\text{-Fe}$ (5 мкм), полученные при изотермическом отжиге

Известно [10], что атомы железа в соединении Fe_2Zr занимают две неэквивалентные позиции с разным значением угла α (0° и $72^\circ 32'$) между направлением градиента аксиально-симметричного электрического поля и магнитным полем на ядре. Вследствие этого, мессбауэровский спектр данного интерметаллида представляет собой суперпозицию двух секстетов с эффективными магнитными полями на ядрах ^{57}Fe $H_n = 190 \pm 5\text{ кЭ}$ и $H_n = 200 \pm 5\text{ кЭ}$ с отношением интенсивностей 1:3. Исследование [3] показало, что мессбауэровский спектр Fe_3Zr также имеет сложный вид и является суперпозицией трех

секстетов со сверхтонкими полями $H_n=180\pm 5$ кЭ, $H_n=224\pm 5$ кЭ и $H_n=241\pm 5$ кЭ с отношением интенсивностей 2:1:1. Стоит отметить, что структура соединения Fe_3Zr до конца не изучена. Авторами работы [11] данный интерметаллид отнесен к структурному типу Ti_6Mn_{23} с плотноупакованной ГЦК структурой.

Ввиду близости значений сверхтонких полей для Fe_2Zr и Fe_3Zr , возникает сложность в определении величины вклада каждой из фаз. Для решения этой проблемы была проведена дополнительная обработка распределения сверхтонкого магнитного поля для интерметаллидов (рисунок 1б) как экспериментального спектра. На рисунке 3 представлен результат обработки распределения сверхтонкого поля для слоистой системы Fe-Zr в модели пяти линий: дублета (Fe_2Zr) и триплета (Fe_3Zr).

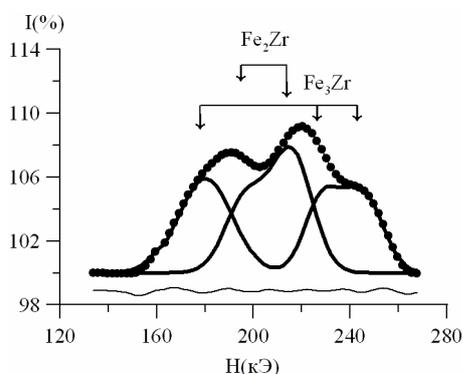


Рисунок 3. Результат модельной расшифровки функции распределения эффективного магнитного поля $p(H_n)$ слоистой системы $Zr(2 \text{ мкм})-\alpha-Fe(10 \text{ мкм})$ ($T_{отж}=900^\circ\text{C}$, $t_{отж}=2h$)

Такой обработке были подвергнуты распределения для всех мессбауэровских спектров. На основании полученных данных были построены зависимости относительных интенсивностей парциальных спектров $\alpha-Fe$ и интерметаллидов (рисунок 4). Так как интенсивность спектра для достаточно тонких ($d\leq 10\text{мкм}$) образцов в общем случае пропорционально числу мессбауэровских ядер, то, в предположении равенства вероятностей эффекта Мессбауэра (f) различных неэквивалентных позиций, относительная интенсивность парциального спектра равна относительной заселенности мессбауэровскими атомами этих позиций. Поэтому полученные зависимости можно интерпретировать как зависимости относительного содержания фаз в атомных единицах железа.

На рисунке 4а видно, что уже после первого отжига содержание $\alpha-Fe$ в образце понизилось от 100% до 70%. При дальнейшем увеличении времени отжига этот вклад претерпевает лишь незначительные изменения. Последующий термический отжиг при 900°C слоистых систем $Zr(2 \text{ мкм})-Fe(10 \text{ мкм})$ и $Zr(2 \text{ мкм})-Fe(5 \text{ мкм})$ вызывают одновременное образование интерметаллидных фаз Fe_2Zr и Fe_3Zr .

Увеличение времени отжига до $t_{отж}=35$ ч приводит к постепенному уменьшению вклада от Fe_2Zr до значения 1,92% для обеих систем. Таким образом, мы наблюдаем практически полное исчезновение интерметаллида Fe_2Zr . Этот процесс сопровождается увеличением вклада от фазы Fe_3Zr до 26,7% и 42,5% для систем $Zr(2 \text{ мкм})-\alpha-Fe(10 \text{ мкм})$ и $Zr(2 \text{ мкм})-\alpha-Fe(5 \text{ мкм})$ соответственно. Суммарная интенсивность парциальных спектров Fe_2Zr и Fe_3Zr в процессе эксперимента практически не изменяется.

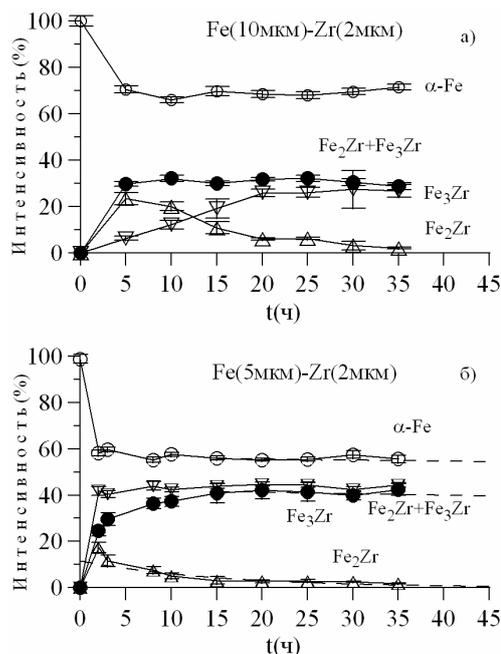


Рисунок 4. Зависимости относительных интенсивностей парциальных МС-спектров фаз I в слоистых системах Fe-Zr ($T_{отж}=900^\circ\text{C}$)

В результате анализа зависимостей относительных интенсивностей парциальных спектров от времени отжига видно, что наблюдается согласие с диаграммой состояния системы Fe-Zr [5]. Действительно, в соответствии с фазовой диаграммой при температуре 900°C в образце возможны процессы образования только двух интерметаллидных фаз Fe_2Zr и Fe_3Zr . При большой локальной концентрации атомов циркония в $\alpha-Fe$ образуется фаза Fe_2Zr . С увеличением времени отжига $t_{отж}$, в процессе диффузии локальная концентрация циркония в слое, содержащем атомы Zr, уменьшается. С уменьшением концентрации циркония система все больше переходит в область существования фазы Fe_3Zr и $\alpha-Fe$.

Так как использованный нами метод мессбауэровской спектроскопии в геометрии «на поглощение» дает информацию о фазовых превращениях в объеме образца, были проведены рентгенофазовые исследования (в интервале углов рассеяния $30^\circ\leq 2\theta\leq 85^\circ$) поверхности обеих сторон образца.

На дифрактограммах, полученных после двухчасового отжига при 900°C , видно наличие рефлексов

обеих интерметаллидных фаз (Fe_2Zr и Fe_3Zr) и α -Fe (рисунок 5 б, 6 б). В дальнейшем, с увеличением продолжительности отжига можно наблюдать заметное уменьшение интенсивности рефлексов интерметаллида Fe_2Zr , вплоть до полного исчезновения при 30 ч. На всех дифрактограммах отмечено присутствие рефлексов оксида циркония ZrO_2 , однако следует заметить, что увеличения относительной интенсивности оксида не происходит.

На рисунках 5 д и 6 д приведены рентгеновские дифрактограммы, полученные с обратной стороны образцов. Наличие рефлексов α -Fe подтверждает факт стабилизации интерметаллида Fe_3Zr на поверхности твердого раствора α -Fe(Zr).

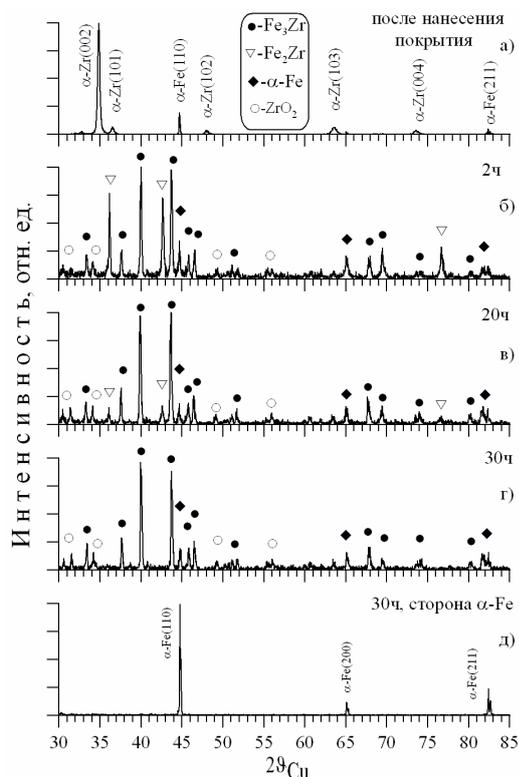


Рисунок 5. Рентгеновские дифрактограммы слоистой системы Zr(2 мкм) - α -Fe(10 мкм), полученные после изотермического отжига при 900°C

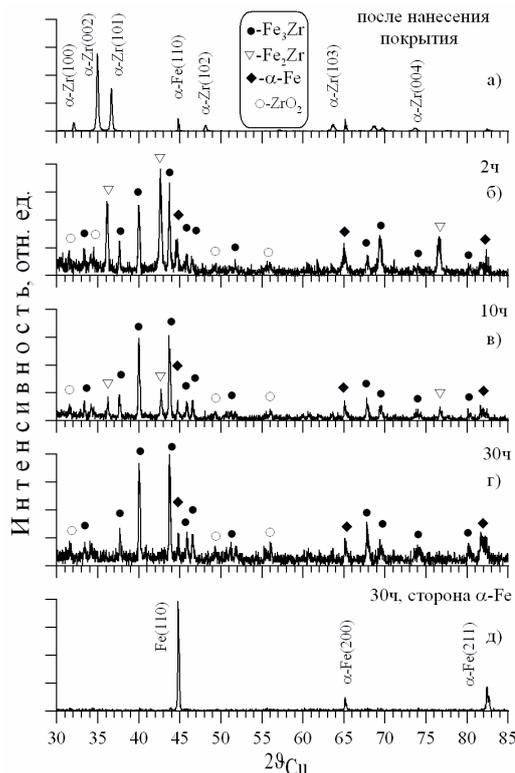


Рисунок 6. Рентгеновские дифрактограммы слоистой системы Zr(2 мкм) - α -Fe(5 мкм), полученные после изотермического отжига при 900°C

Выводы

В результате проведенных исследований:

1. установлена последовательность фазовых преобразований в слоистых системах Fe-Zr, подвергнутых изотермическому отжигу
2. получено относительное содержание фаз, формирующихся в объеме образца на каждом из этапов отжига;
3. показано, что направленность фазовых превращений определяется изменением локальной концентрации компонентов в образце в процессе их взаимной диффузии.
4. предложена оригинальная модель расшифровки функций распределения сверхтонкого магнитного поля для интерметаллидных железосодержащих фаз;
5. показана возможность получения термической стабилизации интерметаллидной фазы Fe_3Zr на подложке из армко-железа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изучение физических основ ионно-лучевых технологий для получения стойких поверхностных слоев конструкционных материалов: отчет о НИР / рук. К.К. Кадыржанов.- Алма-Ата, 1992, 36с.
2. Фазовые превращения в железе с циркониевым покрытием при изохронных термических отжигах. / А.Б. Аргынов [и др.] // Изв. МОН-НАН РК. Сер. физ. - мат.- 2005.- т.2.- С.110.
3. Nucl. Instr. Meth. / М. Ghafari [et al.] - 1982.- V.199. - P.197.
4. Z. Metallkunde. / F. Aubertin [et al.] - 1985 - Bd.76.N 4. - S.237.
5. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: в 3 т./ Н.П. Лякишев - М.: Машиностроение, 1997. - 586 с.
6. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов. / К. К. Кадыржанов [и др.] - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 640с.

7. Backscattering spectrometry / C. Wei-Kan [et al.] - Academic Press, N.-Y., 1978.
8. Proc. XIII particle acceleration conference / A.A. Arzumanov [et al] // Dubna. Russia. - v.1. - p.118.
9. Изв. РАН, Сер. физ. / Русаков В.С. // 1999. - Т.63. - №7. - С.1389.
10. J. Magn. Magn. Mater. / F. Congiu [et al.] // 2004. - Vol.272-276. - e1123.
11. Ж. неорг. хим. / В.Н. Свечников [и др.] // 1963. - т.8. - №9. - с.2118.

Fe-Zr ҚАБАТТЫ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ҚЫЗУМЕН ИНДУКЦИЯЛАНҒАН ФАЗАЛЫҚ ТҮРЛЕНУЛЕР

Аргынов А.Б., Жұбаев А.Қ., Русаков В.С., Қәдіржанов Қ.К.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Магнетрондық тұндырумен жасалған Fe(10 мкм)-Zr(2 мкм) және Fe(5 мкм)-Zr(2 мкм) қабатты жүйелерінде 900°C температурасында 35 сағатқа дейін ұзактылығымен изотермиялық өңдеулерден кейін мессбауэрлік спектроскопия және рентген дифракция әдістерімен зерттелді. Фазалық түрленулердің жүйелілігі және үлгілердің көлемінде темірлі фазалардың салыстырма мөлшері айқындалды. Термикалық тұрақты Fe₃Zr-α-Fe(Zr) екі фазалық жүйенің өндіру мүмкіндігі көрсетілді.

THERMALLY INDUCED PHASE TRANSFORMATIONS IN Fe-Zr LAMELLAR SYSTEMS

A.B. Argynov, A.K. Zhubaev, V.S. Rusakov, K.K. Kadyrzhanov

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Fe(10 μm)-Zr(2 μm) and Fe(5 μm)-Zr(2 μm) lamellar systems, obtained by magnetron sputtering and subjected to consequent isothermal annealing at 900°C during up to 35 hours, were investigated by methods of Mossbauer spectroscopy and XRD. The sequence of phase transformations was established. The abundance of the phases formed in volume of a sample, on each of stages of annealing, was obtained. It was shown that the creation of thermally stable Fe₃Zr-α-Fe(Zr) two-phase system is possible.

УДК: 621.039.61:58.34.03

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ LiD -КОНВЕРТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

Кимолаев Ж.Б., Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Прозорова И.В.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В работе представлены результаты оценки эффективности литий-дейтериевого конвертора тепловых нейтронов в быстрые в экспериментальном канале реактора ИВГ.1М (г.Курчатов). Оцененное значение коэффициента конверсии составило порядка 10^{-4} . Найденное значение имеет порядок полученных ранее значений этой величины [2-6]. Отличием от ранее проведенных экспериментов является применение литий-дейтериевого конвертора с естественным обогащением.

Выполнение работы проводится экспериментально-расчетным методом. На первом этапе проведены экспериментальные исследования по определению поля конверторных нейтронов при помощи активационного метода. На втором этапе проводятся работы по определению численного значения коэффициента конверсии методом Монте-Карло.

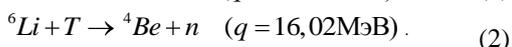
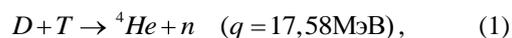
На данном этапе работы по определению числового значения коэффициента конверсии незакончено, но оценка эффективности конвертора показывает, что экспериментальное устройство с литий-дейтериевым конвертором в экспериментальном канале реактора ИВГ.1М является доступным источником быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрые нейтроны (с энергией выше 10 МэВ) используются при экспериментальных исследованиях во многих направлениях фундаментальной и прикладной физики. К ним относятся изучение переноса нейтронов, измерение нейтронных сечений, определение состава и свойств радиационной защиты, активационных анализ и др. Потребность в быстрых нейтронах удовлетворяется в основном с помощью нейтронных генераторов, представляющих собой ускорители ионов дейтерия, направляемых на тритиевую мишень. В ядерных реакторах, служащих основным инструментом для проведения экспериментальных исследований, доля нейтронов реакторного спектра с энергией более 14 МэВ не превышает 0,01 %. Поэтому возникает потребность в увеличении доли нейтронов с энергией более 14 МэВ в экспериментальных каналах реакторов.

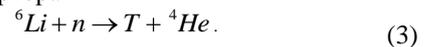
В данной работе рассмотрен один из принципов формирования источника быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ – при помощи двухступенчатой конверсии в специальных конверторах. Впервые на возможность конвертирования нейтронов при помощи конверторов из гидрида и дейтерида (LiD) лития было указано в работе [1], а затем более подробно она была изучена в работах [2-6]. Обзор работ по этому направлению приведен в работе [7].

Быстрые нейтроны образуются в результате экзотермических реакций синтеза ядер дейтерия D и лития 6Li с быстрыми ядрами трития T :



Получение конверторных нейтронов происходит по реакциям (1), (2). Источником быстрых ядер три-

тия служит (n, α) -реакция на ядрах лития 6Li материала LiD -конвертора:



При этом, энергия вылетающих ядер трития равна $\sim 2,74$ МэВ – достаточно для преодоления кулоновского барьера взаимодействия с ядрами дейтерия и лития. Сечение реакции (3) на тепловых нейтронах $\sigma^{th} = 950 \cdot 10^{-24}$ см² [8].

Возможности применения LiD -конвертора определяются его эффективностью, которая согласно работы [7] характеризуется отношением скорости генерации $R_{ген}$ быстрых нейтронов в конверторе к скорости поглощения R_a тепловых нейтронов:

$$K^{LiD} = R_{ген} / R_a. \quad (4)$$

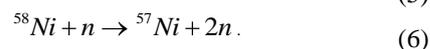
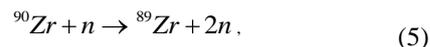
Максимальное значение коэффициента конверсии достигнуто в работе [6], где представлены результаты измерения эффективности литий-дейтериевого конвертера с обогащением по литию 6Li в экспериментальном канале реактора ИВВ-2М. В этой работе значение коэффициента конверсии $K = 3,47 \cdot 10^{-4}$, что в 1,7 раза превышает ранее измеренное значение этой величины работы [2] и примерно на 20% выше максимальной расчетной оценки K для 6LiD -конвертера, исследуемого в работах [3, 4].

В связи с этим, в ИАЭ были проведены эксперименты с твердотельным LiD -конвертором в экспериментальном физическом канале (ФКЭ) реактора ИВГ.1М (г. Курчатов). Реактор ИВГ.1М – исследовательский водо-водяной гетерогенный корпусной ядерный реактор на тепловых нейтронах с легководным замедлителем и теплоносителем и бериллиевым отражателем нейтронов [например, 9].

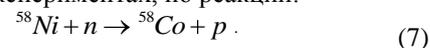
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Физические исследования проводились при помощи активационного метода. Определение поля быстрых нейтронов проводилось путем регистрации гамма-излучения продуктов активации ядер материалов активационных индикаторов (АИ). АИ для определения поля конверторных нейтронов необходимо было выбирать с соответствующим порогом активации.

В качестве АИ были выбраны фольги из естественных циркония и никеля. Реакции активации для выбранных материалов были следующими:



АИ из никеля был выбран также для мониторинга уровней мощности реактора, осуществленных в разных экспериментах, по реакции:



Ядерно-физические характеристики используемых АИ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики активационных пороговых индикаторов [8, 10, 11]

Реакция	Содержание изотопа в естественной смеси η , %	Период полураспада $T_{1/2}$, ч	Порог реакции $E_{эфф}$, МэВ	Сечение реакции $\sigma_{эфф}$, мб	Энергия гамма-квантов E_γ , кэВ	Выход гамма-квантов на распад p , %
$^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}$	51,50	78,4	12,2	790	909,2	99,87
$^{58}\text{Ni}(n,2n)^{57}\text{Ni}$	67,76	36,2	12,6	30	1377,6	80
$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	67,76	1694,9	2,6	335	810,8	99,5

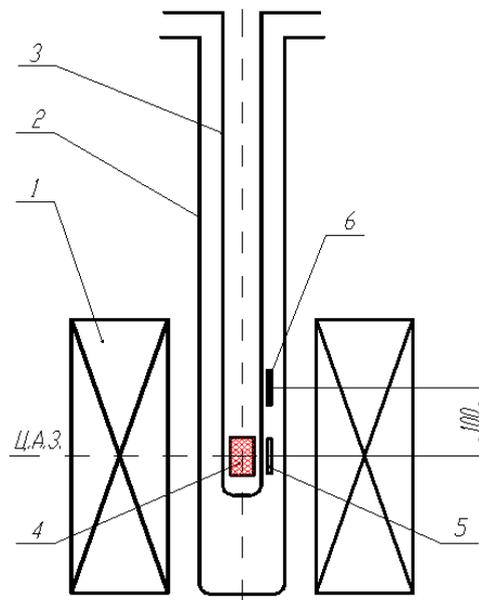
Эксперименты по облучению твердотельного LiD-конвертера проводились в ФКЭ реактора ИВГ.1М с использованием ампульного устройства (АУ) «ИНЕШ». Экспериментальное устройство представляет собой ампулу с закрепленными на ней АИ. В ходе выполнения физических исследований была проведена серия из четырех экспериментов. В двух экспериментах ЭУ снаряжалось образцом из дейтерида лития. В двух других для сравнительной оценки потока реакторных нейтронов с энергией свыше 12,2 МэВ в ФКЭ было установлено АУ без образца из дейтерида лития.

В эксперименте №1 предварительно в АУ был получен образец дейтерида лития LiD, путём насыщения металлического лития в среде газообразного дейтерия при температуре лития около 400°C. Образец дейтерида лития LiD представляет собой цилиндр высотой 15 и диаметром 7,5 мм. Для эксперимента был использован литий с естественным изотопным составом, что является одной из отличительных особенностей проведенных исследований по сравнению с ранее проведенными. Масса облучаемого образца составила 0,463 г. АУ с LiD-конвертором было размещено в алюминиевом чехле охлаждения, установленном в ФКЭ таким образом, что образец находился во время облучения на уровне центра активной зоны. Полость АУ была заполнена газообразным дейтерием под давлением 640 Торр. Снаружи АУ охлаждалось азотом под нормальным давлением. Схема размещения АУ «ИНЕШ» в ФКЭ представлена на рисунке 1.

В экспериментах №2 и №3 в ФКЭ было установлено АУ без образца из дейтерида лития. В эксперименте №2 в полости АУ находился воздух при атмосферном давлении, а в эксперименте №3 – полость АУ была заполнена газообразным водородом под давлением 40 Торр. В отличие от экспериментов

№1 и №2 на наружной поверхности АУ в нижней его части (между АУ и кожухом охлаждения) был установлен омический нагреватель. Схема размещения АУ в ФКЭ была одинаковой во всех пусках.

Эксперимент №4 был проведен с LiD-конвертором. Образец дейтерида лития был получен таким же образом, как и в эксперименте №1, и представлял собой цилиндр высотой 20 и диаметром 7,7 мм массой 0,365 г по ^6Li . Давление газообразного дейтерия в полости АУ составило 130 Торр. Условия облучения были такими же, как и на пуске №1.



1 – активная зона; 2 – экспериментальный канал;
3 – ампульное устройство; 4 – конвертор;
5 – измерительная кассета; 6 – фоновая кассета

Рисунок 1. Схема экспериментального устройства

ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

АИ быстрых нейтронов были установлены снаружи ампульного устройства. В качестве АИ использованы индикаторы в виде фольги из элементов с естественным изотопным составом: из циркония и никеля (эксперименты №1, №2 и №3) и циркония (№4). АИ размещались в двух кассетах: измерительной – К1 и фоновой – К2. Фоновая кассета К2 была установлена с целью определения потока реакторных нейтронов. Кассета К1 была размещена на уровне центра активной зоны реактора. Фоновая кассета была размещена на расстоянии 100 мм выше центральной части кассеты К1 (рисунок 1).

Перед облучением в реакторе индикаторы взвешивались, определялась их толщина. Основные физические характеристики индикаторов, установленные в кассетах К1 и К2 приведены в таблице 2.

Измерения активностей продуктов реакции (5) – (7) проводились с использованием спектрометрического комплекса «Canberra InSpector» с полупроводниковым детектором из особо чистого германия. Условия гамма-спектрометрических измерений выбирались в зависимости от активности индикаторов

и фоновых условий. Измерения активности АИ проводились в низкофоновой защите после выдержки 20 – 50 часов с момента окончания облучения. Время экспозиции выбиралось в зависимости от заданной статистической погрешности при определении площади пика полного поглощения, и составило от 26000 до 30600 с. Расстояние от АИ до крышки полупроводникового детектора составило для всех измерений 50 мм. Перед измерением активности АИ была выполнена калибровка спектрометра по энергии гамма-квантов диапазоне от 5 кэВ до 2 МэВ и определена эффективность регистрации гамма-квантов с энергией $E_{\gamma} = 909,2$ кэВ.

В ходе выполнения физических исследований по определению поля конвертерных нейтронов получены экспериментальные значения удельной активности в АИ A , приведенные к моменту окончания облучения и нормированные на единицу массы индикатора, соответствующие им значения скорости реакции Q и плотности потока нейтронов $\varphi(E_{эфф})$ с энергией $E > E_{эфф}$. Результаты исследований, приведенные к одинаковым условиям облучения, представлены в таблице 3.

Таблица 2. Основные физические характеристики АИ

Состав АИ	Толщина, г/см ²	Масса индикатора, мг							
		Эксперимент №1		Эксперимент №2		Эксперимент №3		Эксперимент №4	
		К1	К2	К1	К2	К1	К2	К1	К2
Цирконий	0,0667	0,131	0,112	0,065	0,064	0,042	–	0,182	0,195
Никель	0,167	0,131	–	0,131	0,131	0,131	–	–	–

Таблица 3. Экспериментальные значения удельной активности A активационных индикаторов на момент облучения, скорость реакции Q и плотность потока нейтронов $\varphi(E_{эфф})$ с энергией $E > E_{эфф}$ в измерительной (К1) и фоновой кассетах (К2)

Реакция	$A, \times 10^5$ Бк/г		$Q, \times 10^{-14}$ с ⁻¹		$\varphi, \times 10^{10}$ н/(см ² ·с)	
	К1	К2	К1	К2	К1	К2
Эксперимент №1						
⁹⁰ Zr (n, 2n) ⁸⁹ Zr	0,990	0,878	0,224	0,198	0,286	0,248
⁵⁸ Ni (n, 2n) ⁵⁷ Ni	0,145	-	0,007	-	0,248	-
⁵⁸ Ni (n, p) ⁵⁸ Co	49,0	-	115,2	-	343,8	-
Эксперимент №2						
⁹⁰ Zr (n, 2n) ⁸⁹ Zr	7,182	7,063	0,157	0,155	0,199	0,195
⁵⁸ Ni (n, 2n) ⁵⁷ Ni	1,251	1,044	0,006	0,005	0,207	0,177
⁵⁸ Ni (n, p) ⁵⁸ Co	506,4	480,7	115,3	109,3	343,8	327,1
Эксперимент №3						
⁹⁰ Zr (n, 2n) ⁸⁹ Zr	18,537	-	0,155	-	0,197	-
⁵⁸ Ni (n, 2n) ⁵⁷ Ni	2,972	-	0,006	-	0,186	-
⁵⁸ Ni (n, p) ⁵⁸ Co	1325,5	-	114,9	-	343,8	-
Эксперимент №4						
⁹⁰ Zr (n, 2n) ⁸⁹ Zr	0,804	0,669	0,179	0,149	0,227	0,189

Данные об активации никеля в реакции (6) не были получены из-за высокого уровня гамма-излучения при измерениях и поэтому не представлены в таблице.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Оцененное значение коэффициента согласно работ [3, 6] конверсии можно получить по формуле

$$K_{оц} \approx \varphi_{быст} / \varphi_{тепл}, \quad (8)$$

где $\varphi_{быст}$ – плотность потока конверторных нейтронов, н/(см²·с);

$\varphi_{тепл}$ – плотность потока тепловых нейтронов в месте расположения конвертора, н/(см²·с);

Полагаем, что на процесс активации АИ быстрыми нейтронами отдельно влияют реакторное и конверторное нейтронные излучения. Из таблицы 3 видно, что на процесс активации в месте расположения фоновой кассеты К2 кроме реакторных нейтронов влияют и конверторные нейтроны (экспери-

мент №1). Тогда плотность потока конверторных нейтронов равна разности плотностей потока быстрых нейтронов, полученной в эксперименте №1, и быстрых реакторных нейтронов, полученной в эксперименте №2. Т.е. плотность потока конверторных нейтронов составила $\sim 0,9 \cdot 10^9$ н/(см²·с).

Плотность потока тепловых нейтронов в месте расположения конвертора была рассчитана методом Монте-Карло [13] и составила $\sim 5,2 \cdot 10^{12}$ н/(см²·с). Тогда по формуле (8) получим оцененное значение коэффициента конверсии, которое составляет $\sim 1,7 \cdot 10^{-4}$. Найденное оцененное значение коэффициента конверсии имеет порядок найденных ранее [2-6] измеренных значений величины коэффициента конверсии.

Для численного определения нахождения коэффициента конверсии по формуле (4) необходимо найти величины скорости поглощения тепловых нейтронов в конверторе и скорости генерации конверторных нейтронов. Скорость поглощения тепловых нейтронов в конверторе R_a , с⁻¹, определяется по формуле

$$R_a = \int \Sigma_a(E) \varphi(E) dE, \quad (9)$$

где E – энергия нейтронов, Дж; $\Sigma_a(E)$ – макроскопическое сечение поглощения нейтронов с энергией E в материале конверторе, см⁻¹; $\varphi(E)$ – плотность потока нейтронов с энергией E , н/(см²·с).

Скорость генерации связана со скоростью активации АИ конверторными нейтронами следующим образом

$$R_{ген} = f^{-1} \cdot Q^{LiD}; \quad (10)$$

где f – характерная функция, связывающая скорость реакции активации со скоростью генерации конверторных нейтронов.

Полагаем, что на процесс активации АИ быстрыми нейтронами отдельно влияют реакторное и конверторное нейтронные излучения. Поэтому скорость активации Q , с⁻¹, АИ, полученную в эксперименте №1, можно представить в виде суммы

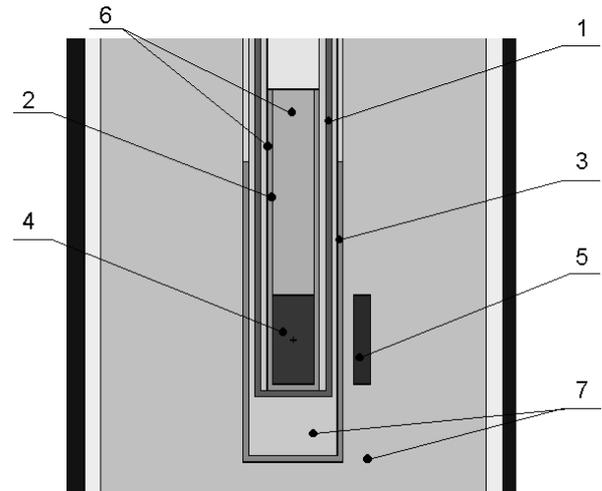
$$Q = Q^p + Q^{LiD}, \quad (11)$$

где Q^p – скорость активации АИ реакторными нейтронами, с⁻¹, полученная в эксперименте №2; Q^{LiD} – скорость активации АИ конверторными нейтронами, с⁻¹;

Откуда скорость активации АИ конверторными нейтронами можно определяется как

$$Q^{LiD} = Q - Q^p. \quad (12)$$

Для решения задачи нахождения функции g была создана модель, имитирующая источник быстрых нейтронов (1), (2). Характеристики модели были следующие: материал генерирующего слоя – дейтерид лития, выход нейтронов Φ , с⁻¹, равный скорости генерации $R_{ген}$ быстрых нейтронов в конверторе. Модель источника изображена на рисунке 2. Спектр рождающихся нейтронов в результате реакций (1), (2) взят из работ [6, 12].



1 – ампульное устройство; 2 – циркониевый «стаканчик»; 3 – чехол охлаждения; 4 – источник конверторных нейтронов; 5 – активационный индикатор; 6 – пространство, заполненное дейтерием; 7 – пространство, заполненное азотом

Рисунок 2. Расчетная модель переноса конверторных нейтронов

При этом ставилась следующая задача: варьируя значениями выхода нейтронов определить скорость активации (5) – (7) АИ в месте его расположения в следующем виде:

$$Q_{AI}^{LiD} = g(\Phi) \cdot \Phi; \quad (13)$$

Построив зависимость вида (13), определяем функцию $g(\Phi)$ аппроксимацией полученных значений g . Из этой зависимости можно определить выход нейтронов Φ , т.е. скорость генерации нейтронов в LiD-конверторе.

При создании модели были сделаны следующие допущения. Распределение мест рождения нейтронов в LiD-источнике описывается законом выхода ядер трития в конверторе. Выходы нейтронов, рождающихся по реакциям (1) и (2) равномерно распределены. Влияние реакторного излучения на материалы конструкций экспериментального устройства не учитывается.

Данный метод расчета применим в данном случае, так как можно отдельно выделить влияние конверторного и реакторного нейтронного излучения на АИ.

Моделирование переноса нейтронов от источника к АИ осуществляется по трехмерной программе MCNP5 с нейтронными константами ENDF/B-VI методом Монте-Карло с учетом реального окружения источника. Расчетная конфигурация модели LiD-источника быстрых нейтронов для программы MCNP5 максимально соответствует реальной конструкции LiD-конвертора в ФКЭ реактора. Модель LiD-источника передает все основные особенности реального LiD-конвертора.

Поставленная задача является незаконченной и на данный момент ведутся работы по реализации заданной задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы проведены физические и теоретические исследования для оценки эффективности *LiD*-конвертора для получения быстрых нейтронов в экспериментальном канале реактора ИВГ.1М.

Физические исследования выполнялись с применением активационных индикаторов, выполнена количественная оценка плотности потока конвертерных нейтронов.

В процессе определения эффективности конвертора была разработана расчетная конфигурация модели переноса нейтронного излучения от *LiD*-источника к АИ для определения скорости генерации быстрых нейтронов с энергией ~14,1 МэВ.

По результатам физических исследований были сделаны следующие выводы:

1. Оценка коэффициента конверсии составила $\sim 10^{-4}$, что хорошо согласуется с ранее найденными значениями коэффициента конверсии.

2. Использование *LiD*-конвертера в качестве источника быстрых нейтронов возможно и подтверждено настоящими исследованиями. Плотность потока конвертерных нейтронов составила $0,9 \times 10^9$ н/(см² × с) при этом суммарная плотность потока быстрых нейтронов с энергией свыше 12,5 МэВ – $0,29 \times 10^{10}$ н/(см² × с) при уровне мощности реактора 6,0 МВт.

3. Значения скорости реакции, определённые для АИ из циркония и никеля в экспериментах №2 и №3 в отсутствие *LiD*-конвертера совпадают в пределах погрешности, что говорит о сходимости результатов измерения плотности потока быстрых нейтронов.

4. Чувствительность активационного метода измерения плотности потока быстрых нейтронов с энергией свыше 12,5 МэВ с помощью индикаторов из циркония достаточна для детектирования быстрых нейтронов в экспериментальном канале реакторе ИВГ.1М при выбранном режиме облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Almquist, E. Fast neutron from T+D and T+Li reactions / E. Almquist // Can. J. Res. – 1950. – Vol. 28A. – P. 433.
2. Design of an In-Core Fast Neutron Generator / B. Napier [et al.] // Nucl. Instr. Meth. – 1976. – Vol. 138. – P. 463.
3. Miller, W. Thermal Neutron Driven 14.1 MeV Neutron Generators / W. Miller, W. Law, R. Brugger // Nucl. Instrum. Meth. – 1983. – Vol. 216. – P. 219.
4. Perry, R. T. A 14 MeV Neutron Source / R. T. Perry, T.A. Parish, W. B. Wilson // Fusion Technology. – 1985. – Vol. 8, № 1, Part 2B. – P. 1454.
5. Конвертирование нейтронов реакторного спектра в нейтроны с энергией выше 10 МэВ / М. И. Рождественский [и др.] // Труды конференции по нейтронной физике. – Киев. – 1987.
6. Измерение эффективности ⁶LiD-конвертера тепловых нейтронов в нейтроны с энергией 14 МэВ в экспериментальном канале реактора ИВВ-2М / Ю. Н. Зуев [и др.] // Атомная энергия – 2002. – Т. 92, вып. 3. – С. 226 – 232.
7. Рождественский, М. Конвертирование тепловых нейтронов в быстрые с энергией 14,1 МэВ / М. Рождественский, Л. Точный, Л. Чупова. // Атомная техника за рубежом. – 1986. – № 1. – С. 22–27.
8. Сечения пороговых реакций, вызываемых нейтронами. Справочник. / В. М. Бычков [и др.] – М. : Энергоатомиздат, 1982.
9. Исследовательские реакторы ИГР, ИВГ.1М, РА. Опыт эксплуатации и экспериментальные исследования. Часть II. Реактор ИВГ.1 (ИВГ.1М). Аналитический обзор // ИАЭ НЯЦ РК, 1994. – 97 с.
10. Ломакин, С. С. Радиометрия нейтронов активационным методом / С. С. Ломакин, В. И. Петров, П. С. Самойлов. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 144 с.
11. Овечкин, В. В. Уточнение сечений реакций быстрых нейтронов на ⁹⁰Zr и ⁹¹Zr с образованием нуклидов в изомерном состоянии / В. В. Овечкин, А. Е. Хохлов // Атомная энергия – 1986. – Т. 60, вып. 2. – С. 143 – 144.
12. Таблицы физических величин. Справочник / И.К. Кикоин. – М. : Атомиздат, 1976. – 1008 с.
13. RSIC Computer Code Collection, MCNP – 4A. Monte – Carlo N – Particle Transport Code Sistem // Oac Ridje National Laboratory, 1997.

ЖЫЛДАМ НЕЙТРОНДАРДЫ АЛУ ҮШІН LiD-КОНВЕРТОРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Кимлаев Ж.Б., Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Прозорова И.В.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатова, Қазақстан

Бұл жұмыста ИВГ.1М реакторында (Курчатова) эксперименталды арнасында, жылдам нейтрондарды жылулық нейтронға литий-дейтерийлік конвертор тиімділігін бағалаудың нәтижелері көрсетілген. Конверсия коэффициентінің бағаланған мәні 10^{-4} -не жуық болды. Бағаланған мән жуықтығы бұрын табылған [2-6] өлшенген мән жуықтығына тең. Бұрын жасаған эксперименттерден ерекшелігі табиғи байытылған литий-дейтерийлік конверторды пайдалану болып табылады.

Орындалған жұмыс эксперименталды-есептеу әдісімен жүргізілді. Жұмыстың бірінші бөлімінде жылдам конверторлық нейтрондардың өрісін активациялық әдіс көмегімен анықтау бойынша эксперименталды зерттеулер жүргізілді. Екінші бөлімде Монте-Карло әдістерімен конвертордың тиімділігін анықтау бойынша жұмыстар жүргізілуде. Бұл бөлімде конверсия коэффициентінің сандық мәнін анықтау бойынша жұмыстар

аяқталмаған, бірақ конверсия коэффициентінің бағаланған мәні ИВГ.1М реакторының эксперименталды арнасындағы LiD-конверторы бар эксперименталдық қондырғысы 14 МэВ энергиясы бар жылдам нейтрондардың жеңіл алынатын қайнар көзі болып табылатынын көрсетеді.

EFFICIENCY ESTIMATION OF LiD-CONVERTER FOR FAST NEUTRONS OBTAINING

Z.B. Kimolaev, U.V. Aleinikov, U.A. Popov, I.V. Prozorova

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Estimation results of lithium-deuterium converter efficiency of thermal neutrons to fast in experimental IVG 1M reactor (Kurchatov) are presented in this work. Estimated value of conversion factor is equal to 10^{-4} . Obtained value has a degree of values of this value [2-6] obtained before. The difference from the experiments conducted before is in lithium-deuterium converter with natural enrichment use.

Work fulfillment is conducted by experimental-calculated method. At the first stage the experimental research on determination of converter neutrons field with the help activation method was conducted. At the second – works on determination of numerical value of conversion factor by the method of Monte-Karlo are conducted.

At this work stage the works on determination of numerical value of conversion factor are not finished, but converter efficiency estimation shows that the experimental device with lithium-deuterium converter in experimental channel of IVG 1M reactor is available source of fast neutrons with power 14 МэВ.

УДК 577.391: 550.7.002

ЭЛЕКТРОННЫЙ КАТАЛОГ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

¹Ястребкова Н.В., ¹Ларионова Н.В., ¹Барсукова С.А., ²Султанова Б.М., ¹Стрильчук Ю.Г.

¹Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

Представлены результаты совместной работы информационно-аналитического и биологического направлений по созданию тематического ресурса «Электронный каталог растений, произрастающих на территории Семипалатинского испытательного полигона». Каталог основан на данных геоботанических исследований и флористического разнообразия антропогеннонарушенных экотопов опытно-экспериментальных площадок «Балапан», «Дегелен» и «Опытное поле». Рассмотрены структура и принцип его работы.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе научного развития, все больше появляются альтернативные методы исследования, представляющие собой пограничную область между биологией и информатикой, которые используют возможности компьютеров и цифровой фото- и видео-техники. Становится перспективным создание и использование в научных исследованиях электронных версий больших коллекций биологических объектов. Особый интерес представляют электронные гербарии, электронные каталоги растений, различные базы данных. В настоящее время подобные ресурсы созданы в НИИ стран ближнего и дальнего зарубежья, широко представленные в Интернете.

Большое флористическое разнообразие территории СИП обусловлено различными ландшафтами (разными типами почв, гидрологическими условиями, рельефом).

Проведенные в 1994-1999 годах геоботанические исследования позволили определить 530 видов растений, относящихся к 72 семействам и 281 роду, произрастание которых приурочено к ландшафтным зонам СИП. Были установлены доминантные, редкие виды растений, виды, имеющие кормовое и лекарственное значение. Растительный покров изучался с использованием традиционных методов геоботанических исследований и методических приемов по оценке состояния растительности [1].

На основании накопленного материала в Институте радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК специалистами информационно-аналитического и биологического направлений создан электронный каталог растений, что обеспечит переход на новый оперативный уровень использования геоботанической информации.

Целью настоящей работы является систематизация всей имеющейся геоботанической информации и создание тематического ресурса «Электронный каталог растений, произрастающих на территории СИП», с использованием современных информационных технологий.

Задачи исследования и разработки являются:

- сбор, сканирование, фотосъемка, описание растительного материала;

- разработка структуры, форм и принципа работы электронного каталога;

- занесение информации в электронный каталог.

Электронный каталог необходим для:

1. хранения справочного материала, включающего общую характеристику растений;
2. использования его, как эталона правильных научных названий;
3. систематизации/выдачи данных, внесенных в каталог, по:

- количеству видов (их перечень),
- количеству семейств (их перечень, объем),
- месту произрастания, применительно к трем опытно-экспериментальным площадкам,
- экобиоморфологической характеристике (списки видов растений),
- паспортизации растения;

4. оперативного получения информации о растениях, используя поисковые поля, представленные списками растений, сгруппированных по различным признакам, и установления родовой и видовой принадлежности растений, используя определитель, а также визуальное сравнение и описательную часть;

5. доступа к работе одновременно нескольким пользователям;

6. организации научно-методической работы студентов и магистрантов ВУЗов, для ознакомления с флористическим разнообразием территории СИП.

В результате работы будет подготовлена рабочая версия электронного каталога растений СИП, которая может быть использована как коммерческий продукт. Потребителями могут быть различные НИИ, проводящие исследовательские работы в данном регионе.

СБОР ДАННЫХ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ КАТАЛОГА

В результате проведенных в 1994-1999 гг. геоботанических исследований из большого списка семейств растений СИП было выделено 15 ведущих, из которых первые 3 места занимают: Сложноцветные (16,6% от общего количества видов), Злаковые

(10%), Маревые (8,3%). Флористическое разнообразие различных участков территории СИП значительно отличается друг от друга. Самое высокое флористическое разнообразие отмечено на горном массиве Дегелен – 490 видов, 70 семейств, 271 род, что обусловлено разнообразием природных условий местообитания растений. В урочище Балапан найдено 213 видов, 42 семейства, 141 род. На участках в районе площадки "Опытном поле" – 194 вида, 39 семейств и 120 родов. Для выявленных 530 видов сосудистых растений установлены радиационные параметры в местах произрастания, принадлежность к конкретным экотопам, особенности участия в восстановлении естественных ценозов антропогенно-нарушенных местообитаний, проведен систематический, географический и экобиоморфологический анализы флористической структуры.

На начальном этапе создания электронного каталога, был осуществлен сбор данных необходимых для его создания: фотографий растений в природе, электронных изображений гербарных образцов, описаний растений.

Фотосъемка видов "в природе" осуществлялась в натуральных условиях, непосредственно в месте сбора гербарных образцов, цифровым фотоаппаратом. Коллекция растений "в гербарии" представлена изображениями гербарных образцов без искажения истинных размеров пропорций, созданных с помощью планшетного сканера с разрешением 600dpi. Предварительный сбор гербарных образцов производился по общепринятым методикам, при обязательном соблюдении следующего ряда правил:

1. растения для гербария собирались в сухую погоду;
2. выбирались здоровые, неповрежденные растения, со всеми надземными и подземными органами;
3. растения выкапывались, освобождались от почвы;
4. травянистые растения, превышающие размер гербарной папки, перегибались 2-3 раза; от очень крупных растений бралась верхняя часть с цветками и листьями, средняя с листьями и нижняя с прикорневыми листьями; с деревьев и кустарников срезался побег с листьями, цветками и плодами (если они есть);
5. при закладке в папку растения расправлялись, и им придавалась форма, в которой они в дальнейшем сканировались.

Информация для описания растений основана на данных из литературных источников [2, 3] и на результатах ранее проведенных ботанических исследований. Описания переводились в электронную форму для последующего формирования электронных паспортов растений.

При формировании определителя, в основу которого был положен знакомый широкому кругу казахстанских ботаников "Иллюстрированный определитель растений Казахстан" [2], набор текста в электронном виде производился без каких-либо отклонений от первоисточника, по принципу отбора семейств и родов произрастающих на исследуемой территории Семипалатинского полигона.

Структура каталога предусматривает разделы, которые отображают всю необходимую информацию о растениях, произрастающих на территории СИП, и возможность получения отчета об интересующем растении по окончании поиска в любом из разделов (Рисунок 1).

ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОГО КАТАЛОГА РАСТЕНИЙ

Электронный каталог растений представляет собой электронную книгу в формате HTML. Выбор формата HTML был обусловлен универсальными возможностями гипертекста для организации связей блоков информации между собой без необходимости установки специализированного программного обеспечения, за исключением веб-браузера, который имеется на подавляющем большинстве персональных компьютеров. Это также упрощает публикацию и использование электронного каталога в локальной сети НЯЦ РК и сети Интернет.

Электронный каталог включает фотоальбом и определитель растений, навигация по которым осуществляется посредством многоуровневого меню (Рисунок 2).

Доступ к фотоальбому осуществляется при помощи пункта меню "Фотоальбом". Фотоальбом представляет собой коллекцию фотографий растений "в природе" и сканированных изображений "в гербарии", снабженных этикетками названий видов на русском и латинском языках. В фотоальбоме для удобства, отсортированные по алфавиту фотографии выводятся в уменьшенном масштабе. Для просмотра гербарного образца реализована функция перехода к увеличенному изображению. Для просмотра описания растения реализована функция перехода к паспорту.

Электронный определитель представляет собой информационно-поисковую систему, предназначенную для определения видов растений. Установление или уточнение видовой принадлежности растения возможно двумя путями: начиная с определения семейства – "Ключ для определения семейств" (в случае, если неизвестен род растения), или сразу с определения рода и вида через списки семейств и родов – "Ключи для определения родов и видов (по семействам)" (Рисунок 3). По завершению определения каждого вида растения существует автоматический переход к его паспорту.

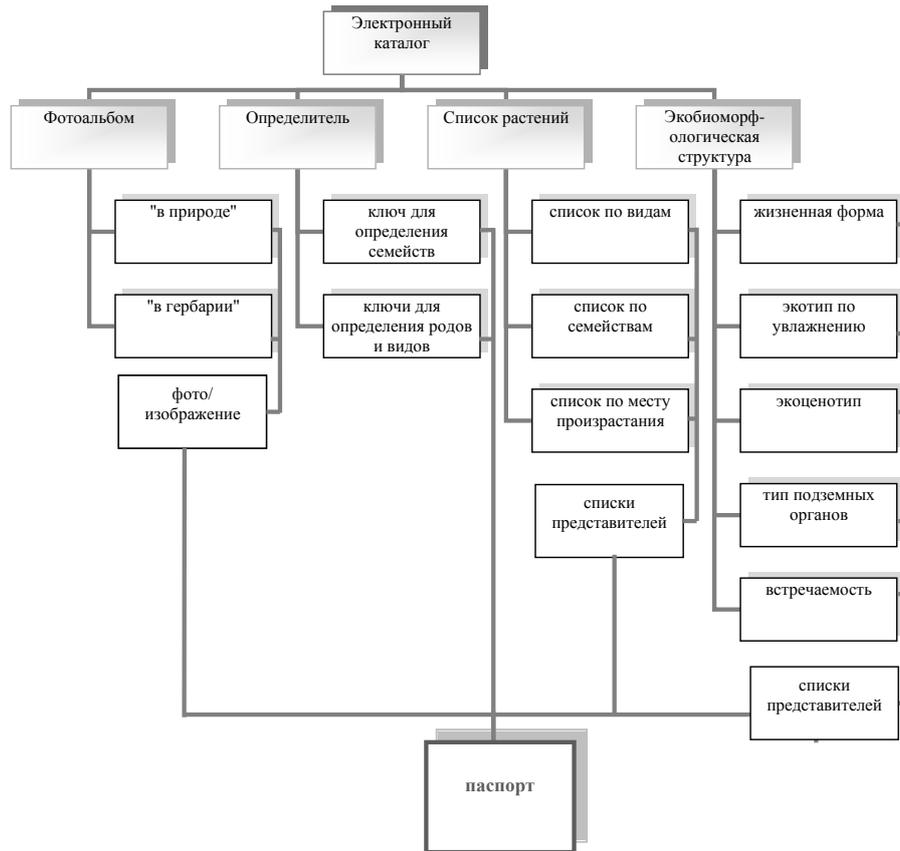


Рисунок 1. Структура каталога

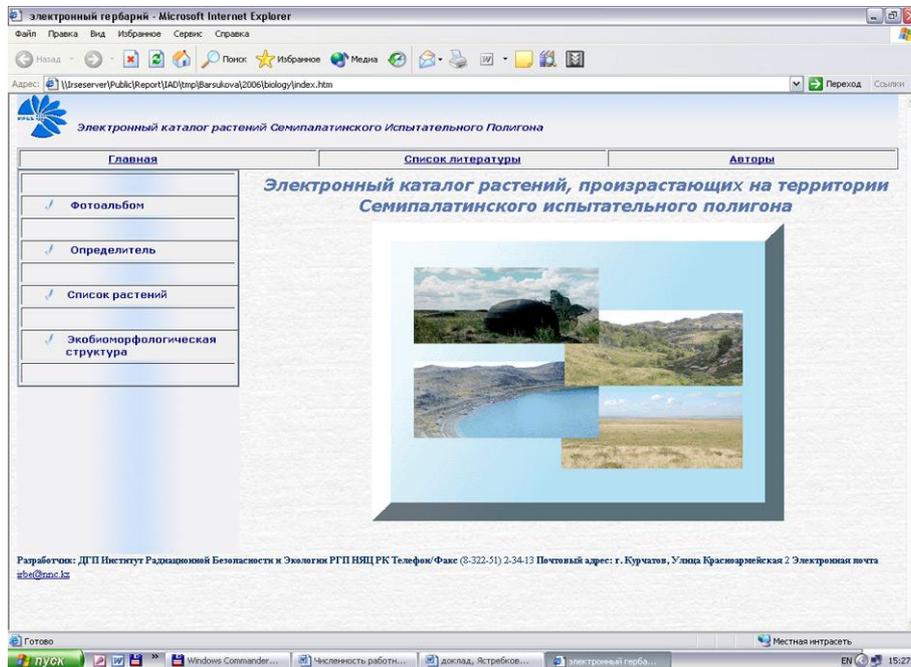


Рисунок 2. Главная страница

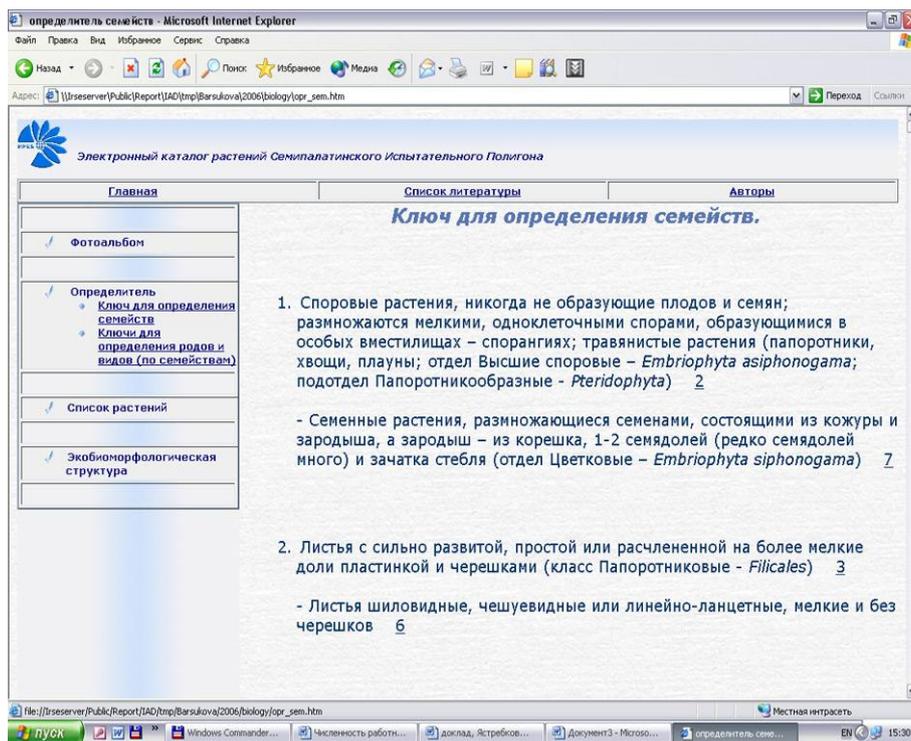


Рисунок 3. "Определитель"

Для более быстрого поиска того или иного вида растения в каталоге реализованы поисковые поля "Список растений" и "Экобиоморфологическая структура".

В меню "Список растений" представлены алфавитные списки "по видам" и "по семействам", где в первом случае дан перечень всех имеющихся в каталоге видов, а во втором случае – все имеющиеся семейства со списками их представителей. Отдельно представлены списки растений "по месту произрастания" применительно к 3-м исследовательским площадкам ("Балапан", "Дегелен", "Опытное поле"). Переход к паспорту растения осуществляется при помощи гиперссылок.

"Экобиоморфологическая структура" - более специфическое поисковое поле. Оно охватывает такие биологические и экологические параметры как "Жизненная форма", "Экотип по увлажнению", "Экоценотип", "Тип подземных органов" и "Встречаемость" и также представлено видовыми списками, снабженными гиперссылками для перехода к паспорту вида.

Основным результатом работы с электронным каталогом является получение полной информации о растении в виде "Паспорта".

Паспорт растения – основа информационного содержания электронного каталога. В нем представлена информация о растении, оформленная в виде отчета, содержащего краткое, разбитое по пунктам описание вида, учитывающее его морфологию, таксономию, систематику, флористику и экологию. Каждый образец сопровождают сведения о географической привязке (распространение по Казахстану, и на обследуемой территории полигона), уровне радиационного фона по месту встречаемости и хозяйственное применение. Кроме того, описание дополнено его изображением (в природе и в гербарии). Паспорт растения представлен в виде отдельной HTML-страницы и включает название вида на русском языке и на латыни, название семейства и следующие разделы: "Строение", "Биология", "Распространение", "Радиационные параметры на участках произрастания", "Значение" и "Примечание" (Рисунок 4).

Используемая при создании "Электронного каталога..." литература представлена в разделе каталога "Список литературы". Информация о разработчиках находится на странице "Авторы".

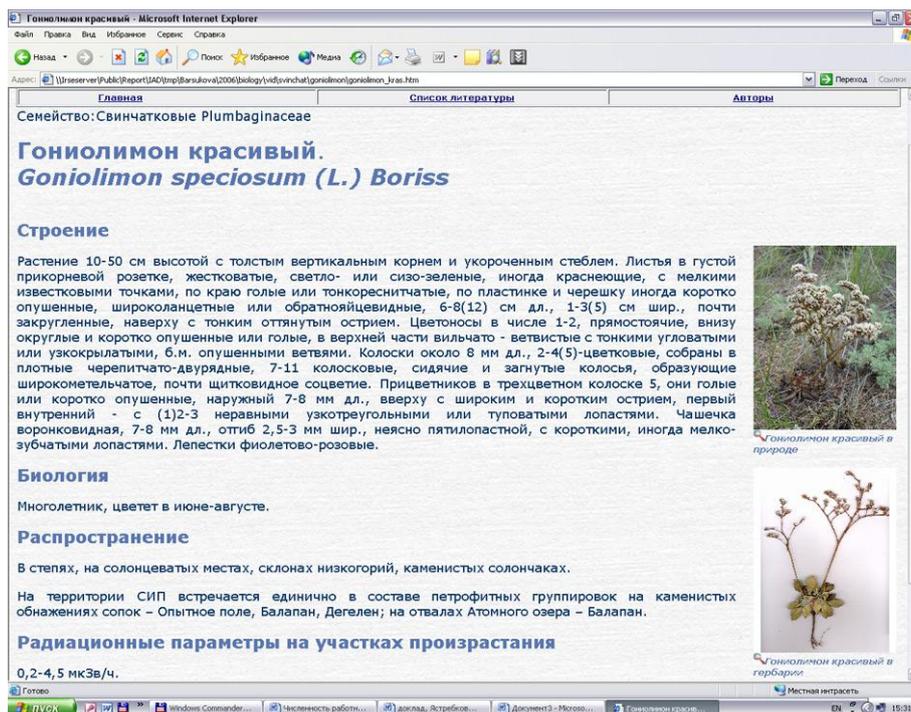


Рисунок 4. Паспорт растения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана основа электронного каталога, в которой на данном этапе работы содержится информация о некоторых доминантных видах растений (30 видов растений), произрастающих на исследуемой территории бывшего СИП, которые относятся к 10 родам и 3 семействам. Информация каталога постоянно пополняется. В дальнейшем, планируется занесение всех известных видов и дополнение вновь найденными, а также расширение исследуемой территории на всю площадь полигона.

Электронный каталог открывает новые возможности изучения растительного покрова региона и оценки изменения видового состава растений в будущем, а так же выявления факторов, вызвавших эти изменения. Создание каталога способствует распространению ранее мало известной информации о природных ресурсах и уникальности территории СИП, обеспечит возможность и ускорит подготовку к выпуску печатных изданий, например современных "Флор" отдельных районов СИП ("Флора горного массива Дегелен", "Флора равнинных участков СИП" и т.д.). Создание "Флор" позволит успешнее планировать и проводить геоботанические исследования на территории СИП, что позволит в будущем выработать рекомендации по использованию тех или иных районов СИП в сельскохозяйственной деятельности.

Возможность дополнять электронный каталог позволит создать разделы, в которых будет отображена информация о растениях-биоиндикаторах, а также отмечена встречаемость растений тех или иных видов, имеющих повышенную частоту морфозов и иных отклонений от нормы.

Электронный каталог может быть интегрирован в глобальную поисковую систему и геоинформационную систему (ГИС) НЯЦ РК и является коммерческим продуктом, поэтому возможно его представление на CD, как локальной копии для распространения.

Электронный каталог может быть опубликован в сети Интернет или локальной сети НЯЦ РК в виде веб-сайта, а также представлен. Публикация в виде веб-сайта обеспечит неограниченный доступ к материалам каталога всему мировому сообществу, включая потенциальных партнеров и простоту поддержки, развития и актуализации содержащейся на сайте информации. Вариант записи копии книги на CD обеспечит возможность работы с каталогом без доступа в Интернет. Такой способ работы будет удобен для людей, имеющих низкую скорость подключения к сети, ограничения по трафику или вообще не имеющих доступа к каталогу по локальной сети или сети Интернет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полевая геоботаника: в 1 т. /под.общ.ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. – Москва-Ленинград: Наука, 1959. - 444с.: ил. - Библиогр.: с.435-436.
2. Иллюстрированный определитель растений Казахстана: в 1 т. /составители М.С. Байтенов, А.Н. Васильева, А.П. Гамаюнова [и др.]; отв.ред. В.П. Голоскоков. - Алма –Ата: Наука, 1969. – 643с.: ил.; в 2 т. /составители М.С. Байтенов, А.Н. Васильева, А.П. Гамаюнова [и др.]; отв.ред. В.П. Голоскоков. - Алма –Ата: Наука, 1972. – 565с.: ил.
3. Иванов А.И. Кормовые растения сенокосов и пастбищ Казахстана [ботаническая и кормовая характеристика, химический состав и питательность] /А.И.Иванов, И.И. Ляшенко, Б.С. Оспанов [и др.]; под. общ. ред. Б.С. Оспанова. – Алматы: Кайнар, 1996. – 464с.: ил. - Библиогр.: с.464.

**СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНЫҢ АУМАҒЫНДА
ӨСЕТІН ӨСІМДІКТЕРДІҢ ЭЛЕКТРОНДЫ КАТАЛОГЫ**

¹Ястребкова Н.В., ¹Ларионова Н.В., ¹Барсукова С.А., ²Сұлтанова Б.М., ¹Стрильчук Ю.Г.

¹*ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан*

²*Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан*

«Семей сынақ полигонының аумағында өсетін өсімдіктердің электронды каталогы» тақырыптық ресурсын құру бойынша ақпараттық-талдау және биологиялық бағытта біріккен жұмыстың нәтижелері ұсынылған. Каталог "Балапан", "Дегелең" және "Тәжірибе алаңы" тәжірибелік-сынақ алаңдарындағы антропогенді зақымдалған экотоптардың флористикалық әралуандығына және геоботаникалық зерттеулер деректеріне негізделген.

Оның құрылымы мен жұмыс істеу принципі қаралған.

ELECTRONIC CATALOGUE OF PLANTS GROWING WITHIN THE SEMIPALATINSK TEST SITE AREA

¹N.V. Yastrebkova, ¹N.V. Larionova, ¹S.A.Barsukova, ²B.M.Sultanova, ¹Yu.G.Strilchuk

¹*Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

²*Institute of Botany and Phytointroduction MSE RK, Almaty, Kazakhstan*

This paper provides results of analytical and biological team-work to create subject resource “Electronic Catalogue of Plants Growing within the Semipalatinsk Test Site Area”. The catalogue is based on the data of geobotanical study and floristic diversity of anthropogenic-damaged ecotopes of the technical areas: Balapan, Degelen, and Test Field.

Structure and operational principles have been described in the paper as well.

УДК 577.4: 55.002.6

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДАННЫХ ПО БЫВШЕМУ СИП НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Садвакасов М.О., Березин С.А., Баранов С.А.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

Настоящая работа посвящена созданию единой базы данных ГИС и разработке программного обеспечения для организации быстрого и качественного доступа к информации. Внедрение данной разработки позволит уменьшить время поиска данных, исключить дублирование и работу с устаревшей информацией, повысит эффективность решения поставленных задач.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире любая деятельность человека напрямую зависит от его информированности и способности эффективно использовать имеющуюся информацию. Информация стала важнейшим ресурсом общества и без нее уже невозможен прогресс человечества [1]. Поиск рациональных решений в любой сфере жизнедеятельности требует обработки больших объемов информации, что невозможно без привлечения специальных программно-технических средств.

Как показывает анализ, более 80% всей информации состоит из географических данных, то есть включает в себя различные сведения о распределенных в пространстве или по территории объектах, явлениях и процессах. Работа с имеющими координатную привязку характеристиками и является сущностью одной из наиболее бурно развивающихся областей информационных технологий - технологий географических информационных систем (ГИС).

Географическая информационная система – организованный набор аппаратуры, программного обеспечения, географических данных и персонала, предназначенный для эффективного ввода, хранения, обновления, обработки, анализа и визуализации всех видов географически привязанной информации. ГИС облегчает анализ собранных данных и учет интересов различных групп пользователей, поэтому все чаще рассматривается в качестве главного инструмента для разработки, реализации и контроля за функционированием программ, связанных с комплексным управлением различных территорий и объектов.

Развитие ГИС в РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (РГП НЯЦ РК) началось в 1998 году и сегодня ряд институтов РГП НЯЦ РК применяет ГИС-технологии при выполнении своих работ. Использование ГИС дает целый ряд преимуществ: удобное хранение и использование крупных массивов данных; эффективное распознавание пространственных соотношений; составление высококачественных географических и тематических карт; возможность принимать более взвешенные решения. Другими словами, ГИС позволяет более эффективно использовать имеющуюся информацию для принятия решений по управлению

работами, проводимыми РГП НЯЦ РК на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и Республики Казахстан в целом.

К настоящему времени в РГП НЯЦ РК и его институтах созданы базы данных ГИС и накоплен большой объем информации. Учитывая, что многие заинтересованные пользователи работают в различных организациях, на первый план выдвигается проблема своевременного и качественного доступа к имеющимся данным. Кроме того базы данных ГИС находятся на локальных машинах пользователей, так как серверное обеспечение до настоящего времени не позволяло получить быстрый и качественный доступ к информации. Такой режим работы часто приводил к дублированию данных и даже их утрате, не исключалась работа с устаревшей информацией. Все это требовало дополнительного времени для поиска данных и снижало эффективность работы. Для решения этой проблемы решено создать единую базу данных (БД), которая будет находиться на новом более скоростном сервере РГП НЯЦ РК, что обеспечит возможность доступа к имеющейся информации. Совместное использование базы данных требует разработки единого методологического подхода к сбору и использованию информации, который позволит организовать эту работу в едином ключе.

Настоящая работа посвящена созданию единой базы данных ГИС и разработке программного обеспечения для организации работы с информацией, находящейся в базе данных. Внедрение данной разработки даст возможность не тратить значительное время на сбор и обработку разнородных данных, а сосредоточить усилия на поиске эффективных решений поставленных задач.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ГИС-СИСТЕМЫ

Самой простой и распространенной сегодня в компьютерном мире архитектурой для создания информационных ГИС-систем (ИС) является локальная или файл-серверная схема построения ИС. В этом случае возможно применение ГИС-системы в варианте, где ГИС-данные хранятся централизованно на файл-сервере, а компьютеры рабочих мест с загруженными на них приложениями, осуществляют

доступ к этим данным через локальную вычислительную сеть (ЛВС). При реализации такого подхода может быть построен работоспособный вариант информационной системы, который обеспечит многопользовательский режим работы с данными и позволит динамично манипулировать большими объемами информации.

В РГП НЯЦ РК было решено создать информационную систему именно на основе использования выделенного файл-сервера, что является вполне оправданным в связи с наличием в нашей организации большого количества персональных компьютеров разной конфигурации и локальной сети, в которую включены все компьютеры. Такая организация ИС привлекательна тем, что при опоре на файл-серверную архитектуру сохраняется автономность прикладного программного обеспечения, работающего на каждом компьютере сети. Фактически, компоненты информационной системы взаимодействуют только за счет наличия общего хранилища данных, которые хранятся на файл-сервере. При этом система обладает одним

очень важным преимуществом по сравнению с информационными системами другой архитектуры - более низкой стоимостью, поскольку высокая стоимость в целом ряде случаев является непреодолимым препятствием на пути внедрения информационных ГИС-технологий.

Ниже приведена схема построения информационной системы на базе архитектуры файл-сервер (рисунок 1). ИС состоит из распределенной базы данных, находящейся на сервере и персональных компьютеров, объединенных в локальную сеть. Высокоскоростной сервер РГП НЯЦ РК и ЛВС большой пропускной способности (1 Мбит/сек) позволяет организовать быстрый доступ к информации и обеспечить возможность многопользовательского режима работы с базой данных. Подготовка выходных данных для публикации в Интернет осуществляется с помощью программы MapView SVG, которая позволяет подготовить статические страницы информации в формате SVG (масштабируемая векторная графика).

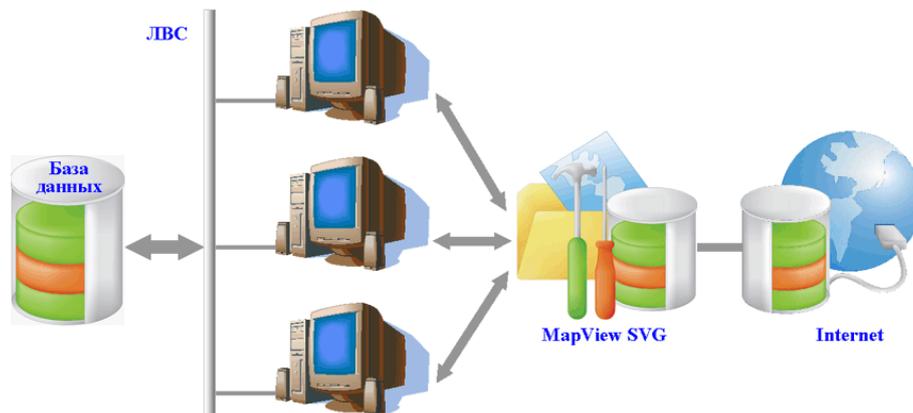


Рисунок 1. Схема построения информационной ГИС-системы

Таким образом, основной частью разрабатываемой информационной системы является неструктурированная база геоданных. БД уже сейчас содержит большое количество разнообразной информации, и будет пополняться в ходе выполнения различных работ и научных исследований. В связи с этим на первый план выдвигается задача управления базой данных и организации эффективной работы с информацией, хранящейся в БД, то есть создания системы управления базой данных (СУБД), разработка которой ведется в нашей лаборатории.

Рассмотрим более подробно структуру базы данных ГИС, а также организацию и возможности СУБД.

СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ ГИС

Отличительной особенностью задач в области ГИС-технологий является географическая рассредоточенность объектов исследования. Вследствие этого, при решении большинства задач приходится сталкиваться с обработкой территориально-распределенной информации. Кроме того, обраба-

тываемая информация, как правило, имеет большой объем и высокую степень разнородности.

В РГП НЯЦ РК используется программное обеспечение семейства ArcGIS (ESRI, США) и при создании ГИС-проектов пользователь работает с большим количеством форматов данных: это более 10 типов растровых и около 10 типов векторных данных. Среди источников данных наиболее часто используются картографические, аэрокосмические и статистические материалы, также используются данные специально проводимых полевых исследований и съемок. При таком обилии разноплановой информации практически невозможно обеспечить их структурированное хранение. Сейчас наши данные хранятся в различных папках и базах геоданных, часто на разных компьютерах и в различных институтах. Практически, сейчас мы имеем кучу нужной информации, в которой трудно что-либо найти. Именно необходимость обеспечить надежное хранение и качественное использование имеющихся

данных явилось причиной создания единой базы данных ГИС в РГП НЯЦ РК.

Сегодня в моделях данных в ГИС преобладает послойный принцип организации информации, который положен в основу при построении единой базы данных ГИС РГП НЯЦ РК. Послойная организация информации предоставляет пользователям возможность загрузить имеющиеся слои данных в свои ГИС-проекты, при необходимости к слою можно добавить дополнительные свойства объектов, а сами объекты могут быть отредактированы, скрыты, удалены и т.д. При послойной организации данных очень удобно манипулировать большими группами объектов, представленных слоями, как единым целым. Многослойная организация информации позволяет объединить и отобразить гораздо большее количество данных, чем на обычной карте [2]. В качестве отдельных слоев можно также представить данные, полученные в процессе дополнительной обработки с использованием статистических или математических моделей.

Все ГИС следуют принципу раздельного хранения пространственной (карты, планы) и описательной информации (таблицы данных) [3]. Как правило, средствами инструментальных ГИС или другого специализированного программного обеспечения эти данные преобразуются в соответствии с моделью хранения данных, обусловленной требованиями к решению той или иной задачи [4].

Связь между всеми типами пространственных и атрибутивных данных обычно осуществляется средствами самой ГИС за счет использования различных индексных файлов. В результате администрирование, разделение доступа к данным между пользователями, решение проблем эффективной обработки больших объемов информации обрушивается на плечи пользователей. Выход из этой ситуации – хранение всех данных (как пространственных, так и атрибутивных) в едином хранилище на основе системы управления базами данных (СУБД). При этом вся техника поиска дубликатов записей, решения вопроса о дополнении, замене или удалении записей реализуется на основе встроенных механизмов самой СУБД. Помимо быстрого реагирования при работе, есть и другое существенное преимущество: поиск данных по расположению и атрибутам может выполняться не инструментальной ГИС, а самой СУБД, что оптимально с точки зрения распределения ресурсов.

Переходя к структуре информационной системы ГИС, отметим, что для организации этой системы была создана специальная программа управления базой данных (СУБД) под названием «Полигон». Соединение описательных и геоинформационных данных с помощью СУБД повысит информативность, наглядность и доступность информации.

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ БАЗОЙ ДАННЫХ ГИС

СУБД «Полигон» предназначена для удобства управления базами данных, а также хранения и управления всеми типами данных, включая геогра-

фические (пространственные) данные. Преимущества использования СУБД в информационных системах давно и хорошо известны. Это четкая организация, управляемость, простота доступа, средства поддержки целостности данных и другие.

Для того чтобы создать подобный продукт, необходимо было определить среду разработки (IDE – Integrated Development Environments) или другими словами выбрать язык и технологию программирования, с помощью которых будет написано приложение. В настоящее время во всех продуктах ESRI Inc. поддерживается высокоуровневый язык программирования Visual Basic for Applications (VBA), который хорошо известен как основной инструмент настройки приложений семейства Microsoft Office. Для поддержки VBA программы семейства ArcGIS содержат встроенный редактор для создания макросов (скриптов). Отсутствие поддержки ГИС-программирования в VBA компенсируется наличием библиотеки моделей компонентных объектов (COM), называемой ArcObjects. Эта библиотека представляет собой набор готовых программных кодов для отдельных процедур поддержки автономных операций ГИС, которые при необходимости могут использоваться для построения программных средств и модулей. Именно COM поддерживает создание персональных элементов для ArcGIS, начиная с фильтров диалогов и кончая классами объектов, а также рабочими пространствами. Имеется также возможность использовать множество COM-объектов сторонних производителей, таких, например, как объекты Microsoft Office.

Оценив возможности VBA и COM-технологий, было решено создать СУБД «Полигон» на базе ГИС ArcGIS. Средством разработки был выбран язык программирования VBA 6, который более удобен для создания интерфейсов пользователя, также были использованы необходимые динамически подключаемые библиотеки (DLL) ArcObject. Таким образом, на сегодняшний день, мы имеем информационную систему управления пространственно-распределенной информацией по бывшему СИП.

СУБД «Полигон» реализована в виде отдельного приложения, представляющего собой исполняющий файл, который может быть запущен на любом компьютере, имеющем доступ к базе данных ГИС. В своем составе СУБД «Полигон» имеет вспомогательную базу данных формата Microsoft Access, которая создается при установке приложения и содержит таблицы ссылок на информацию, хранящуюся в базах данных, находящихся на сервере. Связь между таблицами устанавливаются отношения между совпадающими значениями в ключевых полях. В большинстве случаев с ключевым полем одной таблицы, являющимся уникальным идентификатором каждой записи, связывается внешний ключ другой таблицы (рисунок 2).

Каждая таблица содержит информацию об определенных объектах базы данных и ссылку на местонахождение объекта (таблица 1).

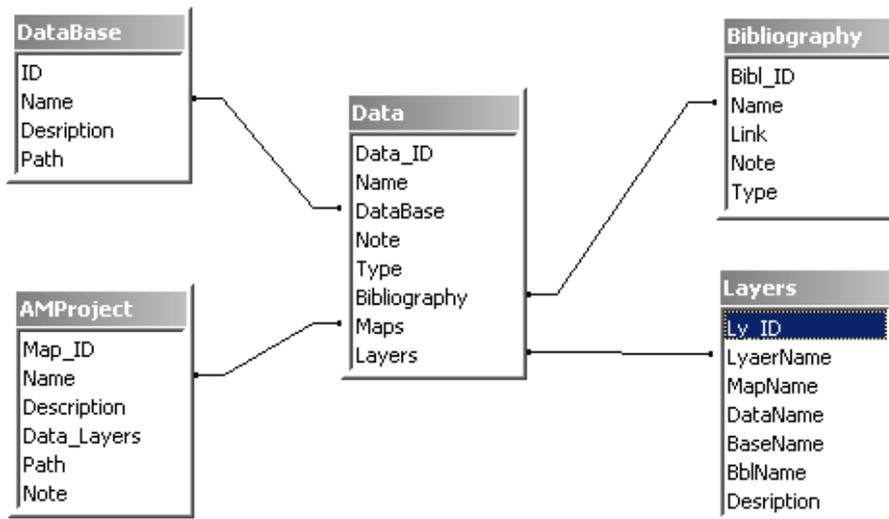


Рисунок 2. Графическая схема СУБД «Полигон»

Таблица 1. Описание таблиц СУБД

Имя таблицы	Описание
Data	Информация о векторных и растровых данных
DataBase	Информация о базах геоданных
ShapeFiles	Учет шейп-файлов и хранение информации о них
AMProject	Информация о готовых слоях и картах ArcMap
Bibliography	Ссылки на отчеты, книги и другие документы

Запросы к базам данных реализованы посредством языка запросов SQL (Structured Query Language). Поиск нужной информации осуществляется в таблицах, хранящихся на локальном компьютере и содержащих ссылки на объекты, что значительно уменьшает время поиска. Непосредственно с сервера закачиваются только выбранные данные. Это позволяет снизить загрузку на локальную сеть и обеспечить одновременный доступ нескольких пользователей к базе данных.

Рассмотрим возможности СУБД «Полигон» и работу всех модулей программы.

ВОЗМОЖНОСТИ И РАБОТА СУБД «ПОЛИГОН»

Для установки СУБД «Полигон» написан инсталлятор, для запуска которого необходимо открыть установочный файл **GISSTS.exe**. Мастер установки предложит установить программу в папку «C:\Polygon», которая может быть изменена по желанию пользователя. Также будут созданы ярлыки в меню «Пуск». Далее, из списка, который будет предложен программой установки, пользователю необходимо будет выбрать компьютер-сервер, на котором находятся базы данных. Приложение регистрируется в оболочке продукта ESRI ArcMap, где создается дополнительная панель инструментов «ГИС Полигон». Для работы с базой данных используются следующие пункты меню: открыть карту, добавить данные и сохранить данные. При запуске программы происходит инициализация каталогов баз данных и загрузка таблиц ссылок, по-

сле чего открывается главное окно, которое служит для навигации по основным компонентам.

Данное программное обеспечение представляет собой приложение, состоящее на настоящий момент из двух модулей (форм), которые работают с картами и данными (векторными и растровыми). Работа СУБД «Полигон» может осуществляться как в среде ArcGIS, так и вне ее. При инсталляции программа установит необходимые файлы библиотек (DLL), и практически все функции работы системы (кроме создания карт) будут доступны пользователю.

При загрузке модуля «Работа с картами» приложение посылает запрос в базу данных для получения списка карт и открывает пользовательскую форму (рисунок 3).

В окне выбора отображается список карт, имеющихся в базе данных. При выделении карты она появляется в окне просмотра, которое находится в правой части формы. Кроме того, выводится описание карты, информация об авторе, масштабе карты и количестве слоев информации составляющих карту. Работая с этой формой, пользователь имеет возможность просмотреть имеющиеся карты, создать новую карту, добавить новую карту в базу данных или удалить ненужную карту.

При открытии карты, содержащейся в базе данных, имеется возможность поиска. Поиск карт происходит либо по названию карты, либо по названию слоя. Реализовано это с помощью SQL-запроса к таблице ссылок. Выбранная карта появляется в окне предварительного просмотра и может быть добав-

лена в ГИС-проект. Перед загрузкой можно просмотреть подробную информацию обо всех данных, входящих в состав карты.

Для создания новой карты, на основе существующей, используются заданные в карте-шаблоне системы условных обозначений, легенд, надписей, источников данных и настроек вида (масштаба, сис-

темы координат и др.). Вновь созданная карта может быть добавлена в базу данных, при этом все новые слои данной карты будут скопированы в текущую базу данных, а таблицы ссылок будут дополнены информацией о названии, структуре и местоположении данных.

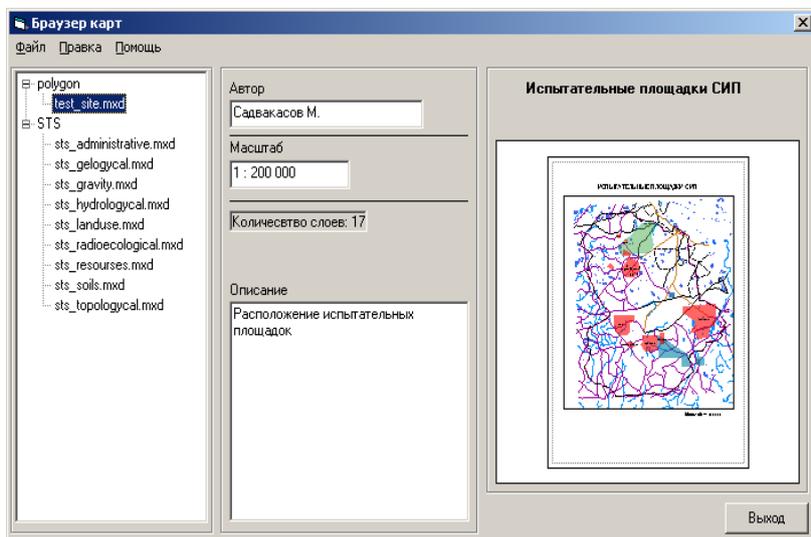


Рисунок 3. Форма работы с картами

При удалении карты слои, ее составляющие, обычно остаются в базе данных, а удаляется только файл ГИС-проекта и ссылка на него. Хотя при необходимости, могут быть удалены и используемые данные.

В пункте меню «Справка» можно получить краткие сведения о данном программном обеспечении и открыть файл помощи, в котором находится описание данной формы.

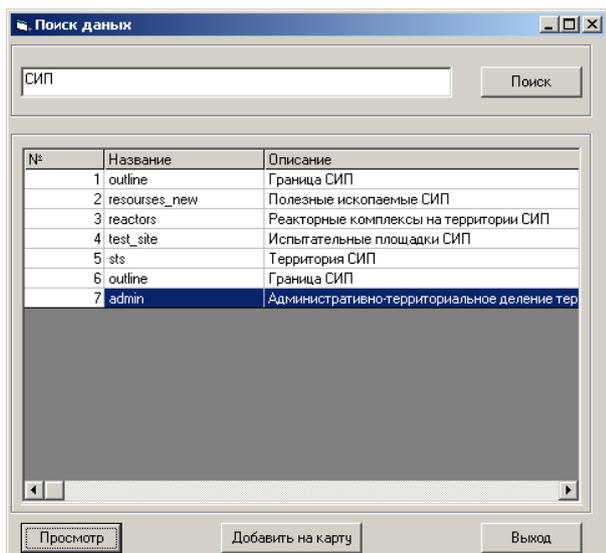


Рисунок 4. Поиск информации по атрибутам

Следующий модуль – «Работа с данными». Он обеспечивает работу с растровой и векторной информацией. Основная его задача – предоставление пользователю возможности быстрого и качественного поиска нужной информации в базе данных. Для этих целей разработана форма «Поиск данных» (рисунок 4), которая реализована в виде дополнительного компонента ActivX (DLL), что позволяет получить доступ к этой форме из разных модулей.

Команда «Поиск» запускает процедуру поиска по ключевым словам, введенным в строку. Поиск проводится и по названию и по описанию данных в таблице ссылок. Результаты выводятся в виде таблицы, которая содержит порядковый номер, название файла и описание найденных данных.

Форма «Просмотр данных», вызываемая командой «Просмотр» из формы «Поиск данных», позволяет просмотреть найденную информацию, чтобы убедиться, что это именно то, что нужно. Пользуясь этой формой, пользователь может узнать название файла и базы данных, в которой он находится, тип файла, проекцию и другую дополнительную информацию. Для векторных данных выводится информация о количестве объектов в слое. Из этой формы, как и сразу из формы поиска, данные можно добавить непосредственно в рабочий ГИС-проект.

Кроме того, форма «Просмотр данных» имеет набор функций для создания новой базы данных, добавления данных в БД и редактирования атрибутивной информации.

Для создания новой базы данных из меню «Файл» вызывает диалоговое окно создания геобазы данных, в котором необходимо ввести название новой базы. При подтверждении выполнения операции на сервере организуется новая БД, а информация о ней данных заносится в таблицу ссылок.

Функция добавления данных реализована в виде дополнительного компонента ActivX (DLL), что позволяет получить доступ к этой форме из разных модулей. Такая реализация позволяет обеспечить добавление информации в базу геоданных как отдельных слоев из ГИС-проекта, так и при сохранении карты полностью, когда извлекается информация обо всех данных, из которых составлена карта. В качестве описания данных используются название и описание слоя, которые в дальнейшем могут быть изменены. Перед выполнением функции добавления данных запускается процедура поиска дубликатов данных. Поиск дубликатов ведется и по имени, и по содержимому геоданных, то есть с учетом пространственных характеристик объектов, структуры информации (количеству полей и записей), а также содержания атрибутивной таблицы. Это позволяет оптимизировать базу данных, не сохраняя одни и те же данные лишней раз [5].

В качестве справочных данных предусмотрена возможность вывода в виде таблицы списка всех данных, имеющихся на данный момент в БД. Имеется возможность экспортировать эту таблицу в формате MS Excel, для создания каталога геоданных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сделана первая попытка структурировать разрозненные данные, собранные при проведении различных исследований и хранящиеся в различных подразделениях РГП НЯЦ РК. В свете развития в нашей организации информационных ГИС-

технологий это направление работы становится очень важным.

В ходе работы проведен анализ хранения имеющихся данных по бывшему СИП, определена модель единой базы геоданных и разработаны методологические основы работы с информацией. Начата работа по созданию информационной системы данных по бывшему СИП, на основе СУБД «Полигон».

Анализируя возможности и работу созданной СУБД хочется отметить, что мы смогли в основном преодолеть отрицательные моменты, возникающие при работе с системой файл-серверной архитектуры:

- удалось организовать одновременный доступ пользователей к одному и тому же участку базы данных;
- снизить загрузку локальной сети передаваемыми данными;
- обеспечить достаточно высокую скорость обработки и представления информации.

Кроме того, разработанная структура СУБД позволяет сохранить функциональность системы при переходе на использование баз данных более высокого уровня, таких как Oracle, которые позволяют хранить данные всех типов и форматов в одном массиве.

В настоящее время началось тестирование СУБД «Полигон» в координационно-аналитическом отделе РГП НЯЦ РК на скоростном участке локальной сети. Результаты работы весьма неплохие. Следующим этапом проверки работы системы планируется организовать возможность использования СУБД сотрудниками других подразделений. Здесь может возникнуть ряд сложностей, связанных с тем, что передача информации между институтами осуществляется с помощью радиомостов с низкой скоростью обмена данными.

Работы по доработке СУБД продолжаются, и мы будем рады выслушать конструктивные замечания и предложения по этой тематике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майстренко, А. В. Информатика / А. В. Майстренко - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та. 2002. Ч. I. 96 с.
2. Андреев, А.М. Объектные ГИС./ А.М. Андреев, Д.В.Березкинб Ю.В. Куликов, А.Ю. Смагин, А.В.Смелов - «Геодезия и картография» №9, 1995.
3. Ставицкий, А.М. Построение геоинформационных систем с использованием единых хранилищ данных на основе СУБД / А.М. Ставицкий А.Б. Макурин - Обнинск: Доклад на конференции «Муниципальные ГИС».. 2004.
4. Картография и ГИС. [Электронный ресурс] / Компания CSoft, Режим доступа: <http://www.csoft.ru/solution/gis>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Alfred, V. Aho Data Structures and Algorithms / V. Aho Alfred, John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman - Изд. дом «Вильямс».

**ГАЗ-ТЕХНОЛОГИЯЛАР НЕГІЗІНДЕ БҰРЫНҒЫ ССП БОЙЫНША
БІРЕГЕЙ АҚПАРАТТЫҚ ДЕРЕКТЕР ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ**

Садуақасов М.О., Березин С.А., Баранов С.А.

Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Курчатов

Бұл жұмыс ГАЗ бірегей деректер базасын құруға және кәсіпорын үшін ақпаратқа жылдам және сапалы қол жеткізуді бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеуге арналған. Аталмыш әзірлемені енгізу деректерді іздестіру уақытын азайтуға, ескірген ақпаратпен жұмыс істеуге және оның қайталануын болдырмауға мүмкіндік береді, алдыға қойылған міндеттердің шешілуінің әсерлілігін арттырады.

**DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED INFORMATION SYSTEM
FOR DATA ON FORMER STS BASED ON GIS-TECHNOLOGIES**

M.O. Sadvakasov, S.A. Berezin, S.A. Baranov

National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

The effort is aimed at creation of an integrated GIS database and development of software to establish quality point-and-click access to information. Implementation of the development will enable to reduce the time for data search, exclude duplication and operation with outdated information, increase effectiveness in solution of the set tasks.

УДК 577.4:539.16:621.039.9

ИССЛЕДОВАНИЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ «ГОРЯЧИХ» ЧАСТИЦ ПОЧВ СИП

Абишев Т.Б., Горлачев И.Д., Квочкина Т.Н., Князев Б.Б., Лукашенко С.Н., Мульгин С.И.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Объектом исследования являются образцы почв, взятые из различных участков Семипалатинского испытательного полигона.

Цель работы – выделение, систематизация и исследование форм нахождения "горячих" частиц в почвах Семипалатинского ядерного полигона (СИП).

На стадии изучения структуры и состава "горячих" частиц используются следующие методы исследования:

- γ -спектрометрический анализ – для определения концентраций ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{241}Am и, в отдельных случаях ^{239}Pu ;
- сканирующая электронная микроскопия и протонная микроскопия – для изучения структуры и топографических особенностей "горячих" частиц, а также для получения карт распределения элементов в каждой частице;

В результате исследования было установлено, что "горячие" частицы обнаруживаются практически во всех исследованных пробах почв СИП. Наибольшее количество частиц выделено из проб Опытного поля. Также были разработаны основные методики выделения горячих частиц.

ВВЕДЕНИЕ

С 1949 по 1989 годы на СИП было проведено 456 ядерных испытаний. Исследования на СИП, проводившиеся в течение многих лет Институтом ядерной физики показали, что природа распространения ядерных испытаний такова, что на участках с относительно невысокой средней активностью почв существуют области, где содержание искусственных радионуклидов в сотни и тысячи раз превосходит уровни глобальных выпадений [1].

Источниками активности почв могут быть «горячие» частицы размером от десятков микрон до единиц миллиметров и субмикронные частицы, определяющие «матричную» активность образцов почв. "Горячая" частица - это стабильная образование с удельной активностью значительно (несколько порядков) превышающей фоновый уровень. Формирование радионуклидного состава «горячих» частиц обусловлено температурными изменениями и сложными ядерно-физическими и термодинамическими процессами, возникающими в огненном шаре и облаке ядерного взрыва.

Знание физико-химических свойств "горячих" частиц необходимо для прогнозирования миграционных свойств радиоактивных продуктов в окружающей среде и для оценки опасности внешнего и внутреннего облучения человеческого организма. Более того, детальная информация о структуре и составе "горячих" частиц может быть полезна для описания процессов, возникающих в огненной сфере при проведении ядерных испытаний различной природы, и механизмов формирования радиоактивных выпадений.

Целью настоящей работы являлось выделение, систематизация и исследование форм нахождения "горячих" частиц в почвах Семипалатинского ядерного полигона (СИП).

Для достижения этой цели необходимо было:

- 1) создание методологических основ для изучения "горячих" частиц в почвах из различных участков Семипалатинского ядерного полигона (СИП);
- 2) определение основных свойств "горячих" частиц и их специфических признаков;
- 3) разработка практических методов и способов определения количественных и качественных характеристик "горячих" частиц в почвах и отложениях (включая радионуклидный состав, удельную активность, элементный состав, физико-химические свойства и т.д.);
- 4) выявление особенностей распределения радионуклидов в "горячих" частицах;
- 5) разработка методов систематизации и классификации "горячих" частиц.

Объектами исследований были образцы почв, взятые из различных участков Семипалатинского испытательного полигона.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые:

- разработаны методологические основы для изучения "горячих" частиц в почвах из различных участков Семипалатинского ядерного полигона (СИП);
- на основе разработанных методик выделены и изучены "горячие" частицы СИП.

Результаты, полученные при проведении исследований, имеют *практическую ценность* и весьма важны для классификации и систематизации "горячих" частиц по общим закономерностям и особенностям в зависимости от различных типов ядерных взрывов. Они являются важным для прогнозирования радиационной обстановки на территории полигона. Знание физико-химических свойств этих частиц также необходимо для оценки миграционных свойств радиоактивных продуктов в природной сре-

де и степени опасности внешнего и внутреннего облучения человека. Кроме того, детальная информация о структуре и составе "горячих" частиц может быть полезной для уточнения процессов, происходящих в огненном шаре при проведении взрывов разного типа, а также уточнения механизмов формирования радиоактивных выпадений.

Личный вклад автора состоит в совместной с руководителем постановке задачи, отборе проб почвы, приготовлении образцов (квартование, фракционирование), получении экспериментальных данных, совместной с руководителем формулировке выводов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выбор областей исследования и отбор образцов

Основные области загрязнения СИП могут быть разделены на четыре типа в зависимости от природы ядерного испытания. Виды радионуклидов и их распределение по гранулометрическим фракциям для различных ядерных испытаний могут значительно различаться. Всего было отобрано 20 проб почв. Основные места загрязнения СИП и коды, соответствующие отобраным на них образцам, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Изучаемые объекты СИП

Классификация участков и номера проб	Выбранные объекты исследования
«Чистые» территории, НР01-НР03	Фоновые участки на Опытном поле
Наземные и воздушные взрывы, НР04-НР07	Опытное поле, Юго-Западный и Юго-Восточный следы
Гидроядерные взрывы, НР08-НР10	Опытное поле, участки П-2 и П-7
Эксплуатационные и аварийные взрывы, НР11-НР15	Телькем-1, Атомное озеро (Балапан), штольня №139
Штольни с водопроявлением, НР16-НР20	Дегелен, штольни № 177, 503, 609

Отобранные образцы почвы были разделены на шесть гранулометрических фракций (1 мм - 2 мм, 0.5 мм - 1 мм, 0.28 мм - 0.5 мм, 0.112 мм - 0.28 мм, 0.045 мм - 0.112 мм и < 0.045 мм) с использованием стандартного метода мокрого рассева. Почвенные частицы с размерами, превышающими 2 мм, были удалены из материала образца во время пробоотбора.

Подсчет и выделение "горячих" частиц методами вынужденного деления и визуальной идентификации

В качестве основного при подсчете и выделении (с целью дальнейших исследований) «горячих» частиц в образцах почвы был выбран метод вынужденного деления, основанный на регистрации продуктов взаимодействия ^{239}Pu с тепловыми нейтронами. Ранее такой подход был применен при определении низких содержаний ^{235}U и ^{239}Pu в промышленных и геологических образцах для оценки влияния Чернобыльской аварии [2].

Большое сечение деления ^{239}Pu на тепловых нейтронах ($\sigma_f = 742.5$ барн) и относительно высокие содержания этого изотопа в "горячих" частицах позволяют использовать для анализа небольшие нейтронные потоки $\sim 10^9$ - 10^{10} н/с/см². Это дает возможность облучать образцы с использованием нейтронного генератора, разработанного на базе изохронного циклотрона U-150, что технологически более удобно по сравнению с ядерным реактором. Анализируемые частицы почвенных фракций, расположенные на клейкой стороне подложки, накрывались пластиной силикатного стекла, используемой в качестве детектора. После облучения детекторы протравливались 35% плавиковой кислотой. Подсчет и анализ треков от продуктов деления проводилось на оптическом микроскопе с 70 кратным увеличением.

Выделение и отбор "горячих" частиц методом вынужденного деления проводились только для фракций 1 ($f > 1$ мм), 2 ($1 > f > 0.5$ мм) и 3 ($0.5 > f > 0.28$ мм). Это обусловлено сложностью выделения "горячих" частиц из более мелких фракций.

В процессе работы выяснилось, что метод вынужденного деления обладает рядом ограничений:

1. Выделение "горячих" частиц в этом случае основывается на регистрации продуктов деления трансурановых элементов (α -частиц или тяжелых ядер). Учитывая, что пробеги продуктов деления в веществе частицы составляют несколько микрон, идентификация становится возможной только при наличии достаточной активности в приповерхностной области частицы. Это может привести к потере частиц, активность которых сосредоточена в глубинных слоях.

2. Как показал опыт предыдущих исследований [1] некоторые "горячие" частицы не содержат трансурановые элементы. Активность частиц в этом случае может определяться наличием в них таких радионуклидов, как ^{137}Cs , ^{60}Co и ^{152}Eu . В этом случае идентификация "горячих" частиц методом осколкографии становится невозможной.

3. Учитывая трудоемкость и длительность выделения "горячих" частиц из фракций почв методом осколкографии, лишь небольшая часть материала почвенного образца может быть исследована на предмет наличия "горячих" частиц.

Эти ограничения обусловили необходимость развития альтернативного подхода к выделению "горячих" частиц. Подобной альтернативой может быть метод визуальной идентификации, основанный на предположении, что в силу особенности условий формирования "горячих" частиц их внешний вид должен отличаться от внешнего вида типичных почвенных частиц.

Для подтверждения этого предположения была организована экспедиция, целью которой был поиск и сбор в областях СИП, пробы почвы в которых имеют наибольший уровень α -активности (в нашем случае участок П-2 Опытного поля), крупных фрагментов почвы (размером более 2 мм) внешний вид которых отличается от внешнего вида типичных частиц почвы. Отобранные таким образом фрагменты представлены на рисунке 1. Как видно из рисунка имеются две разновидности отобранных образований: 1. С правильными очертаниями и оплавленной формой и 2. Неправильной формы. В

таблице 2 представлены данные по плотностям и удельным активностям крупных конгломератов. В таблице образования оплавленной формы обозначены как А-1 – А-3, а неправильной формы – как В-1 – В-3. Удельные активности конгломератов по плутонию сравнимы, а в некоторых случаях больше, удельных активностей «горячих» частиц и на несколько порядков превышают удельные активности фракций почв. Поэтому с точки зрения удельной активности, отобранные конгломераты могут быть отнесены к «горячим» образованиям.

Таблица 2. Активности крупных почвенных конгломератов по плутонию и европию

Образец	Объем, см ³	Масса, г	Плотность, г/см ³	²⁴¹ Am, кБк/кг	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu, кБк/кг	¹⁵² Eu, кБк/кг	¹³⁷ Cs, кБк/кг
A-1	2.0	0.65	0.33	515±6	7450±680	23.1±1.1	242±10
A-2	2.0	0.64	0.32	524±7	7330±730	23.3±1.3	237±13
A-3	2.0	0.74	0.37	474±7	6890±900	16.0±1.4	225±13
B-1	2.8	1.2	0.43	2.3±0.3	<390	108.9±2.3	75±5
B-2	2.0	1.2	0.60	1.2±0.2	<340	100.8±2.3	71±5
B-3	8.0	1.6	0.20	0.15±0.05	<110	4.7±0.2	5.1±0.7

Полученные представления о форме «горячих» частиц легли в основу метода визуальной идентификации.

На рисунке 2 показаны типичные «горячие» частицы, выделенные из первой фракции пробы НР02. Как видно из рисунка частицы имеют правильную каплевидную, оплавленную форму. Это нехарактерно для типичных частиц почвы, что подтверждает предположение о существовании «горячих» частиц, отличающихся по внешнему виду от почвенных частиц.

Всего из 8 проб почв разных фракций методом визуальной идентификации было выделено 439 частицы: 185 – из 1 гранулометрической фракции ($f > 1$ мм) и 254 – из 2 фракции ($1 \text{ мм} > f > 0.5 \text{ мм}$). Идентификация и выделение «горячих» частиц из более мелких фракций не проводилось.



Рисунок 1. Два вида больших «горячих» частиц (размеры более 2 мм), собранных на СИП



Рисунок 2. Фотография «горячих» частиц, выделенных из фракции 1 ($f > 1$ мм) образца НР02

В таблицах 3, 4 (НР01-НР03 – Опытное поле (фоновые), НР04-НР07 – Опытное поле, НР08-НР10 – Участок П-2, НР11-НР12 – Балапан, НР13-НР15 – Телкем-1, НР16-НР20-Дегелен. N_{total} – общее количество частиц. N_{HP} – число выделенных «горячих» частиц) представлено распределение выделенных «горячих» частиц по пробам и фракциям для двух использованных методов выделения. Как следует из таблицы, метод визуальной идентификации более эффективен при исследовании фракции 1 в силу анализа более представительного количества материала. Для фракции 2 оба метода примерно одинаково эффективны. В этом случае недостатки каждого из методов компенсируются их преимуществами.

Таким образом, на настоящий момент двумя методами выделено 871 «горячая» частица. Наибольшее количество частиц обнаружено в пробах НР04 (162), НР08 (141) и НР09 (322). Для этих же проб характерно наибольшее удельное (N_{HP}/N_{total}) содержание «горячих» частиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ «ГОРЯЧИХ» ЧАСТИЦ ПОЧВ СИП

Таблица 3. Количество выделенных методами осколкографии и визуальной идентификации “горячих” частиц

Проба	Метод осколкографии					
	Фракция 1 (>1 мм)		Фракция 2 (1-0.5 мм)		Фракция 3 (0.5-0.28 мм)	
	N _{НР}	N _{total} / N _{НР}	N _{НР}	N _{total} / N _{НР}	N _{НР}	N _{total} / N _{НР}
НР01	0	-	0	-	0	-
НР02	Не выделялись					
НР03	0	-	1	5200	15	387
НР04	2	1100	22	236	9	778
НР05	не выделялись					
НР06	0	-	8	1140	9	778
НР07	0	-	0	-	8	4290
НР08	38	63	103	88	не выделялись	
НР09	12	200	63	79	64	109
НР10	не выделялись					
НР11	не выделялись					
НР12	0	-	0	-	1	34000
НР13	1	2400	1	5000	3	2100
НР14	0	-	0	-	8	4260
НР15	1	2400	0	-	6	5720
НР16	не выделялись					
НР17	не выделялись					
НР18	не выделялись					
НР19	не выделялись					
НР20	7	343	5	1820	45	762
Всего	61		203		168	

Таблица 4. Количество выделенных методами осколкографии и визуальной идентификации “горячих” частиц

Проба	Метод визуальной идентификации			
	Фракция 1 (>1 мм)		Фракция 2 (1-0.5 мм)	
	N _{НР}	N _{total} / N _{НР}	N _{НР}	N _{total} / N _{НР}
НР01	2	23000	0	-
НР02	4	8930	41	1640
НР03	3	1500	0	-
НР04	33	721	96	1400
НР05	1	28600	9	18900
НР06	0	-	34	2210
НР07	0	-	0	-
НР08	не выделялись			
НР09	142	190	41	2830
НР10	не выделялись			
НР11	17	1820	33	3520
НР12	0	-	0	-
НР13	0	-	0	-
НР14	не выделялись			
НР15	0	-	0	-
НР16	не выделялись			
НР17	не выделялись			
НР18	не выделялись			
НР19	не выделялись			
НР20	0	-	0	-
Всего	216		254	

Гамма-спектрометрический анализ

Для определения радионуклидного состава образцов почв, их фракций и отдельных «горячих» частиц были использованы гамма-спектрометрический и рентгенорадиометрический методы анализа, разработанные в ИЯФ [3]. Для гамма-спектрометрического анализа был использован коаксиальный детектор из сверхчистого Ge модели GMX20 EG&G Ortec с относительной эффективностью 20% и разрешением 1.8 кэВ на 1332.5 кэВ. Измерение исходного образца занимало 2 часа, а каждой почвенной фракции и группы выделенных «горячих» частиц – 6 часов. При

этом определялись активности ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Eu и ¹⁵⁵Eu.

Для рентгенорадиометрического анализа был использован планарный детектор из сверхчистого Ge модели GL0510P Canberra с площадью активной поверхности 500 мм², толщиной 10 мм и разрешением на линии 5.9 кэВ 162 эВ. Измерения исходных образцов занимали 6 часов, а каждой почвенной фракции и группы выделенных «горячих» частиц – 12 часов. При этом определялись активности ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am, ¹⁵²Eu и ¹⁵⁴Eu.

Для фракций почв после выделения «горячих» частиц, а также выделенных методами визуальной

идентификации и осколкографии "горячих" частиц были измерены их активности по плутонию методами γ -спектрометрии и α -спектрометрии соответственно. В таблице 5 представлены полученные абсолютные и удельные активности. A_{HP-V} , A_{S-V} (измерены методом γ -спектрометрии) – абсолютные активности "горячих" частиц и фракций почв после выделения "горячих" частиц методом визуальной идентификации соответственно; A_{HP-F} (α -

спектрометрия), A_{S-F} (γ -спектрометрия) - абсолютные активности "горячих" частиц и фракций почв, из которых выделялись "горячие" частицы, методом осколкографии соответственно; A_S , A_{HP-V} , A_{HP-F} – удельные активности фракций почв и "горячих" частиц, выделенных методом визуальной идентификации и осколкографии, соответственно.

Таблица 5. Абсолютная и удельная активности "горячих" частиц и фракций почв по плутонию

Проба, фракция	Абсолютная активность выделенных частиц, Бк (количество частиц)						Средняя удельная активность, кБк/кг		
	A_{S-V}	A_{HP-V}	A_{HP-V}/A_{S-V}	A_{S-F}	A_{HP-F}	A_{HP-F}/A_{S-F}	A_S	A_{HP-V}	A_{HP-F}
HP01, 1	5.4	0.3 (2)	0.055				0.028	35	
HP02, 1	53	51.9 (4)	0.98				0.35	3100	
HP02, 2	638	114 (41)	0.18				8.5	660	
HP03, 1	98	160 (3)	1.6				0.53	13000	
HP03, 2				0.97	2.5 (1)	2.6	0.17		2300
HP03, 3				5.4	1.5 (15)	0.3	3.1		333
HP04, 1	24	32.8 (33)	1.4				0.24	237	
HP04, 2	2960	484 (96)	0.16				20	4580	
HP05, 1	4.8	3.8 (1)	0.79				0.04	905	
HP05, 2	7.1	2.1 (9)	0.3				0.038	212	
HP06, 2	148	59 (34)	0.4	0.58	7.1 (8)	12	1.8	1580	807
HP06, 3				14	3.6 (9)	0.26	6.7		1330
HP08, 1					4729 (38)				30000
HP08, 2					21000 (103)				185000
HP09, 1	542	1225 (142)	2.3	251	16 (12)	0.06	4.8	2050	312
HP09, 2	1410	112 (41)	0.08	72	32 (63)	0.4	11	2480	462
HP11, 1	3200	9.8 (17)	0.003				25	137	
HP11, 2	1900	3.5 (33)	0.002				15	96	
HP20, 1				0.25	0.1 (7)	0.4	0.025		3.4
HP20, 2				1.5	0.57 (5)	0.4	0.15		104

Наибольшей средней активностью по плутонию обладают "горячие" частицы первой (125 Бк/частицу) и второй (204 Бк/частицу) фракций пробы HP08 (Опытное поле, участок П-2), а также частицы 1 фракции (52 Бк/частицу) пробы HP03 (Опытное поле, фоновая).

Активность выделенных "горячих" частиц превышает активность фракций, из которых проводилось выделение, для проб HP03 (1 фракция), HP04 (1 фракция), HP09 (1 фракция), HP03 (2 фракция) и HP06 (2 фракция) и близка к 1 для проб HP02 (1 фракция), HP05 (1 фракция). Это свидетельствует о том, что большая часть наиболее активных частиц из этих образцов выделена. Для проб HP01 (1 фракция) и HP11 (1 и 2 фракции) разработанные методы выделения "горячих" частиц, по-видимому, не очень эффективны.

Для большинства проб удельные активности "горячих" частиц на порядки превосходят удельные активности соответствующих фракций. Исключение составляет проба HP11, где отношение удельных активностей "горячих" частиц и соответствующих фракций составляют 5.5 (для 1 фракции) и 6.4 (для 2 фракции). Это подтверждает предположение о том, что в этой пробе выделено лишь небольшая часть "горячих" частиц (выделение проводилось методом визуальной идентификации).

Для частиц фракций 1 и 2 проб HP08 и HP09, выделенных методом осколкографии, были построены распределения количества выделенных частиц от их активностей. Полученные распределения представлены на рисунке 3. Для первой фракции обоих образцов зависимости имеют схожий характер – наибольшее количество частиц являются малоактивными (до 10 Бк/частицу). Иная ситуация с фракцией 2. В этом случае для пробы HP09 (Опытное поле, участок П-2, смешанный взрыв) практически все частицы являются также малоактивными, в то время как для пробы HP08 (Опытное поле, участок П-2, гидроядерный взрыв) большая часть частиц имеют активность в диапазоне от 100 Бк/частицу до 1000 Бк/частицу, причем рост количества частиц с активностью имеет зависимость, близкую к экспоненциальной.

Принимая во внимание, что в анализе активностей "горячих" частиц принимали участие две методики (α -спектрометрия и γ -спектрометрия), был проведен сравнительный анализ активностей по плутонию частиц, выделенных из проб HP09 (участок П-2 Опытного поля) и HP03 (Опытное поле, фоновая). Полученные данные представлены в таблице 6. Среднее отношение активностей, измеренных методами γ - и α -спектрометрии составляют для

ИССЛЕДОВАНИЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ «ГОРЯЧИХ» ЧАСТИЦ ПОЧВ СИП

пробы НР09 - 2.5 (диапазон изменений от 0.4 до 6.2), а для пробы НР03 – 5.4 (диапазон изменений от 2.2 до 12). Причем в обеих группах частиц наибольшее отношение соответствует частицам с наибольшей активностью. Таким образом, учитывая

особенности используемых методик, можно предположить, что для частиц пробы 3 характерно более неравномерное распределение активности по глубине (приповерхностные слои обеднены плутонием).

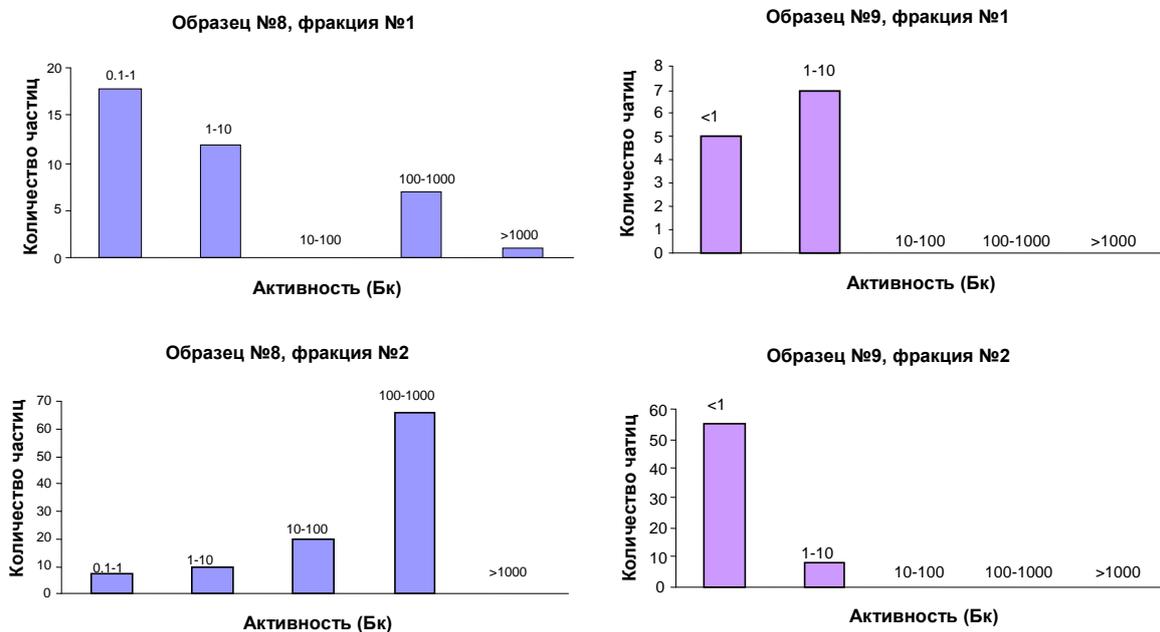


Рисунок 3. Распределение “горячих” частиц по активностям плутония (активности измерены на α -спектрометре) для фракций 1 и 2. Частицы выделены из проб НР08 и НР09 (Опытное поле, участок П-2).

Таблица 6. Активности по плутонию “горячих” частиц 1 фракции пробы НР09 (участок П-2) и пробы НР03 (Опытное поле, фоновая), измеренные методами α -спектрометрии и γ -спектрометрии

№ частицы	Результаты α -спектрометрии, Бк	Результаты γ -спектрометрии, Бк	γ -спектрометрия/ α -спектрометрия
Проба №9			
1	1.4	8.7	6.2
2	1.0	2.9	2.9
3	0.13	0.054	0.42
4	1.7	4.8	2.8
5	0.38	0.14	0.37
6	1.1	5.8	5.2
7	5.8	7.9	1.4
8	0.9	1.0	1.1
9	1.1	2.4	2.2
Среднее	1,5	3,7	2,5
Проба №3			
1	480	5700	12
2	340	1740	5.1
3	340	2530	7.5
4	230	1430	6.2
5	390	870	2.2
6	194	630	3.3
7	0.1	0.4	4.0
8	200	440	2.2
9	250	690	2.8
10	190	650	3.4
11	54	280	5.1
12	180	890	4.9
13	78	220	2.8
14	250	1200	4.9
Среднее	226	1232	5.4

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Обнаружены “горячие” частицы практически во всех исследованных пробах почв СИП;
2. Выделены “горячие” частицы из 1 фракции почв – 278, из 2 фракции – 457, из 3 фракции – 168;
3. Общее количество выделенных частиц составляет 903;

4. Наибольшее количество частиц выделено из проб Опытного поля НР08 (141) и НР09(322)
5. НР04(162);

6. Активности выделенных “горячих” частиц варьируются в диапазоне от 0.01 Бк до 2000 Бк.

Работы по выделению и изучению свойств «горячих» частиц продолжаются. Представленная работа была выполнена в рамках проекта Международного Научно-Технического Центра К-749.

ЛИТЕРАТУРА

1. Characteristics of radiological and non-radiological contaminants at Semipalatinsk Nuclear Test Site. // Final Technical Report on the ISTC Project K-053-96/ men. Sirajet K. - Almaty, December, 1999.
2. Sov.J.Part. Nucl. / Tretyakova S.P. Fiz. Elem. Chastits At. Yadra // 1992. - V. 23, - p.364
3. Czechoslovak Journal of Physics / Knyazev B.B., Kazachevskiy I.V., Solodukhin V.P., S.N. Lukashenko, M.K. Knatova, V.V. Kashirskiy, The instrumental method of plutonium determination // 2002. - V. 52.

СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОН ТОПЫРАҒЫНЫҢ "ЫСТЫҚ" БӨЛШЕКТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ЖҮЙЕЛЕУ

Абишев Т.Б., Горлачев И.Д., Квочкина Т.Н., Князев Б.Б., Лукашенко С.Н., Мульгин С.И.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Зерттеу объектілері ретінде Семей сынақ полигонының әр-түрлі аймағынан алынған топырақ үлгілері болып табылады.

Жұмыс мақсаты – Семей сынақ полигонынан алынған топырақтағы "ыстық" бөлшектердің болмыс пішінін зерттеу және іріктеу, жүйелеу.

"Ыстық" бөлшектердің құрылымы мен құрамын зерттеу барысында келесі әдістемелер қолданылуда:

- ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{241}Am концентрациясын анықтайтын және дербес жағдайларда ^{239}Pu үшін γ -спектрометрлік талдау;
- "ыстық" бөлшектердің құрылымы мен топографиялық ерекшелігін зерттейтін, оған қоса әрбір бөлшектегі элементтің таралу картасын алатын электрондық және протондық көшірме микроскопы;

Зерттеу нәтижесінде Семей сынақ полигонынан алынған барлық топырақтар үлгілерінде "ыстық" бөлшектердің тәжірби түрде бар екендігі тағайындалды. Бөлшектердің көпшілігі Сынақ алаңындағы үлгілерден табылды. Сонымен қатар, "ыстық" бөлшектерді бөлудің негізгі әдістемесі жетілдірілді.

RESEARCH AND SYSTEMATIZATION OF "HOT" PARTICLES OF SOILS IN THE FORMER SEMIPALATINSK NUCLEAR TEST SITE

T.B. Abishev, I.D. Gorchachyov, T. N. Kvochkina, B.B. Knyazev, S.N. Lukashenko, S.I. Mulgin

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

The object of investigations are sampels of soil from the diferent sites of the Semipalatinsk Nuklear Test Site.

The main goal of the present work is separation, systematization and investigation presence forms of “hot” particles in soils of SNTS.

For the investigation of the structure and composition of “hot” particles the following methods are used:

- γ -spectrometrical analysis for determination of ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{241}Am concentrations and ^{239}Pu in several cases;
- the scanning electronic microscopy and proton microscopy for investigation of structure and topographic peculiarities of “hot” particles, as well as for getting maps with distribution of elements in each particle.

As a result of investigations of soils from Semipalatinsk Nuklear Test Site there were determined that “hot” particles were detected in all the investigated samples. The most quantity of paricles was separated from samples of the Opytnoe pole location. Also the basic methods for separation of “hot” particles were developed.

УДК 539.211:539.12.04

ОСОБЕННОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИОНАМИ АРГОНА С ЭНЕРГИЕЙ 2-7 кэВ

Максимкин О.П., Цай К.В., Русакова А.В.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Разработана и создана установка для изучения закономерностей распыления металлических материалов под воздействием ускоренных заряженных частиц. Исследованы особенности распыления ряда чистых металлов (Mo, Cu) и сплавов (САВ-1, 12Х18Н10Т) ионами Ar^+ со средней энергией в интервале 2-7кэВ. Установлено, что коэффициент распыления для Cu наибольший среди всех исследованных материалов. Максимум распыления расположен в области углов падения частиц на образец 15-40°. Проведено исследование распыления материала САВ-1, предварительно подвергнутого нейтронному облучению.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем, стоящих перед разработчиками термоядерных установок, является выбор радиационно- и термически стойких конструкционных материалов, которые будут соприкасаться с плазмой и должны быть максимально инертны по отношению к ней [1].

К настоящему времени сформулирован целый ряд требований к материалам первой стенки, диверторных устройств и их защите. В частности, наряду с высокой прочностью, теплопроводностью, пластичностью и трещиностойкостью, они должны обеспечивать поверхностную радиационную стойкость по отношению к процессам эрозии (распыление и шелушение). Большую роль в выборе соответствующих материалов играет оптимизация по параметру $S \cdot Z^2$, где S – коэффициент распыления, Z – атомный номер [2]. В этой связи в качестве кандидатных материалов рассматривают легкие (Al, C, Be и др.) или тугоплавкие (W, W-Re, Mo, Mo-Re, и др.) металлы и сплавы.

Все эти вопросы напрямую касаются также Казахского Токамака Материаловедческого (КТМ), работы по созданию которого ведутся в настоящее время в г.Курчатове. Известно [3], что в Токамаке КТМ для защиты вакуумной камеры и дивертора будут использованы облицовочные плитки из углеродистых материалов, механически прикрепленных к панелям из нержавеющей стали типа Х18Н10Т.

В настоящей работе на вновь созданном материаловедческом стенде исследуется поведение металлических материалов, подвергнутых воздействию заряженных частиц.

ИССЛЕДУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали модельные технически чистые металлы – молибден и медь, а также нержавеющую сталь 12Х18Н10Т и низколегированный сплав на основе алюминия САВ-1 (Al – основа, Si = (0,6-

1,2)вес.%, Mg = (0,44-0,9) вес %), которые подвергали стабилизированному отжигам. Часть термообработанных образцов облучали нейтронами в активной зоне реактора ВВР-К при температуре не выше 80°C. Флюенс облучения нейтронами для САВ-1 составил $1,3 \cdot 10^{22} \text{ н/см}^2$.

Образцы для исследования представляли собой тонкие фольги, которые получали следующим образом. На первом этапе из массивного образца вырезали пластинки толщиной не менее 1мм, которые утоняли механической шлифовкой и последующей полировкой [4]. Ко второму этапу приступали при наличии пластинок, толщиной 0,3 мм. Диски, диаметром 3 мм, делали пробойником и затем проводили электролитическую полировку.

Использование таких миниатюрных образцов диктовалось условиями безопасности проведения радиационных экспериментов.

Эксперименты по распылению исходных, а также предварительно облученных нейтронами образцов проводили на установке ЦМР-1, созданной на базе прибора для ионного травления RES-100 (Balzers) – Швейцария. Общий вид установки представлен на рисунке 1. Две независимые ионные пушки вакуумной установки формируют пучок заряженных частиц в интервале энергий $E = 2-8 \text{ кэВ}$ и плотностью потока ионов $j = 55-160 \text{ мкА/см}^2$, после того, как в камере установится вакуум $\sim 10^{-5}$ торр. Все предварительные операции (подача образца в камеру, откачка на предварительный и высокий вакуум, управление пушками и др.) полностью автоматизированы и управление осуществляется с помощью персонального компьютера. В настоящих экспериментах использованы ионы аргона со средней энергией 6 кэВ. Для надежного определения коэффициентов распыления доза облучения составляла $10^{15} - 10^{16} \text{ ион/см}^2$.

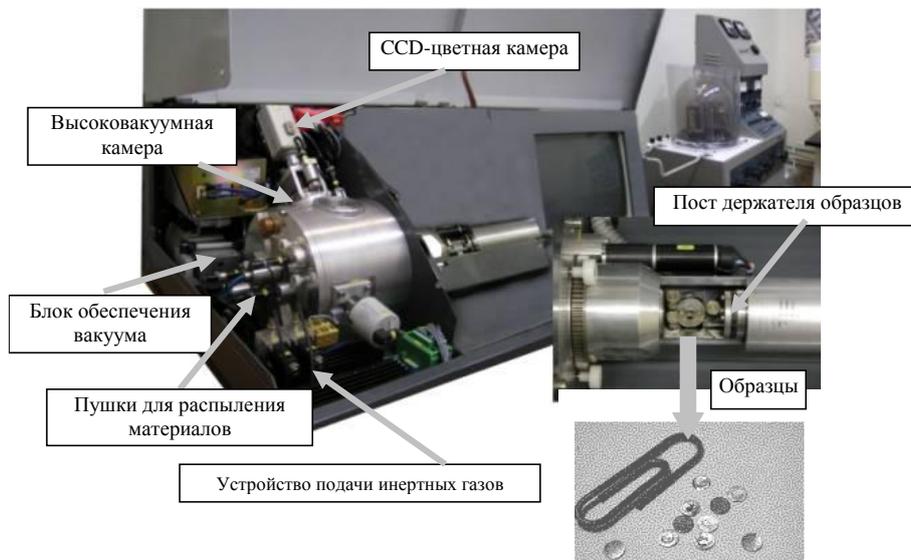


Рисунок 1. Установка ЦМР-1 для исследования взаимодействия ускоренных ионов аргона с материалами

Исследуемый образец размещался в держателе, выполненном из стекла и крепился на нем с помощью вольфрамовой пружинки. На подготовленную поверхность образца наносили метку перманентным маркером и закрывали его половину, накладывая сверху маску из вольфрамовой фольги. Другая половина образца размещалась под ионным пучком таким образом, что ось пучка пересекала границу маска - открытая поверхность образца (рисунок 2). После бомбардировки ионами маска удалялась и проводилась процедура определения количества распыляемого материала по высоте ступеньки, образующейся на поверхности образца и измеряемой при помощи интерференционного микроскопа МИИ-4.

На рисунке 2 показано, что на полированной поверхности образца интерференционные линии прямые, тогда как на поверхности, содержащей ступеньку, они преломляются. В этом случае высоту ступеньки оценивали по измерению смещения интерференционных линий [5]:

$$h = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2}$$

где N_1, N_2, N_3, N_4 – положения интерференционных полос; λ – длина волны монохроматического света, используемая при освещении объекта; $\lambda=0,55$ мкм – длина волны белого света.

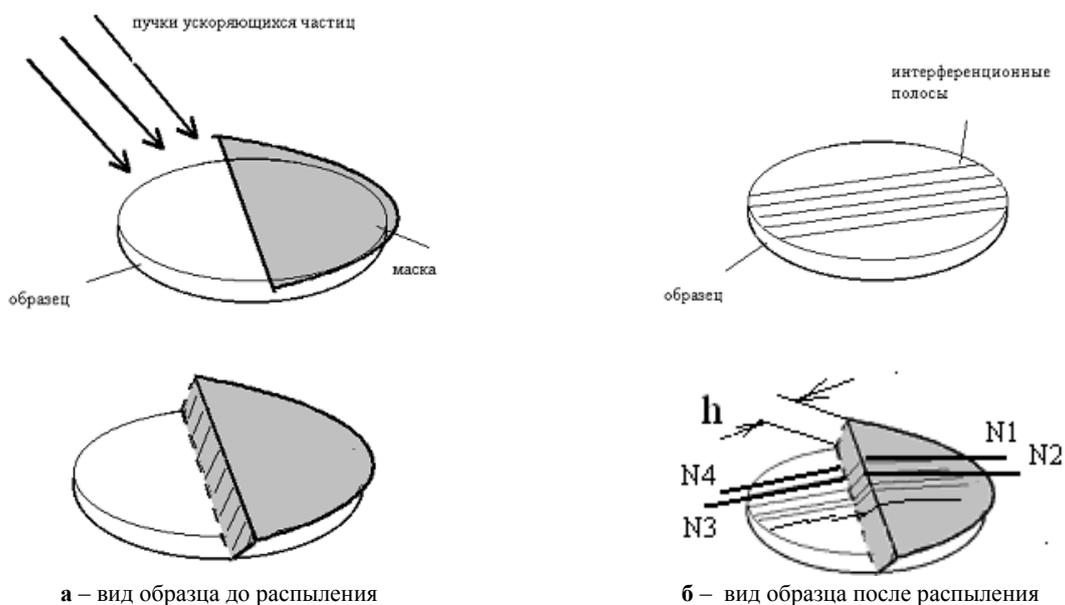


Рисунок 2. Исследование закономерностей распыления материалов

Коэффициент распыления (Y), характеризующий среднее число атомов, удаляемых с поверхности твердого тела одной падающей частицей вычислялся по формуле [6,7]:

$$Y = 2.67 \cdot 10^3 \cdot \frac{h/t \cdot \rho}{A \cdot j}$$

где h – высота ступеньки (мкм), ρ – плотность распыляемого материала (г/см³), t – время травления (час), A – атомная масса в а.е.м., j – плотность ионного тока в пучке в мкА/см².

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1 Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов аргона на поверхность образца

До распыления одну из сторон образца исследуемых материалов тщательно готовили применяя механическую, а затем электролитическую полировку и в дальнейшем облучали только эту поверхность.

В процессе эксперимента дискретно, с шагом 10°, изменяли угол наклона образца по отношению к падающему пучку. Время облучения для всех образцов было одинаково и составляло 20 минут. Периодические измерения температуры показали, что ее изменение зависит от времени воздействия ускоренных частиц и вследствие отсутствия теплоотвода изменяется в пределах от 150 до 350°С. Установлено в частности, что в результате ионного воздействия на предварительно полированной поверхности появлялась ступенька высотой h от 0,2 до 1 мкм (рисунок 3). Зная h для всех исследуемых материалов по общепринятой методике и известным формулам рассчитывали коэффициент распыления.

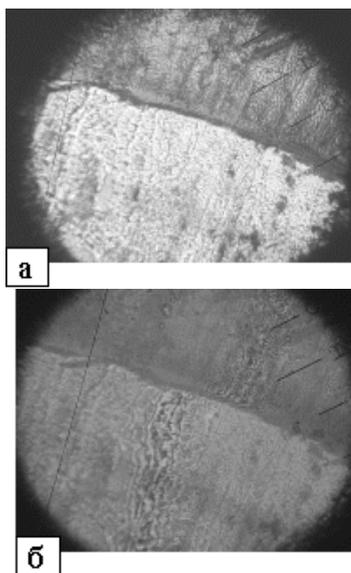


Рисунок 3. Вид поверхности образца САВ-1 после облучения ионами аргона и удаления маски а) – светлая область – распыленная часть образца; б) – то же, что и а), но с наложением интерференционной картины

В результате проведенных исследований установлено, что при угле падения ионов аргона, близком к 30°, коэффициент распыления максимален и составляет ~7 ат/ион. При увеличении угла падения вплоть до 80°, коэффициент распыления уменьшается [7,8].

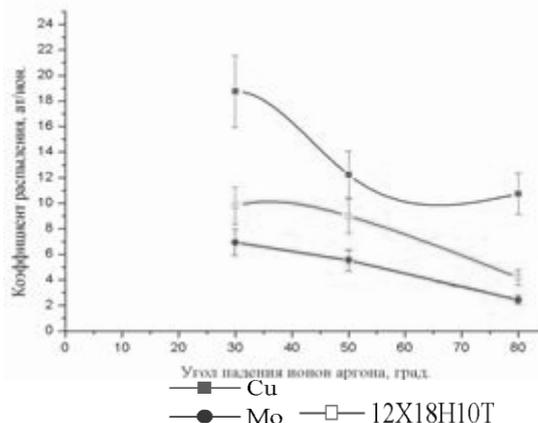


Рисунок 4. Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов аргона с энергией 6 кэВ для меди, молибдена и нержавеющей стали 12Х18Н10Т

Наиболее полно угловые зависимости коэффициента распыления Y были изучены для алюминиевого сплава САВ-1. В этом случае диапазон исследуемых углов был значительно шире и он охватывал малые углы падения пучков, при этом погрешность определения Y составила 30% (рисунок 5).

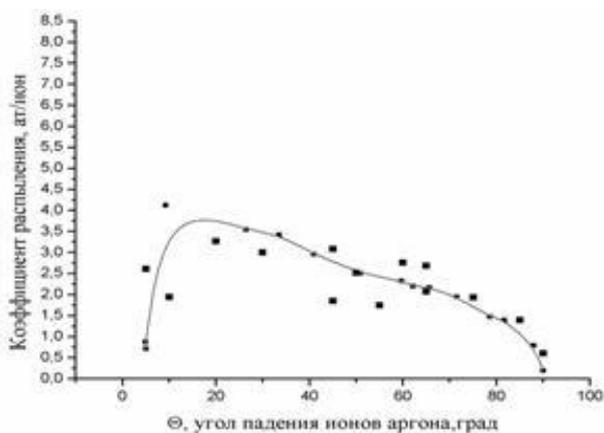


Рисунок 5. Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов аргона с энергией 6 кэВ для САВ-1

Из рисунка 5 следует, что алюминиевый сплав одинаково плохо распыляется как при малых, так и при больших значениях углов падения пучка, тогда как при 10 - 20° наблюдается некоторый максимум.

Изучение влияния предварительного нейтронного облучения на склонность сплава САВ-1 к распылению показало (рисунок 6), что для всех исследованных времен экспозиции, значение Y для облученного материала выше, чем для необлученного. При этом, для больших (~60 минут) времен экспозиции наблюдается

некоторый рост Y облученного нейтронами сплава, в то время, как для необлученного материала распыление практически не зависит от длительности выдержки под пучком заряженных частиц.

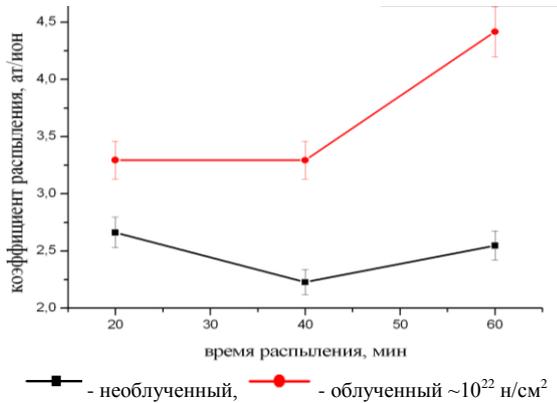
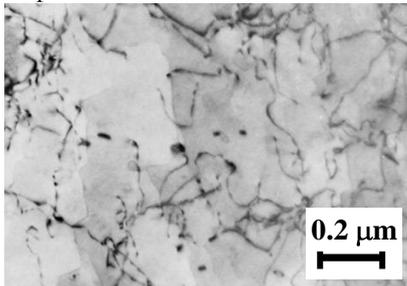
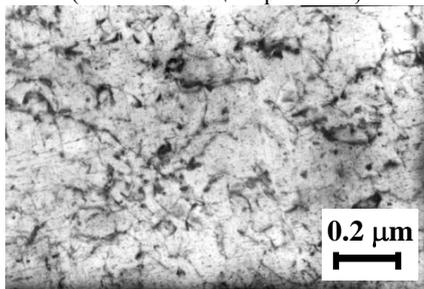


Рисунок 6. Зависимость коэффициента распыления от времени воздействия ионов аргона на сплав на основе алюминия САВ-1

Дислокационная структура САВ-1, наблюдаемая в исходных образцах, близка к однородной, сетчатой, с формирующимися клубками из нескольких дислокаций. Как видно из рисунка 7, дислокации также служат местами выпадения предвыделений вторичной фазы.



а – облученного нейтронами до флюенса $1,3 \cdot 10^{22}$ н/см² (нижний конец стержня АР)



б – без облучения

Рисунок 7. ПЭМ-изображение микроструктуры алюминий-молибденового сплава САВ-1

ПЭМ - исследования образца, отрезанного от нижнего конца трубки и облученного нейтронами до флюенса $1,3 \cdot 10^{22}$ н/см² показали, что микроструктура сплава САВ-1, облученного до высокой дозы, характеризуется наличием зон Гинье – Престона – предвыделений вторичной фазы Mg_2Si . Игольчатый

или строчечный характер предполагаемых предвыделений также указывает на данную фазу. Тот факт, что предвыделения наблюдаются только в нижнем, сильно облученном, конце трубки и отсутствуют в исходном образце, вероятнее всего, свидетельствует о значительном ускорении процесса старения сплава под действием нейтронного облучения.

2 Зависимость коэффициента распыления от энергии ионов аргона

В этих экспериментах угол падения ионов аргона на исследуемую поверхность образцов оставался постоянным и составлял 30° , погрешность измерений не превышала $\pm 15\%$. В результате оказалось, что в интервале энергий 3-7 кэВ коэффициент распыления для всех исследованных материалов имеет некоторую тенденцию к увеличению (рисунок 7) [6].

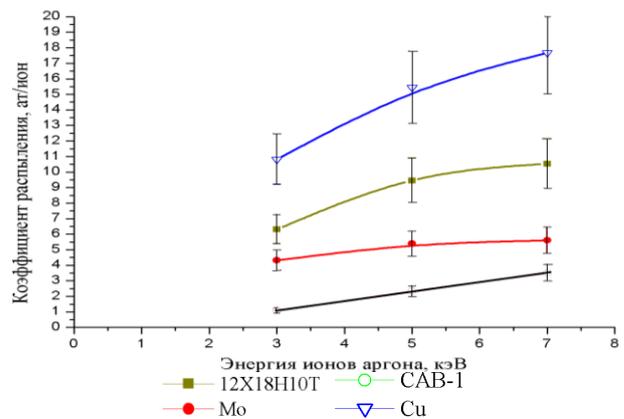


Рисунок 7. Зависимость коэффициента распыления от энергии ионов аргона

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе прибора RES – 100 (Balzers, Швейцария) создан материаловедческий стенд, включающий в себя установку ЦМР-1, предназначенную для исследования процессов распыления облученных металлических материалов, а также блоки количественной оценки степени эрозии материалов.

С использованием разработанного стенда проведены предварительные исследования особенностей и закономерностей распыления молибдена, меди, сплава на основе алюминия САВ-1 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т под воздействием ускоренных до 6 кэВ ионов аргона.

На основании анализа экспериментальных результатов можно заключить, что наиболее интенсивно из всех исследованных материалов распыляется медь.

Максимум распыления меди и алюминиевого сплава САВ-1 расположен в области углов падения частиц $15 \div 40^\circ$. Полученные результаты свидетельствуют о том, что Мо и сплав САВ-1 распыляются практически одинаково.

Показано, что предварительное облучение нейтронами сплава САВ-1 привело к росту значений коэффициента распыления материала под воздействием ускоренных ионов аргона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтовский И.В., Вотинов С.Н., Гусева М.И., Жукова Т.И., Иванов Л.И., Махлин Н.А., Орлов В.В., Платов Ю.М., Турчин С.И. «Физические проблемы материалов первой стенки термоядерных реакторов» // Конструкционные материалы для реакторов термоядерного синтеза, Москва, Наука, 1983, с.19-32
2. Альтовский И.В., Глухих В.А., Горынин И.В., Карасев Б.Г., Одинцов В.Н., Орлов В.В., Паршин А.М., Сакаганский Г.Л., Серебrenников Д.В., Фефелов П.А., Шаталов Г.Е. «Критерии выбора материалов и возможные конструктивные решения вакуумной камеры демонстрационного термоядерного реактора - ТОКАМАКА» // Конструкционные материалы для реакторов термоядерного синтеза, Москва, Наука, 1983, с.32-40
3. Мазуль И.В. «Идеология выбора материалов защиты первой стенки и дивертора ТЯР. Конструкционные материалы для КТМ» // Сб. тезисов Экспериментальные возможности токамака КТМ и программа исследований, Астана, 2005г., 10-12 октября, с.33-35.
4. Богомолова Н.А., «Практическая металлография» // Москва, Высшая школа, 1982, с.12-27
5. Розенберг В.М. «Получесть металлов» // Москва, Металлургия, 1967, с.42-43
6. Габович М.Д., Плешивцев Н.В., Семашко Н.Н «Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей» // Москва, Энергоатомиздат, 1986г, с.88-110
7. Берш Р. «Распыление твердых тел ионной бомбардировкой» // Под. ред. Р.Бериша.-М.:Мир, 1984.-с.222-248
8. Берт Н.А., Сошников И.П., Распыление полупроводниковых мишеней $Al_xGa_{1-x}As$ Ar^+ ионами с энергией 2-14 кэВ.//Журнал технической физики, 1997г, т.67, №6, с.113-117.

**КЕЙБІР МЕТАЛЛ МАТЕРИАЛДАРДЫ ЭНЕРГИЯСЫ 2-7 кэВ
АРГОН ИОНДАРЫМЕН ТОЗАНДАНДЫРУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

Максимкин О.П., Цай К.В., Русакова А.В.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы Қазақстан

Үдетілген зарядталған бөлшектер әсерінен металл материалдарды тозандандырудың заңдылықтарын зерттейтін қондырғы жасалды. Кейбір таза металдарды (Mo, Cu) және қорытпаларды (СAB-1, 12X18H10T) орташа энергиясы 2-7 кэВ аралығындағы Ar^+ иондарымен тозандандыру ерекшеліктері зерттелді. Зерттелген материалдар ішінде Cu үшін тозандандыру коэффициенті ең жоғары болатыны анықталды. Тозандандыру максимумы бөлшектердің үлгіге түсу бұрышы $15-40^{\circ}$ аралығында байқалды. Алдын-ала нейтрондармен сәулеленген СAB-1 материалын тозандандыру зерттелді.

**PECULIARITIES OF METALLIC MATERIALS SPUTTERING
BY IONS OF AR WITH ENERGIES 2-7 keV**

O.P. Maksimkin, K.V. Tsai, A.V. Rusakova

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

The set for investigation of peculiarities of metallic material sputtering under bombardment with accelerated charged particles was developed and mounted. Sputtering peculiarities for some pure metals (Mo,Cu) and alloys (SAV-1, 12Cr18Ni9Ti) by Ar^+ ions with mean energy in the range of 2-7keV were studied. It was found that the sputtering coefficient for Cu was the largest one among all considered materials. Maximal sputtering was reached on $15-40^{\circ}$ angles of particle incidence on a sample. The study of SAV-1 sputtering preliminarily subjected to neutron irradiation was carried out.

УДК 621.039.531:546.291:669.017.3

ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ

Осипов И.С., Максимкин О.П., Гусев М.Н.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

С использованием новой методики – «цифровой оптической экстензометрии» – проведено исследование особенностей пластической деформации модельных чистых металлов (никель, армо-железо, медь, молибден) и промышленных сплавов (12X18Н10Т, 08X16Н11М3), облученных нейтронами. Получены и проанализированы кривые деформационного упрочнения облученных металлических материалов в координатах «истинные напряжения – истинные деформации».

ВВЕДЕНИЕ

Явление пластической деформации металлов представляется хорошо знакомым и интуитивно понятным. Однако, несмотря на его кажущуюся простоту, исследователи пока весьма далеки от полного понимания процессов пластического течения. Тем более, что формоизменение металлического материала, как правило, сопровождается тепловыми эффектами, излучением звуковых и электромагнитных волн, на микроуровне наблюдается сложная эволюция структуры и протекают фазовые превращения.

С целью аналитического описания деформационно-пластического поведения металлических поликристаллов обычно применяют некоторые положения теории дислокаций [1,2], нередко дополненные элементами термодинамики [3] и мезомеханики [4]. В отдельных случаях возникает также необходимость количественного учета физических процессов, сопровождающих пластическое течение материала. Это может быть, например, прерывистая деформация [5], микро- или макролокализация [1,2], а также взаимодействие дислокаций с дефектами [6], в том числе радиационного происхождения. Последнее обстоятельство имеет место при изучении металлических материалов, облученных высокоэнергетическими частицами.

Во всех приведенных выше примерах для построения физической картины процессов пластического течения, используют, в частности, кривые деформационного упрочнения в координатах «истинное напряжение – истинная деформация». Обычно такие кривые получают проводя специальные эксперименты с применением методов экстензометрии [7], но в большинстве случаев исследователи рассчитывают «истинные» кривые из обычных инженерных. Зачастую при этом ограничивают спектр изучаемых явлений и рассматривают лишь формоизменение (пластическое течение) материала под действием внешней нагрузки.

В тоже время – в случае высокооблученных материалов – получаемые в экспериментах инженерные диаграммы в координатах «нагрузка – удлинение» не всегда могут быть пересчитаны в «истинные», что обусловлено вырождением одно-

родной и развитием локализованной деформации. С этой целью разрабатываются и широко используются новые методы исследования пластического формоизменения, в частности, предлагаемый нами метод «цифровой оптической экстензометрии», функционально близкий к методу сеток [8].

В настоящей работе приведены новые экспериментальные данные, полученные при изучении влияния облучения на механические свойства ОЦК- и ГЦК-металлов с применением метода «цифровой оптической экстензометрии».

ИССЛЕДУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали модельные чистые металлы – никель, молибден, армо-железо, медь, а также промышленные сплавы 08X16Н11М3 и 12X18Н10Т, широко используемые в конструкциях ядерных реакторов.

В качестве объектов для исследования использовали образцы двух типоразмеров: плоские, в виде двойной лопатки, с размерами рабочей части $10 \times 3,5 \times 0,3$ мм и цилиндрические, в виде гантелей, диаметром 1,6 мм и длиной рабочей части 10 мм.

Образцы подвергали соответствующим термообработкам (таблица 1), а затем облучали в активной зоне реактора ВВР-К (г. Алматы, Казахстан) до максимального флюенса $6 \cdot 10^{20}$ н/см² ($E > 0,1$ МэВ). Особо подчеркнем, что использованные в данной работе образцы (исключая молибден) были облучены на реакторе ВВР-К в ходе кампаний 2004-2006 гг.

Образцы стали 08X16Н11М3, представлявшие собой пластины размером $10 \times 2 \times 0,3$ мм, вырезали из граней чехлов отработавших тепловыделяющих сборок (ТВС) реактора на быстрых нейтронах БН-350 (г. Актау, Казахстан). До облучения сталь была подвергнута термомеханической обработке, заключавшейся в холодной деформации на 15-20 % с последующим отжигом при 800°C 1 час. Максимальная повреждающая доза, которую набрал материал сборки, составила 15,6 сна, при температуре облучения не превышавшей 370°C.

Использование миниатюрных образцов диктовалось условиями безопасности проведения радиационных экспериментов.

Термообработка материалов, условия их облучения и флюенс (повреждающая доза) приведены в таблице 1.

Испытания на одноосное растяжение необлученных и облученных образцов проводили на установке «Инстрон-1195» при 293К и скорости деформирования 0,5 мм/мин. При этом одновременно с записью диаграммы деформации осуществляли фотосъемку деформируемого образца. Управление установкой в процессе испытания выполняли дистанционно – с компьютера, оборудованного платой АЦП и группой реле. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью разработанной библиотеки программ (SETARAM, QW).

Для изучения локализованной деформации был применен разработанный нами метод «цифровой оптической экстензометрии» [7]. Вкратце этот метод заключается в следующем.

В процессе деформации регистрировали изображения поверхности и формы образца с помощью

цифровой фотокамеры высокого разрешения (2592×1944 пиксель, разрешение до 10 микрон/пиксель).

Анализ изображений показал, что уже на начальной стадии эксперимента поверхность образца не идеальна и на ней практически всегда имеются неровности, риски и т.п., а с началом пластического течения развивается деформационный рельеф. Эти особенности строения поверхности можно использовать в качестве своеобразных отметок («маркеров» в терминологии [7], или узлов), наблюдая за формой и взаимным расположением которых, можно судить о степени пластической деформации. Наряду с тем на поверхность можно нанести специальные отметки, например краской, имеющей хорошую адгезию и способной деформироваться вместе с поверхностью. В этом случае можно покрыть рабочую часть образца измерительной сеткой с шагом 0,3-1 мм.

Таблица 1. Термообработка и параметры облучения исследованных материалов

Материал	Термообработка	Температура облучения, К. Реактор.	Флюенс, н/см ² или доза, сна
Никель	Отжиг 950 °С, 30 мин.	<353К, ВВР-К	$1,4 \times 10^{19} \div 1,3 \times 10^{20}$
Армко-железо	Отжиг 950 °С, 30 мин.	<353К, ВВР-К	$5 \times 10^{18} \div 1,4 \times 10^{19}$
Молибден	Отжиг 1200 °С, 2 ч.	<353К, ВВР-К	$1,1 \times 10^{19} \div 6 \times 10^{20}$
Медь	Отжиг 750 °С, 30 мин.	<353К, ВВР-К	5×10^{20}
Сталь 12Х18Н10Т	Отжиг 1050 °С, 30 мин.	<353К, ВВР-К	$1,4 \times 10^{19} \div 1,3 \times 10^{20}$
Сталь 08Х16Н11М3	Холодная деформация 15-20 % + отжиг 800 °С 1 ч.	553-600К, БН-350	1,27÷15,6

Полученные изображения были обработаны с помощью специально написанной программы «Cross Correlation Coefficient», реализующей метод взаимной привязки изображений [9].

Применение данной программы позволяет, исходя из последовательности фотоснимков, рассчитать значения локальной деформации и действующего напряжения с погрешностью не более 5 и 10 %, соответственно.

С этой целью, при обработке последовательности цифровых изображений деформируемого образца, вычисляется расстояние L между некоторыми выбранными узлами M_1-M_2 (рисунок 1). Величина локальной деформации того или иного выбранного локального участка для i -го изображения может быть определена как $\varepsilon_i = (L_i - L_0) / L_0$, где L_0 – исходное расстояние между маркерами (определенное из первого изображения, сделанного до деформации), L_i – текущее, рассчитанное из i -го изображения. Действующее напряжение σ_i может быть получено, исходя из критерия постоянства объема V ($V = S_0 \cdot L_0 = S_i \cdot L_i = \text{const}$, где $S = h \cdot d$) в виде:

$$\sigma_i = \frac{F_i(1 + \varepsilon_i)}{S_0}, \quad (1)$$

где F_i – сила, действующая в i -ый момент времени, и определяемая из инженерной диаграммы, S_0 – начальное сечение.

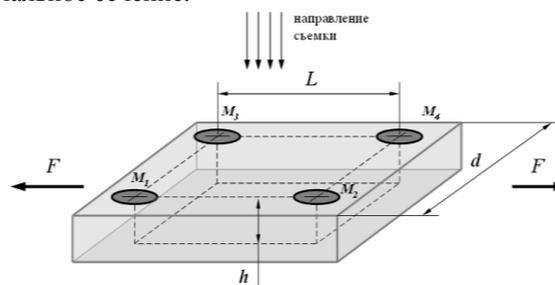
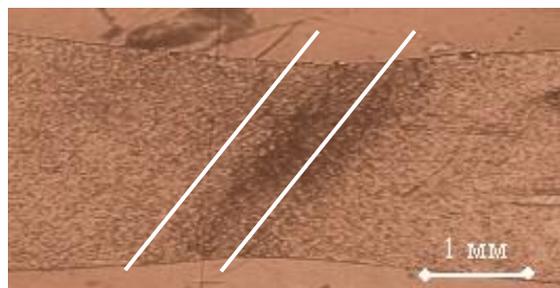


Рисунок 1. Измеряемые параметры при использовании метода «деформационной оптической экстензометрии». На образце, нагруженном силой F , выделен участок, содержащий четыре узла (M_1-M_4); L – расстояние между узлами сетки; d – ширина образца; h – толщина образца (значения d и h определяются до деформации)

Воспользовавшись найденными из эксперимента значениями истинных напряжений $\sigma_{ист}$ и локальных деформаций $\varepsilon_{ист}$, можно построить график их распределения по рабочей длине образца для различных моментов деформации вплоть до разрушения, либо проследить взаимосвязь между $\sigma_{ист}$ и $\varepsilon_{ист}$ для произвольного участка образца.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Согласно [10, 7] при деформации облученных материалов с ростом флюенса образец утрачивает свою способность деформироваться равномерно и пластическое течение сосредоточивается в одной (реже двух) полосах – областях локализованной деформации.



а – в образце стали 08X16H11M3 (повреждающая доза – 10,8 сна)



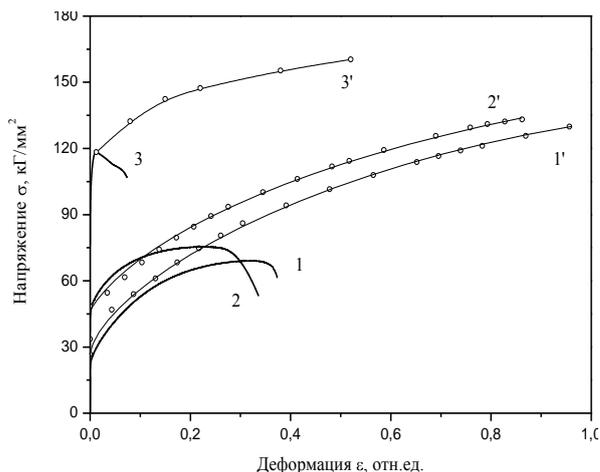
б – в образце молибдена (флюенс $3 \cdot 10^{20}$ н/см²)

Рисунок 2. Локализованная деформация

Полученные нами данные [7] хорошо согласуются с этим положением. Так, равномерная деформация в армо-железе практически исчезает при флюенсе $1,4 \cdot 10^{19}$ н/см², а в молибдене – при $1,2 \cdot 10^{20}$ н/см². На рисунке 3 показаны области локализованной деформации для ряда материалов.

Очевидно, что развитие локализованной деформации не позволяет использовать инженерную кривую для анализа процессов пластического течения. Для решения этой задачи был предложен и применен описанный выше метод «цифровой оптической экстензометрии».

На рисунке 3 приведены полученные с его помощью «истинные» кривые, учитывающие процесс локализации, которые сопоставлены с традиционными инженерными кривыми. Как следует из рисунка 3, переход от условных к реально действующим значениям деформаций и напряжений качественно изменяет вид кривых течения. В частности, видно, что развитие локальных деформаций в шейке сопровождается существенным деформационным упрочнением материала и ростом действующих напряжений вплоть до момента разрушения, несмотря на кажущееся разупрочнение, регистрируемое на инженерной кривой практически сразу за пределом прочности.



1 – необлученная сталь 12X18H10T после аустенизации при 1050 °С, 30 мин, 2 – после облучения нейтронами ($\Phi = 1,3 \cdot 10^{20}$ н/см²), 3 – 15,6 сна при 354 °С

Рисунок 3. Кривые растяжения сталей 12X18H10T (1,2) и 08X16H11M3 (3) в координатах «условное напряжение – инженерная деформация» (1,2,3) и в координатах «истинное напряжение – истинная деформация» (1',2',3').

Переход к «истинным» кривым наиболее полезен для высокооблученных материалов, в которых предел прочности практически совпадает с пределом текучести (рисунок 3, кривые 3 и 3'). Согласно [2], в данном случае имеет место «квазиохрупчивание», т.е. подавление равномерной деформации, которое следует отличать от реального охрупчивания [11] – полного подавления способности материала к пластической деформации.

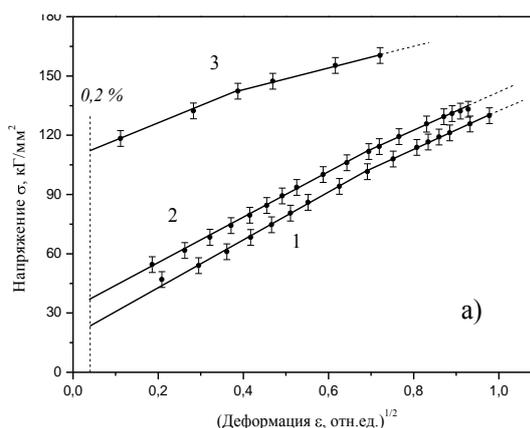
На рисунке 4 приведены кривые $\sigma_{ист} - \epsilon_{ист}$ для ряда исследованных материалов. По оси X отложена величина деформации ϵ в степени $1/2$. Согласно [12] и общим положениям теории дислокаций, «истинные» кривые в координатах « $\sigma_{ист} - (\epsilon_{ист})^{1/2}$ » будут состоять из нескольких прямолинейных участков, соответствующих, согласно [12], стадиям пластической деформации.

Действительно анализ экспериментально полученных зависимостей $\sigma_{ист}(\epsilon_{ист})$ (рисунок 4) для исследованных материалов показал, что они могут быть описаны уравнением вида:

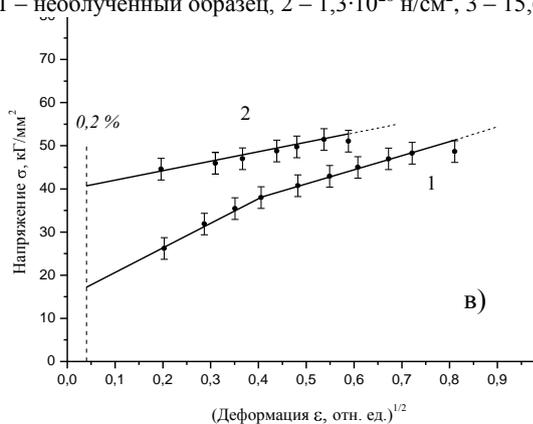
$$\sigma_{ист} = \sigma_0 + k \sqrt{\epsilon_{ист}}, \quad (2)$$

где k – коэффициент деформационного упрочнения, σ_0 – величина, близкая к пределу текучести.

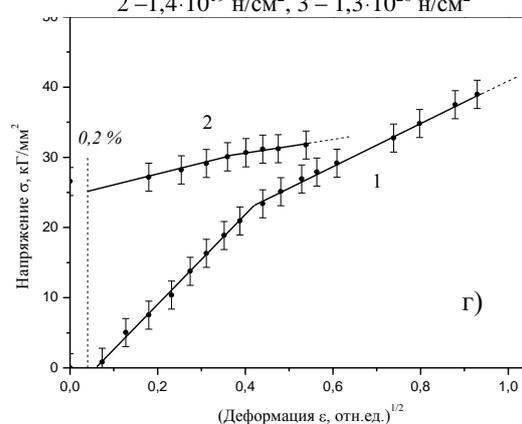
Характер взаимосвязи между величинами напряжений и деформаций, описываемый соотношением (2) ранее был экспериментально показан для необлученных чистых металлов и ряда ОЦК-сплавов [12], в то же время для металлов и сплавов, облученных до высоких повреждающих доз, это установлено впервые.



а – сталь 12X18H10T (1,2) и 08X16H11M3 (3):
1 – необлучённый образец, 2 – $1,3 \cdot 10^{20}$ н/см², 3 – $15,6$ сна



б – никель: 1 – необлучённый образец,
2 – $1,4 \cdot 10^{19}$ н/см², 3 – $1,3 \cdot 10^{20}$ н/см²



в – армко-железо: 1 – необлучённый образец, 2 – $1,4 \cdot 10^{19}$ н/см²

г – медь: 1 – необлучённый образец, 2 – $5 \cdot 10^{20}$ н/см²

Рисунок 4. «Истинные» кривые пластического течения в координатах « $\sigma_{ист} - \sqrt{\epsilon_{ист}}$ »
для необлученных и облученных нейтронами материалов

Как видно из рисунка 4 величина пластической деформации достигает больших значений как для необлученных, так и для облученных нейтронами металлов. При этом локализованная деформация в ряде случаев достигает величины $150 \div 200$ % и выше. Отметим, что речь идет о локальной пластичности – величине, достигаемой в полосах локализации.

Можно отметить, что исследованные нами материалы деформируются, как правило, с образованием нескольких стадий пластического течения (рисунок 4). Стадии различаются по величине угла наклона k , входящего в соотношение (2). Облучение смещает стадии в область меньших деформаций. Например, в облученном армко-железе (рисунок 4в) деформация начинается со второй стадии относительно исходного материала. Данный эффект можно объяснить тем, что облучение нейтронами привело к формированию такой структуры материала, которая близка к структуре, образующейся в необлученном металле

лишь при деформации 20 %. Для подтверждения этой гипотезы необходимы дополнительные и в том числе структурные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для ряда модельных чистых металлов (никель, армко-железо, медь, молибден) и промышленных сплавов (12X18H10T, 08X16H11M3), облученных нейтронами, выявлены закономерности локализованной пластической деформации.

С использованием разработанной методики «цифровой оптической экстензометрии» построены кривые деформационного упрочнения в координатах «истинные напряжения – истинные деформации». Полученные результаты могут быть использованы при разработке современных теорий пластического формоизменения и для оценки деформационной способности облученных металлических материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малыгин, Г.А. Структурные факторы, влияющие на устойчивость пластической деформации при растяжении металлов с ОЦК решеткой / Г.А. Малыгин // Физика Твердого Тела – 2005. – Т. 47, №5. – С. 870-875.
2. Малыгин, Г.А. Анализ структурных факторов, определяющих образование шейки при растяжении металлов и сплавов с ГЦК-решеткой / Г.А. Малыгин // Физика Твердого Тела – 2005. – Т. 47, №2. – С. 236-241.
3. Иванова, В.С. Синергетика: Прочность и разрушение металлических материалов / В.С. Иванова. – М. : Наука, 1992. – 285 с.
4. Панин, В.Е. Физическая мезомеханика материалов / В.Е. Панин, А.Д. Коротаев, П.В. Макаров, В.М. Кузнецов // Изв. ВУЗов, физика – 1998. – №9. – С. 8-37.
5. Кришталл, М.М. Взаимосвязь неустойчивости и мезоскопической неоднородности пластической деформации. Ч.2. Нелинейная модель устойчивости пластической деформации: построение, анализ, численное моделирование и количественные оценки / М.М. Кришталл // Физика металлов и металловедение – 2001. – Т. 92. – №3. – С. 96-112.
6. Малыгин, Г.А. Анализ факторов, вызывающих нестабильность деформации и потерю пластичности облученной нейтронами меди / Г.А. Малыгин // Физика Твердого Тела – 2005. – Т. 47. – №4. – С. 632-638.
7. Максимкин, О.П. Деформационная экстензометрия при механических испытаниях высокоактивных образцов металлов и сплавов / О.П. Максимкин, М.Н. Гусев, И.С. Осипов // Вестник Национального Ядерного Центра Республики Казахстан – 2005. – №1. – С. 46-52.
8. Мигачев, Б.А. Повышение точности измерения деформационного состояния при использовании координатных сеток / Б.А. Мигачев, В.П. Волков // Заводская лаборатория – 1988. – Т. 54. – №5. – С. 77-79.
9. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. – М. : МИР, 1982. – Т. 2. – С. 584-590.
10. Паршин, А.М. Структура, прочность и радиационная повреждаемость коррозионно-стойких сталей и сплавов / А.М. Паршин. – Челябинск. : Металлургия, 1988. – 656 с.
11. Garner, F.A. Irradiation Performance of Cladding and Structural Steels in Liquid Metal Reactors / F.A. Garner // Materials Science and Technology: A Comprehensive Treatment – 1994. – Vol. 10A. – P. 419-543.
12. Трефилов, В.И. Деформационное упрочнение и разрушение поликристаллических металлов / В.И. Трефилов [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1989. – 256 с.

НЕЙТРОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН МЕТАЛДЫҚ ПОЛИКРИСТАЛДАРДЫҢ ПЛАСТИКАЛЫҚ АҚҚЫШТЫҒЫ МЕН ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ БЕРІКТЕУДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Осипов И.С., Максимкин О.П., Гусев М.Н.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Жаңа «цифрлық оптикалық экстензометрия» әдісін қолданып нейтрондармен сәулеленген модельді таза металдар (никель, армо-железо, медь, молибден) мен өнеркәсіптік қорытпалардың (12X18H10T, 08X16H11M3) пластикалық деформациясының ерекшеліктерін зерттеу жүргізілді. Сәулеленген металл материалдардың «ақиқат кернеулер-ақиқат деформациялар» координаттарында деформациялық беріктеудің қисықтары алынып және талданды.

PECULIARITIES OF PLASTIC FLOW AND DEFORMATION HARDENING OF METAL POLYCRYSTALS IRRADIATED WITH NEUTRONS

I.S. Osipov, O.P. Maksimkin, M.N. Gusev

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

With use of a new technique - «digital optical extensometry» - the research of peculiarities of plastic deformation of metal materials irradiated by neutron was carried out. Model pure metals (nickel, armko-iron, copper, molybdenum) and industrial alloys (12Cr18Ni10Ti, 08Cr16Ni11Mo3) were investigated. Curves of deformation hardening in coordinates «true stress - true strain» were received and analysed.

УДК 621.039.1:620.16

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ «АСУМ/К»**Поломошнова Л.В., Чернядьев В.В., Коровиков А.Г., Котляр Е.В.***Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Наличие системы строгого контроля и учета ядерных материалов является одним из важных требований режима нераспространения. Эти системы необходимо совершенствовать в соответствии с новыми техническими возможностями. Требуется поэтапная замена существующего программного обеспечения на базе устаревшего «ACCESS-2».

В связи с этим в институте атомной энергии была разработана автоматизированная система учета и контроля ядерных материалов «АСУМ/К».

Система разработана с использованием клиент-серверной технологии. Клиентской частью является программа, разработанная в среде программирования Delphi, серверная часть разработана в СУБД MySQL.

В настоящее время система запущена в опытно-промышленную эксплуатацию в институте, учет ядерных материалов с настоящего момента осуществляется в новой и существующей системах параллельно.

Работа выполнялась по техническому контракту между Комиссией Европейского Сообщества в лице Объединенного исследовательского Центра (г. Испра, Италия) и ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК в рамках проекта «TACIS-98» (шифр темы K5.01/98).

В течение 10 лет в институте атомной энергии проводятся работы по совершенствованию всех направлений деятельности по нераспространению ядерного оружия, учету и контролю ЯМ, физической защите, экспортному контролю и незаконному обороту.

Компьютерный учет ядерных материалов в институте осуществляется с 1998 года после внедрения автоматизированной системы инвентарного учета материалов AIMAS, разработанной в среде программирования ACCESS-2.

В целом система AIMAS удовлетворяла требованиям системы учета ядерных материалов в институте в течение нескольких лет. Вместе с тем, по мере появления новых операционных систем стали выявляться проблемы совместимости и таким образом система требовала постоянной поддержки со стороны программистов, что не позволяло нормально эксплуатировать систему и обеспечивать надежное хранение и обращение с данными.

В связи с этим была разработана автоматизированная система учета и контроля ядерных материалов «АСУМ/К» с целью поэтапной замены существующего программного обеспечения на базе устаревшего «ACCESS-2».

Основные этапы работы:

- выбор СУБД и среды программирования;
- разработка программного обеспечения;
- проверка работоспособности системы на тестовых данных;
- запуск системы в опытно-промышленную эксплуатацию.

СОСТАВ СИСТЕМЫ

Система состоит из серверной и клиентской частей. На сервере хранится база данных. На клиентском рабочем месте установлена программа по ре-

дактированию данных, проведению операций с учетными единицами и формированию отчетов. Основное преимущество клиент-серверной технологии: целостность и работоспособность базы данных, не зависящая от проблем в работе сети и программ-клиентов. Т.е. что бы ни происходило на компьютере клиента (некорректные запросы, зависание и т.п.) вся работа с базой данных остается в руках программы-сервера, которая имеет достаточно средств контроля и защиты, что бы не зависеть от «неправильных» действий клиента. Кроме того, использование клиент-серверной технологии значительно ускоряет работу с базой данных, т.е. передаются только те данные, которые запросил клиент, а не вся база целиком.

ВЫБОР СУБД И СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Для реализации серверной части системы из множества различных видов баз данных была выбрана СУБД MySQL [1]. Основными преимуществами MySQL, по сравнению с другими продуктами (PostgreSQL, Microsoft SQL Server и Oracle), являются - высокая производительность, простота конфигурирования и изучения, а также переносимость и доступность исходного кода. Сервер MySQL управляет доступом к данным, позволяя работать с ним одновременно нескольким пользователям, с учетом их прав доступа. Кроме того, MySQL доступна для ряда платформ Unix, Windows NT/2000, 95/98. Для работы с данными используется - язык структурированных запросов SQL.

Клиентская часть реализована в среде программирования Delphi 6.0, которая является наиболее удобным инструментом для Windows-программирования [2]. Компилятор, встроенный в Delphi, обеспечивает высокую производительность, необходимую для построения приложений в архитектуре «клиент-сервер». Этот компилятор в на-

стоящее время является одним из самых быстрых в мире (скорость компиляции более 120 тысяч строк в минуту) [3].

Для управления СУБД MySQL использован драйвер MySQL ODBC 3.51 Driver, предоставляющий прикладным программам доступ к СУБД, использующим язык SQL в качестве стандарта языка обработки данных [4].

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Автоматизированная система сконфигурирована для:

- одной установки в составе двух ЗБМ;
- одного оператора установки, ответственного за использование системы;
- нескольких операторов КТИ, ответственных за обращение с материалами и предоставление данных оператору установки.

ЗБМ имеют отдельные базы данных, схемы редактирования и формирования отчетов. Взаимосвязь между базами данных двух ЗБМ осуществляется на этапе передач учетных единиц между ЗБМ.

Данные по ЗБМ, КТИ и типам учетных единиц материалов вводятся администратором системы при ее отладке и впоследствии могут быть отредактированы.

СВОЙСТВА СИСТЕМЫ:

Система АСУМ/К реализует функции учета и контроля материалов посредством [5]:

1. исполнения функций учета фактически наличного количества материала на уровне партий материала;
2. поддержки двух ЗБМ, размещенных на одном персональном компьютере (сервере);
3. регистрации процедур по обращению с материалами;
4. регистрации перемещений ядерного материала между ЗБМ и КТИ;
5. генерирования отчетов в государственный орган по линии МАГАТЭ, как в бумажном, так и в электронном виде;
6. генерирования оперативных документов для инспекторов МАГАТЭ;
7. защиты данных от несанкционированного доступа путем авторизации и контроля доступа к базе данных, размещенной на сервере;

Система имеет наглядный интерфейс и проста в эксплуатации для пользователя - специалиста в об-

ласти учета материалов при методической поддержке программиста.

РАБОТА С СИСТЕМОЙ

Работа с системой начинается с регистрации пользователя на сервере путем ввода имени пользователя и пароля доступа, что обеспечивает безопасность хранения данных в базе.

После правильного ввода пароля появляется основная форма системы (рисунок 1), которая позволяет осуществлять основные операции системы.

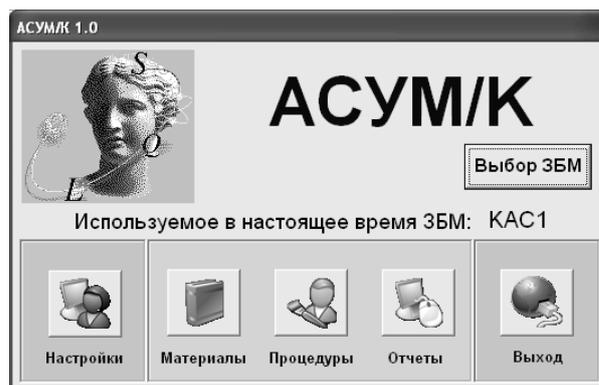


Рисунок 1. Основная форма системы

Выбор ЗБМ - осуществляет выбор текущей ЗБМ. Выбор ЗБМ является обязательной процедурой, если ЗБМ не выбрана другие операции с системой не возможны (кроме «Выбор ЗБМ», «Выход»).

Настройки – ввод, удаление и редактирование параметров ЗБМ, КТИ, материалов (данная функция доступна только пользователю с правами доступа «администратор системы»).

Материалы – просмотр и редактирование данных, проведение операций по регистрации случайных и измеренных потерь, разницы отправителя и получателя, добавление единиц, получаемых из других ЗБМ страны, по импорту, случайные находки (рисунок 2).

Процедуры – проведение процедур перегруппировки и передачи ЯМ между КТИ одной ЗБМ, между ЗБМ одной установки, в другие ЗБМ страны (рисунок 3, 4).

Отчеты – подготовка, просмотр и печать пяти основных документов по линии МАГАТЭ: ОИИК, ГЖ, СФНК, МБО (рисунок 5).

Материалы

Просмотр, редактирование, добавление

Ид. №: T000121 КОМ: DZ2J Лиг. вес: 4053
 КТИ: E Место в КТИ: E123 Вес U: 3769
 Дата: 07/12/2000 12:19:32 БИ: M Вес U-235: 792
 Тех.док: 270-01/4ДСП Кол-во: 30 Обогащ. (%): 21
 Тип УЕ: Облучен? Fr

История наличия учетной единицы:

INVDATE	ITEMID	LOC	Coordinate	NITEMS	NETWT	ELTWT-U	U-235	Type	EXPNR	activated	ENRICH-U
07/12/2000	T000121	E	E123	3	4053	3769	792	Твэлы шаровь	270-01/4ДСП		21
07/12/2000	T000121	E	E123	30	4053	3769	792	Твэлы шаровь	270-01/4ДСП	Fr	21

Учетное редактирование Дополнительное редактирование Добавление

Сохранить изменения Отменить изменения Выйти из режима Закрыть форму

Рисунок 2. Форма «Материалы»

Перегруппировка

Перечень всех ЯМ

Выбор	Ид. №	КТИ	Место в КТИ	Лиг. вес	Вес U	Вес U-235	Обогащ. %
<input type="checkbox"/>	A103031	A	A 1	7116	6140	49	1
<input type="checkbox"/>	A103044	A	A24	18400	16190	113	1
<input checked="" type="checkbox"/>	B099209	B	B 9	3100	605	217	36
<input type="checkbox"/>	B099213	B	B13	3000	600	216	36
<input type="checkbox"/>	B099215	B	B15	3400	620	223	36
<input type="checkbox"/>	B099216	D	D25	3500	625	225	36

ЯМ, отобранные для перегруппировки

Ид. №	КТИ	Место в КТИ	Лиг. вес	Вес U	Вес U-235	Обогащ. %
A103044	A	A24	18400	16190	113	1
B099209	B	B 9	3100	605	217	36

Выбрать Очистить

Ид. №: B099209 КОМ: JQ2F Тип УЕ: Твэлы ИВ1 КТИ: B Место в КТИ: B 9
 Дата: 03/03/2006 12:56:07 Кол-во: 1 Облучен? Fr Лиг. вес: 3100 Вес U-235: 217
 Тех.док: 42-07/137 БИ: N Вес U: 605 Обогащ. (%): 36

Обнулить Новая Изменить Сохранить изменения Отменить изменения

Результаты перегруппировки

Было:

Ид. №	КТИ	Место в КТИ	Лиг. вес	Вес U	Вес U-235	Тип УЕ
A103044	A	A24	18400	16190	113	ВВЗР
B099209	B	B 9	3100	605	217	Твэлы ИВ1

Итого было: 21500 16795 330

Стало:

Ид. №	КТИ	Место в КТИ	Лиг. вес	Вес U	Вес U-235	Тип УЕ
B099209	B	B 9	3100	605	217	Твэлы ИВ1
A103044	A	A24	18400	16190	113	ВВЗР

Итого стало: 21500 16795 330

Закрыть форму

Рисунок 3. Форма проведения процедуры перегруппировки

Передача материалов

Тип передачи:

Внутри ЗБМ ЗБМ: КАС1

Внутри страны КТИ: А

Экспорт Место в КТИ: А1

Ид. №	Тип УЕ	КОМ	КТИ	Место в КТИ	Вес U	Вес U-235	Выбрать
A103031	ВВЗР	JQ2F	A	A 1	6140	49	<input type="checkbox"/>
A103044	ВВЗР	JQ2F	A	A24	16190	113	<input type="checkbox"/>
B099209	Твэл ИВ1	JQ2F	B	B 9	605	217	<input type="checkbox"/>
B099213	Твэл ИВ1	JQ2F	B	B13	600	216	<input type="checkbox"/>
B099215	Твэл ИВ1	JQ2F	B	B15	620	223	<input checked="" type="checkbox"/>
B099216	Твэл ИВ1	JQ2F	D	D25	625	225	<input type="checkbox"/>
C003002	Тигель ИВ	JQ2F	C	C 2	960	96	<input type="checkbox"/>
C003003	Тигель ИВ	JQ2F	C	C 3	1000	100	<input type="checkbox"/>
C003004	Тигель ИВ	JQ2F	C	C 4	1120	112	<input type="checkbox"/>
D000401	Табл.УО2	JQ2F	D	D20	106	5	<input type="checkbox"/>
D000402	Табл.УО2	JQ2F	D	D21	107	5	<input type="checkbox"/>
D000403	Табл.УО2	JQ2F	D	D22	108	5	<input type="checkbox"/>
1234567	Кассета №6	D22D	A	A1	7950	46	<input type="checkbox"/>

ПЕРЕДАТЬ Очистить Закреть форму

Рисунок 4. Форма проведения процедуры передачи материалов

Отчеты

- Перечень учетных единиц
- Отчет об изменении инвентарного количества
- Главный журнал
- Список фактически наличного количества
- Материально-балансовый отчет

Закреть форму

Рисунок 5. Форма выбора отчетов для просмотра, вывода на печать или сохранения в файл

ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

С целью проверки работоспособности системы были подготовлены и введены тестовые данные на 20 учетных единиц для каждой ЗБМ, имитирующие по формату и набору параметров реальные данные двух ЗБМ установки. На тестовых данных были проведены все возможные типы редактирования, все операции и процедуры, возможные в системе, сформированы и напечатаны все виды отчетов. Сгенерированы электронные файлы с тремя стандарт-

ными видами отчетов в государственный орган: ОИИК, СФНК, МБО.

Система показала себя работоспособной, все операции были проведены без сбоев и напечатанные отчеты полностью соответствуют требованиям Государственной системы учета и контроля ЯМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана новая система компьютерного учета ядерных материалов АСУМ/К с использованием современных сред программирования и систем управления баз данных Delphi и My SQL. В системе предусмотрена защита от несанкционированного доступа как к системе в целом, так и к программно-обеспечению.

Система соответствует потребностям по учету, хранению, редактированию данных, формированию отчетов. Наряду с корректной работой системы по общему учету ЯМ и отчетности по линии МАГАТЭ, система может быть доработана дополнительными функциями и свойствами.

Система АСУМ/К запущена в опытно-промышленную эксплуатацию в ИАЭ, учет ядерных материалов с марта 2006 года осуществляется в новой и существующей системах параллельно.

Разработанная система может успешно использоваться на любой находящейся под гарантиями МАГАТЭ исследовательской установке, имеющей в обращении материалы в виде балк-форм и штучных изделий и ведущей учет на русском языке. При переводе всех форм и отчетов на английский язык система может быть применена в любом другом регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аткинсон, Леон. MySQL. Библиотека профессионала / Леон Аткинсон. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 624 с.
2. Гофман, В. “Delphi 6” / В. Гофман, А. Хоменко. – М.: “БХВ-Петербург”, 2002. – 400 с.
3. Епанешников, А. Программирование в среде DELPHI 2.0: Учебное пособие: В 4-х ч. Ч. 2. Язык Object Pascal 9.0 / А. Епанешников, В. Епанешников – М.: ДИАЛОГ–МИФИ, 1998 – 319 с.
4. Фаронов, В.В. Программирование баз данных в DELPHI 7. Учебный курс / В. В. Фаронов – СПб.: Питер, 2004. – 459 с.
5. Техническое задание №1776, от 01.03.2006. Разработка ПО по учету и контролю ядерных материалов, 2006 – 9 с.

«АСУМ/КҢ ЯДРОЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ЕСЕПТЕМЕЛЕРІНІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІ

Поломошнова Л.В., Чернядьев В.В., Коровиков А.Г., Котляр Е.В.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатова, Қазақстан

Ядролық материалдардың қатаң бақылауы мен есептемелі жүйесінің бар болуы таратылмайтын режимнің маңызды талаптарының бірі болып табылады. Бұл жүйелерді жаңа техникалық мүмкіндіктерге сәйкес дамыту қажет. Ескірген «ACCESS-2» базасында бар бағдарламалық қамтамасыздандыруға кезеңдік алмасулар талап етіледі.

Осыған байланысты атом энергиясы институтында «АСУМ/К» ядролық материалдарды бақылау және есептемелерінің автоматтандырылған жүйесі өңделді.

Жүйе солтүстік – клиент технологиясын қолдану арқылы өңделді. Клиент бөлігі - Delphi бағдарламасы ортасында өңделген, солтүстік бөлігі – мәліметтер базасын басқару жүйесі (МБЖ) MySQL -да өңделген бағдарлама болып табылады.

Осы шақта жүйе институтта тәжірибелі - өндірістік пайдалануға жіберілген, ядролық материалдардың есебі осы мезетте жаңа және әрекеттегі жүйелерде қатарлас іске асырылуда.

Жұмыс Еуропалық Қоғамдастық Комиссиясы тұлғасы- Біріккен зерттеу Орталығы (Испра қаласы, Испания) мен ҚР ҰЯО РМК АЭИ ЕМК арасындағы «TACIS-98» (тасырманың шифры K5.01/98) жобасы рамкасындағы техникалық келісім – шарт бойынша орындалды.

AUTOMATIZED SYSTEM OF NUCLEAR MATERIALS CONTROL AND ACCOUNTING «ASAM/K»

L. Polomoshnova, V. Chernyadyev, A. Korovikov, E. Kotlyar

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The presence of nuclear materials control and accounting system is a one of important requirements of nonproliferation regime. This system should being improved in according to new technical capabilities. The step by step exchange of existing software on the base of the out-of-date “ACCESS-2” is required.

In this connection in the Institute of Atomic Energy the automate system of nuclear materials control and accounting “ASAM/K”.

New system was developed on the base of client-server technology. Client part is operated under “Delphi” programming environment, the server part is developed in MySQL data base operating system.

Now ASAM/K system is introduced in a pilot operation in the institute and since present time nuclear materials accounting is conducted in both new and existing system at the same time.

The work was conducted in a frame of service contract between Joint Research Centre of European Commission and Institute of Atomic Energy of National Nuclear Centre of Republic of Kazakhstan under project “TACIS-98” (K5.01/98).

УДК 38.63:58.91.37

ИЗУЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Морговская М.К., Соколова И.Н., Неделков А.И., Султанова Г.С., Казаков Е.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В течение 2005 г. на территории Семипалатинского Испытательного Полигона проведен комплекс работ по изучению сейсмичности в пределах СИП. В статье приводятся краткие сведения об исторической сейсмичности Семипалатинского Испытательного Полигона; сети полевых сейсмических станций, методике и результатах обработки полевых наблюдений и их геолого-тектоническая интерпретация.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о сейсмичности территории бывшего СИП неоднократно возникал в ряде публикаций, например, в [1]. Проблема имеет два основных аспекта. Во-первых, важно знать, существует ли в этом районе естественная тектоническая активность? Возникали ли здесь ранее землетрясения еще до начала ядерных испытаний? Если посмотреть каталог землетрясений Казахстана, каталог сильных землетрясений СССР, карту общего сейсмического районирования Казахстана, то ответ на этот вопрос будет отрицательным. Однако этот вывод может быть следствием того, что специальных исследований сейсмичности инструментальными средствами здесь никогда не проводились. Следует, однако, отметить, что в этом районе уже более 70 лет работала сейсмическая станция «Семипалатинск». Но материалы её не привлекались к составлению каталогов землетрясений. Последние десятилетия, до развала СССР эта станция вела работы в интересах контроля за ядерными испытаниями, её материалы практически не были доступны для «мирной» сейсмологии.

Первые сведения о том, что в районе СИП происходят землетрясения, были получены в 1976 году, когда детальный анализ записей одного сейсмического события с эпицентром в районе СИП зарубежными специалистами по ядерному мониторингу позволил говорить о том, что событие, принятое за ядерный взрыв, на самом деле является землетрясением. Факт регистрации этого землетрясения позволяет надеяться на то, что здесь могут иметь место и другие землетрясения.

Решение вопроса о естественной сейсмичности важно для уточнения степени сейсмической опасности района СИП. Здесь были построены и вновь возводятся ответственные сооружения, для которых необходимо учесть реальную возможную интенсивность сейсмических колебаний для обеспечения их сейсмотехнической безопасности.

Вторым аспектом проблемы сейсмичности в районе СИП является возможная наведенная сейсмичность в этом районе, являющаяся следствием проведения здесь многочисленных ядерных испытаний. Существуют ли здесь поствзрывные геодинамические процессы, отражением которых может

быть активность слабых землетрясений? Есть различные мнения на этот счет. Некоторые исследователи считают, что ядерные взрывы могли спровоцировать усиление сейсмической активности даже на большом удалении от полигона, в том числе на Северном Тянь-Шане. Другие отвергают эту возможность. Однако однозначного ответа на этот вопрос не существовало.

Работы 2005 года впервые за многие годы направлены непосредственно на изучение сейсмичности в пределах СИП. В настоящей статье представлены результаты изучения сейсмичности, как по литературным данным, так и по данным локальной сети специальных сейсмических станций, установленных на время полевого сезона в районе площадки Балапан.

1 АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ТЕРРИТОРИИ СИП И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ

Судить об исторической сейсмичности этого региона можно только по данным либо глобальных сейсмических сетей, либо служб других организаций, охватывающих обработкой данных этот район.

При составлении исторического каталога нами были использованы данные двух типов.

Во-первых, это данные различных международных служб:

1. Каталоги землетрясений, составленные Геологической службой США (USGS) по данным мировой сети станций (каталоги PDE и NEIC) с 1973 г. по 2004 г.
2. Каталоги Международного Сейсмологического центра (ISC), расположенного в Эдинбурге (Англия) с 1976 по 2002 г.
3. Данные обзорного сейсмологического бюллетеня (REB), составляемого в Международном центре данных в Вене (Австрия), с 2001 по 2004 г.

Во-вторых, это данные сейсмических служб бывшего Советского Союза. В частности, это «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР» [8], который являлся основой для составления карты общего сейсмического районирования территории СССР 1978 года [9], а также каталог землетрясений, который включен в книгу «Сейсмическое районирование Казахстана» [10]. Для их составления уже привлекалось большое количество

самых разных источников, в том числе архивных данных. Использовались также каталоги из ежегодников: «Землетрясения в СССР» [11], начиная с 1968 по 1991 г., «Землетрясения Северной Евразии» [12] с 1992 по 1998 г. Из них собиралась информация по двум каталогам – Средней Азии и Казахстана и Алтае-Саянской зоны. Из других источников [8-16] найдено 23 землетрясения с различными магнитудами и энергетическим классом. Все события с очагами в земной коре.

Совместный анализ данных различных источников позволил составить исторический каталог землетрясений района СИП, включающий 25 событий (таблица 1). На рисунке 1 представлена карта эпицентров исторических землетрясений. Поскольку для разных событий имелись разные характеристики

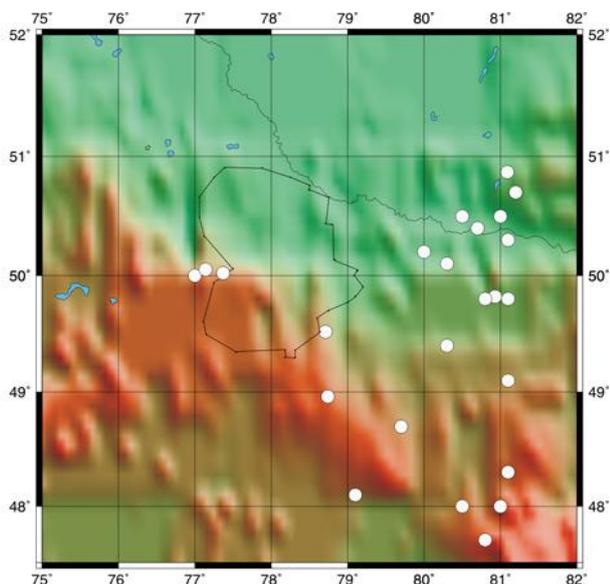


Рисунок 1. Карта эпицентров исторических землетрясений (1783 - 1996 гг.)

энергии и магнитуд, трудно сопоставимые друг с другом, все эпицентры показаны одинаковым по размеру значком.

С 16 января 2003 г. в Центре данных начал создаваться сводный оперативный бюллетень по данным двух сетей наблюдений – ИГИ и Сейсмологической опытно-методической экспедиции (СОМЭ) МОН РК. Для составления бюллетеня используются данные, поступающие в Центр в реальном времени.

Всего за 2002 - 2005 г. (по июнь 2005 г. включительно) в данном районе было зарегистрировано всего 189 событий, из них 26 землетрясения. В таблице 2 приведен каталог современной сейсмичности по данным Центра данных в районе расположения СИП. На рисунке 2 показана карта эпицентров землетрясений за 2002 - 2005 (июнь) гг.

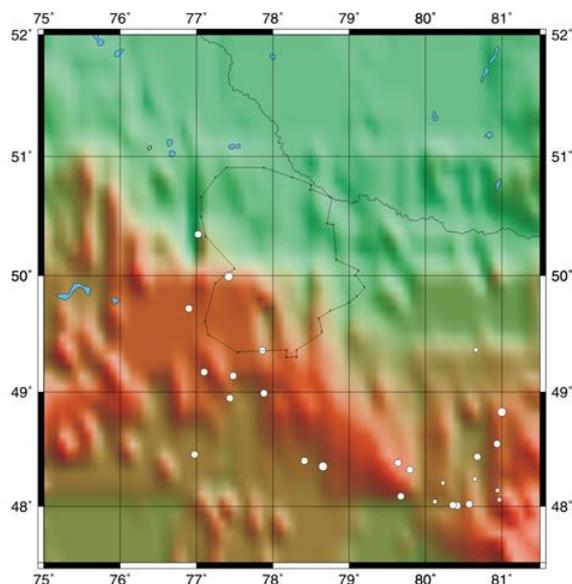


Рисунок 2. Карта эпицентров землетрясений за 2002 - 2005 (июнь) гг.

Таблица 1. Исторический каталог землетрясений территории СИП и прилегающих районов

Год	Месяц	День	Время, t ₀	Координаты гипоцентра			Магнитуда	Интенсивность, баллы	Энергетический класс, К	Источник
				Широта, град., N	Долгота, град., E	Глубина, км				
1783	1	17	10:00(±6ч)	50.70	81.20	(27)13-54	5.9±1.0	7±1.0		[8, 9]
1871	2	21	15:30(±1ч)	48.0 (±1°)	80.5 (±1°)	(10) 3-30	3.6±1.0	5±1.0		[8]
1887	12	10±1сут		50.5 (±0.5°)	80.5 (±0.5°)	(15) 7-30	5.2±1.0	7±1.0		[8]
1925	9	28	21:42:40 (±20 с)	50 (±1°)	76 (±1°)	(24) 12-48	5.8±0.5	7±1.0		[8]*
1950	10	28	16:47:18 (±20 с)	52.3 (±0.5°)	79.3 (±0.5°)	(25) 12-50	5.0±0.5	5-6 ±1.0		[8]
1951	2	12	17:00:20	47.7 (±0.5°)	80.8 (±0.5°)	(20) 10-40	4.6±0.5			[8]
1962	10	27	16:30:28.4	50.87	81.09				8	[10]
1962	08	21	10:40:44.4	48.7	79.7				7	[10]
1966	12	14	10:29:19	49.82	80.93				8	[10]
1966	12	26	17:39:38.5	49.52	78.71		4.3		10.7	[12]
1969	2	14	03:00:11	50.40	80.70				9	[10]
1969	11	21	07:40:19	49.40	80.30				9	[10]
1976	3	20	04:03:39.34	50.02	77.37		5.1			NEIC, ISC
1978	9	16	11:16:52	50.20	80.00				10	[10]
1979	2	20	19:37:47	50.10	80.30				11	[10]
1980	12	4	18:22:25	49.10	81.10				9	[10]

ИЗУЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Год	Месяц	День	Время, t ₀	Координаты гипоцентра			Магнитуда	Интенсивность, баллы	Энергетический класс, К	Источник
				Широта, град., N	Долгота, град., E	Глубина, км				
1982	9	5	13:44:11	48.0	81.0			8.7	[10]	
1983	8	7	07:25:33	50.50	81.00			9.2	[10]	
1985	2	11	12:07:05	49.8	81.1			9.1	[10]	
1988	7	20	21:07:53	48.3	81.1			11.5	[10]	
1988	11	10	20:10:12	48.1	79.1			9.2	[10]	
1991	5	4	03:06:33	49.80	80.80			8.7	[10]	
1995	5	3	08:36:23	50.30	81.10			9.2	[11]	
1995	3	6	05:27:37,3	48.96	78.74		3.8	9.0	KNDC, [12]	
1996	3	26	13:58:11.7	50.05	77.14	13	4.7	4	11.0 NEIC, ISC, KNDC, [11]	

Примечание - Имеются дополнительные данные Никонова А.А. по макросейсмическому эпицентру (50°N, 77°E).

Таблица 2. Каталог землетрясений по данным совместного и оперативного бюллетеней Центра данных ИГИ НЯЦ РК

№ п/п	Дата	День (юлианский)	Время, T ₀	Координаты гипоцентра			Магнитуда, m _{рв}	Энергетический класс, К
				Широта, град., N	Долгота, град., E	Глубина, Н, км.		
1	11/14/2002	(318)	23:05:31.999	48,83	81,00	2	3,3	8,8
2	12/09/2002	(343)	03:27:52.260	48,32	79,80	-	2,7	7,0
3	3/13/2003	(072)	14:21:49.628	48,24	80,65	-	1,4	3,6
4	5/30/2003	(150)	19:31:27.020	48,01	80,42	-	2,2	6,0
5	8/06/2003	(218)	11:56:46.933	48,46	76,97	-	2,3	5,7
6	8/09/2003	(221)	10:18:56.334	49,72	76,90	-	2,5	6,7
7	8/13/2003	(225)	13:18:03.603	48,99	77,88	-	2,1	5,8
8	8/27/2003	(239)	12:53:27.206	50,35	77,02	-	2,7	6,5
9	8/29/2003	(241)	15:27:28.102	49,17	77,10	-	2,6	6,6
10	8/30/2003	(242)	23:44:49.742	48,44	80,68	-	2,2	5,8
11	1/27/2004	(027)	20:18:41.230	49,14	77,48	-	2,8	6,8
12	3/13/2004	(073)	22:07:19.377	48,14	80,94	-	1,6	3,8
13	3/22/2004	(082)	16:14:28.214	48,04	80,12	-	1,7	4,5
14	3/26/2004	(086)	03:16:33.024	48,38	79,64	-	2,4	6,1
15	3/27/2004	(087)	18:16:26.793	48,35	78,66	-	3,4	8,1
16	4/15/2004	(106)	23:34:06.733	48,09	79,68	-	2,4	6,4
17	4/18/2004	(109)	17:06:00.286	49,99	77,42	7	3,8	9,1
18	5/12/2004	(133)	14:08:01.780	48,21	80,23	-	1,7	4,2
19	7/10/2004	(192)	00:25:02.512	48,55	80,94	19	2,2	5,6
20	7/10/2004	(192)	04:54:13.451	48,06	80,97	-	1,4	3,8
21	11/17/2004	(322)	14:33:52.637	48,40	78,41	-	2,5	6,6
22	12/27/2004	(362)	10:28:17.487	48,01	80,36	-	2,2	5,1
23	1/26/2005	(026)	20:28:14.393	49,37	80,66	-	2,0	5,2
24	5/07/2005	(127)	14:28:44.603	48,02	80,57	-	2,0	4,8
25	6/16/2005	(167)	04:31:07.120	49,36	77,86	-	2,5	6,4
26	6/23/2005	(174)	07:12:21.239	48,95	77,44	-	2,3	5,8

2 ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ СИП

2.1 Выбор мест расположения полевых станций сейсмического мониторинга СИП

В июне 2005 года были проведены полевые рекогносцировочные работы на площадке Балапан с целью предварительного выбора мест размещения полевых сейсмических станций наблюдения для изучения современной сейсмичности СИП.

Выбор мест размещения полевых станций сейсмического мониторинга выполнялся в соответствии со следующими основными критериями:

1 Геологический – установка станций должна осуществляться на выходах коренных пород с тем, чтобы добиться максимальной эффективной чувствительности.

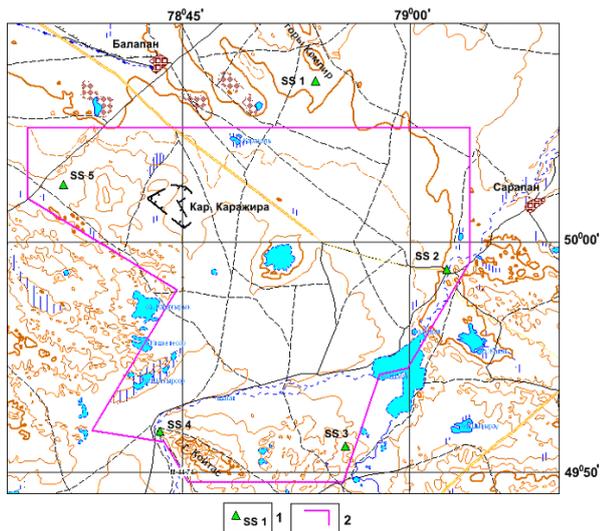
2 Конфигурация – оптимальное расположение сейсмических приемников в группе из 5 станций: приблизительно одинаковое расстояние между станциями, каждые три станции не должны находиться на одной прямой.

3 Инфраструктура – должна обеспечивать возможность обслуживания станций и их сохранность.

Большая часть территории площадки Балапан перекрыта чехлом кайнозойских глинистых отложений, где на дневной поверхности наблюдаются коренные выходы палеозойских отложений различного состава, включающие гранитоидные интрузии. Маршруты были проложены с учетом имеющихся на площади полевых дорог, позволяющих осуществлять проезд к местам расстановки станций и их обслуживание. Открытым остается вопрос о сохранности станций.

После камеральной обработки данных, полученных при рекогносцировочных работах, опреде-

лена оптимальная конфигурация сейсмической группы из 5 станций для решения задачи по исследованию сейсмичности площадки СИП. Из предложенных точек наблюдения выбраны наиболее подходящие места расположения сейсмических станций - точки T1 (SS 1), T2 (SS 2), T6 (SS 4), T7 (SS 5) и новая точка (SS 3) расположения одной из станций в юго-восточной части площадки Балапан вблизи триангуляционного пункта Жусалы. Схема расположения сейсмических станций (конфигурация) показана на рисунке 3.



1 - предварительный выбор мест установки сейсмических станций;
2 - контур площадки Балапан

Рисунок 3. Схема расположения предварительно выбранных мест установки сейсмических станций

2.2 Установка временных сейсмических станций на площадке Балапан

Пять станций сейсмического мониторинга СИП выставлены в местах, которые были выбраны при полевых рекогносцировочных работах. В каждом месте расположения станции на коренных породах бетонировалась площадка для размещения сейсмометров, проходилась шурф для размещения металлического ящика, предназначенного для размещения записывающей аппаратуры и аккумуляторов. Сейсмометры укрывались деревянными ящичками, закладывались сверху камнями и засыпались грунтом, чтобы избежать помех, создаваемых ветром, и в целях маскировки для обеспечения сохранности сейсмометров. Записывающая аппаратура закрывается в металлическом ящике на замок и также засыпается грунтом с целью сохранности аппаратуры. Обслуживание аккумуляторных батарей и проверка сейсмических станций проводится через день. Раз в неделю с каждой станции снимались записанные сейсмические данные и доставлялись в ИГИ НЯЦ РК (г. Курчатов), где проводилась их дальнейшая

обработка. При эксплуатации станции использованы по два параллельных канала для 3 компонент: EW (восток-запад), NS (север-юг) и Z (вертикальный). В случае выхода из строя основного канала регистрация сигнала не прекращалась. Окончательные координаты мест расположения сейсмических станций (место расположения сейсмометров) приведены в таблице 5. Данные координаты определены GPS приемником каждой сейсмической станции.

Таблица 3. Координаты расположения сейсмических станций площадки Балапан

Номер станции	Координаты	
	Северная широта, N	Восточная долгота, E
SS 1	50°07,6314'	78°53,8446'
SS 2	49°58,8161'	79°02,6243'
SS 3	49°51,2713'	78°55,8042'
SS 4	49°51,6961'	78°43,4548'
SS 5	50°02,4491'	78°37,2251'

3 ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ СИП В 2005 г.

3.1 Текущая обработка полевых сейсмических данных на площадке ОСГК

Данные полевых станций 1 раз в неделю поступали в камеральную группу в формате miniseed [14]. Для визуального обнаружения событий сырые данные просматривались программой rql [15].

Данные полевых станций после проведения контроля качества и предварительного просмотра преобразованы в формат CSS3.0 [16]. Для этого был создан комплекс программ конвертации «сырых» данных в формате mseed в формат CSS3.0. Преобразование данных полевых станций в формат CSS3.0 позволило провести визуализацию записей, расстановку времен вступлений, замер амплитуд, локализацию событий и расчет магнитуд при помощи пакета программ DATASCOPE [17]. Визуально выбраны все события в диапазоне расстояний до 160 км [18]. На рисунке 4 показан пример определения координат сейсмического события программой dbloc2 (пакет программ DATASCOPE).

Для всех событий были определены координаты источников, при локализации использовался годограф IASPEI-91. Всего обнаружено и пролокализовано 165 событий.

Для всех событий определены магнитуды mb с использованием программы dbmag. Для некоторых событий определение магнитуды оказалось невозможно из-за отсутствия калибровочной кривой для самых малых эпицентральных расстояний, а также из-за невозможности промерить на фильтре SKM необходимые амплитуды.

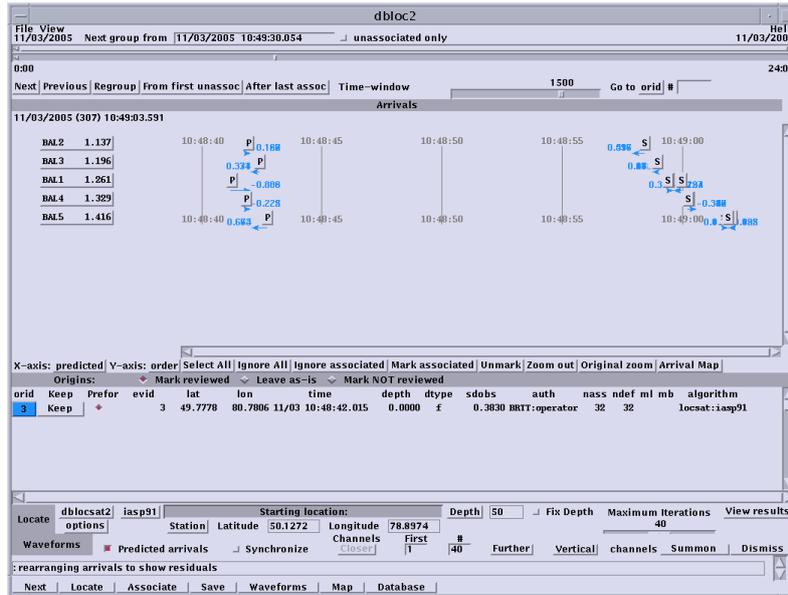
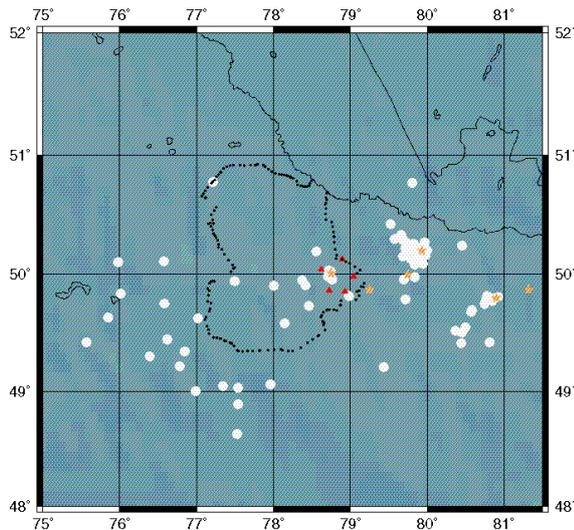


Рисунок 4. Пример определения координат сейсмического события программой dbloc2

На рисунке 5 приведена предварительная карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных временной сетью станций, расположенных на площадке Балапан.



звездочки – карьеры производящие горнорудные работы; красные треугольники - места размещения полевых сейсмических станций; белые кружки - эпицентры сейсмических событий

Рисунок 5. Эпицентры сейсмических событий в районе СИП, зарегистрированных пятью полевыми станциями в сентябре-ноябре 2005 г.

3.2 Результаты обработки и интерпретации полевых сейсмических данных в ЦСОССИ

В настоящее время на территории СИП и близких к нему районов проводится большое количество промышленных карьерных взрывов, которые и раньше регистрировались станциями НЯЦ РК – Курчатова, Курчатова-Крест, Моканчи, Боровое. Энергия этих взрывов бывает достаточно велика – энергетический класс достигает $K=8-9$. В таблице 4

приведены координаты карьеров, расположенных вблизи территории СИП.

Сейсмические события, зарегистрированные в ходе полевых работ, были тщательно проанализированы с точки зрения выяснения их природы. Все события были сгруппированы в отдельные выборки по координатам вблизи карьеров, изучены характерные особенности формы записи для каждого взрывного района, построены распределения событий по времени и энергетическим характеристикам.

Таблица 4. Координаты карьеров, расположенных вблизи СИП

Название карьера	Широта, град., N	Долгота, град., E
Кара-Жыра	50.0255	78.7295
Ак-Мак	49.9825	78.7317
Новотаубинский рудник	49.7974	80.8576
Жанан	49.8636	79.241
Суздальский	50.0452	79.7611
Мизек	48.8752	77.4138
Центральный Мукур	50.2134	79.9019
Каргайлы	49.3769	75.7135
Кентюбинский	49.4095	76.1125
Каражал	49.8661	78.039
Семей-Тай	50.6669	78.5891

В ходе полевых работ временные станции, установленные на площадке Балапан, зарегистрировали 5 сейсмических событий, волновые формы которых похожи на сейсмические записи землетрясений. В таблице 5 приведен каталог таких событий. На рисунке 6 показана сейсмограмма землетрясения 25.10.2005 г., $t_0=19:36:20.357$, $\varphi=50.1583^\circ$, $\lambda=76.6280^\circ$. Сейсмическая запись имеет характерный вид, соответствующий землетрясениям этого района, в отличие от взрывов они не имеют поверхностных волн, отношение амплитуд S/P больше 1.

Таблица 5. Каталог землетрясений, зарегистрированных временными станциями, установленными на площадке Балапан в 2005 году

Дата	Время в очаге	Широта, град., N	Долгота, град., E	Магнитуда, М _{рв}	Энергетический класс, К	События, зарегистрированные станциями НЯЦ РК
10/05/2005	22:40:12.795	48.8306	80.5775			+
10/15/2005	11:11:17.171	49.4019	78.1064			
10/16/2005	6:11:53.731	48.7911	80.0286	2.30		
10/19/2005	18:38:38.985	49.2995	76.6932	3.00	7.27	+
10/25/2005	19:36:20.357	50.1583	76.6280	2.81	7.38	+

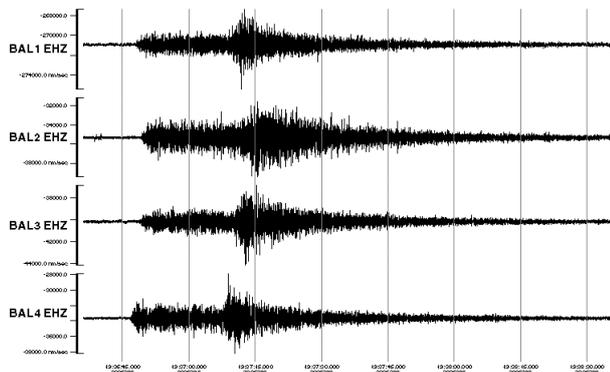


Рисунок 6. Сейсмограмма землетрясения 25.10.2005 г., $t_0=19:36:20.357$, $\varphi=50.1583^\circ$, $\lambda=76.6280^\circ$, вертикальные компоненты

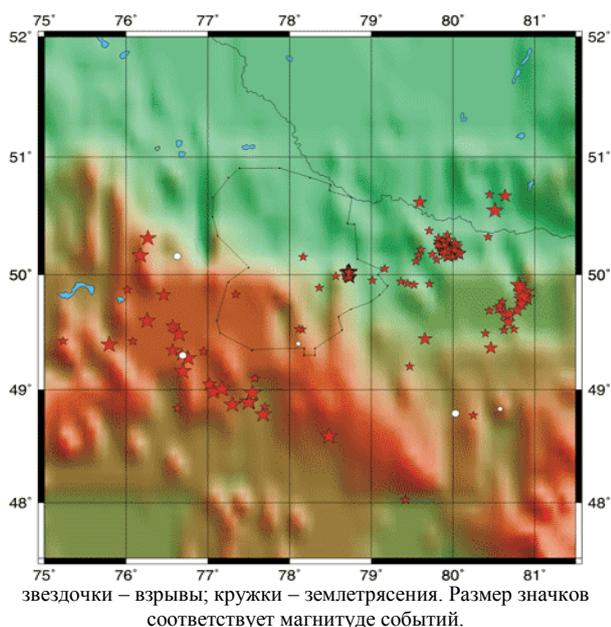


Рисунок 7. Карта расположения эпицентров событий, зарегистрированных в ходе полевых работ 2005 г.

3.3 Геолого-тектоническая интерпретация результатов полевых наблюдений

В ходе полевых работ в 2005 году, было установлено, что из всего количества зарегистрированных событий лишь пять событий могут интерпретироваться как землетрясения. Характеристики данных событий приведены в таблице 5. В результате обобщения и анализа собранного материала по исторической и современной сейсмичности территории СИП и интерпретации сейсмических данных,

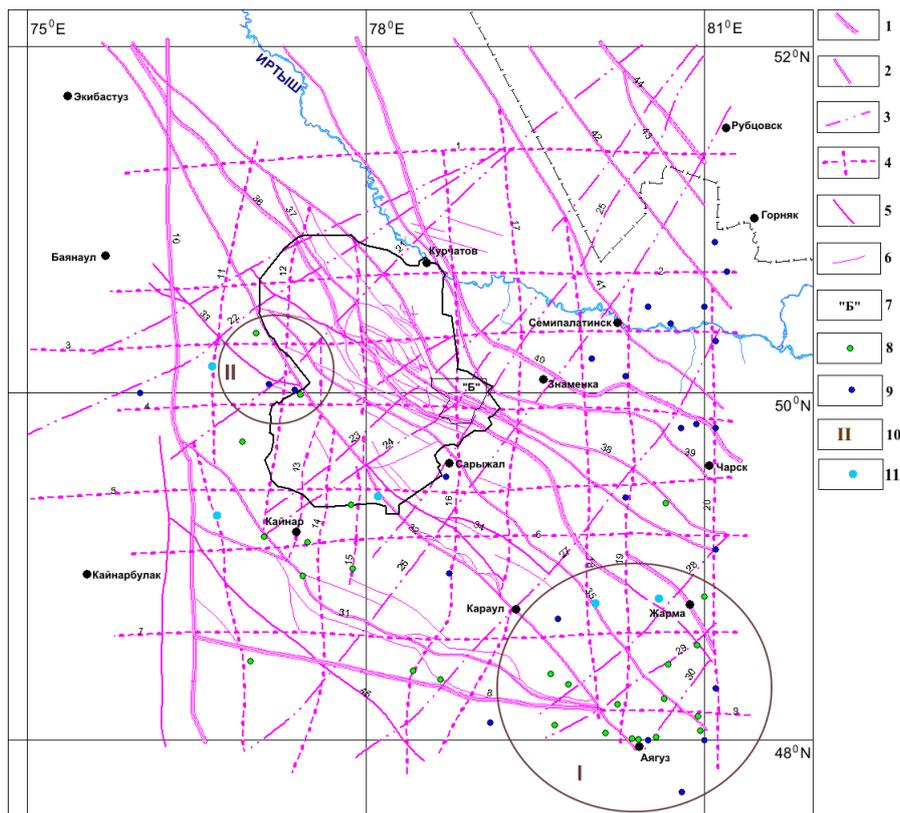
полученных в ходе полевых работ в 2005 году, составлена карта с учётом тектонического строения [5,6] этого региона (рисунок 8).

Как видно из рисунка 8, два землетрясения (16.10.2005 г. и 05.10.2005 г.) пространственно приурочены к зоне, выделенной по историческим и современным сейсмическим данным. Эпицентр первого землетрясения приурочен к узлу пересечения Аркалыкского (СЗ простирание) и Каскабулакского (меридиональное направление) разломам. Эпицентр второго - к узлу пересечения ветки Калба-Чингизского разлома (СЗ простирания), возникшей после его смещения, и Дунгалинского разлома (СВ простирания)(сейсмическая зона I). Эта зона составная часть Тарбагатайского сейсмоактивного района, активность которого в Восточном Казахстане давно известна

Следующие два землетрясения (19.10.2005 г. и 25.10.2005 г.) пространственно приурочены к Жанаакшиманскому меридиональному разлому. Эпицентр второго землетрясения скорее всего приурочен к узлу пересечения выше названного разлома с северной веткой Михайловского (Северо-Михайловский разлом, СВ простирания) разлома и Западно-Чингизского разлома (СЗ простирания), являющегося северо-западной веткой Главного Чингизского разлома. О сейсмической активности зоны Главного Чингизского разлома косвенно свидетельствует наличие исторических землетрясений и усиление активности в современный отрезок времени вдоль этого разлома в юго-восточном направлении (сейсмическая зона II).

Эпицентр пятого землетрясения (15.10.2005 г.) находится в пределах южной части территории СИП и приурочен к Главному Чингизскому разлому, который в данном месте пересекается с Георгиевским (субширотное направление) разломом.

Исходя из распределения эпицентров землетрясений за достаточно большой промежуток времени, в пределах территории СИП на данный момент выделяется одна сейсмогенерирующая зона Главного Чингизского разлома, являющегося осевой структурой Чингиз-Тарбагатайского геотектоногена. Это подтверждается наличием землетрясений, связанных с этим разломом как в его юго-восточной (сейсмоактивная зона I) и северо-западной части (сейсмоактивная зона II), так и в центральной части (южная граница СИП).



1-Главные глубинные разломы являющиеся границами геотектоногенов; 2-главные глубинные разломы северо-западного направления; 3-главные глубинные разломы северо-восточного направления; 4-главные глубинные разломы долготно-широтной ортогональной системы; 5-второстепенные глубинные разломы; 6-второстепенные разломы; 7-площадка Балапан; 8-эпицентры землетрясений, зарегистрированные станциями НЯЦ РК; 9-эпицентры землетрясений из исторических каталогов; 10-номера сейсмоактивных зон, 11 –эпицентры землетрясений зарегистрированных в результате полевых работ 2005 года.

Цифрами на схеме обозначены разломы: 1-Рубцовский, 2-Алейский, 3-Семипалатинский, 4- Знаменский, 5-Георгиевский, 6-Чингиз-Нарымский, 7-Абралинский, 8-Чингиз-Балхашский, 9-Зайсанский, 10 – Центрально-Казахстанский, 11-Жанаакшиманский, 12-Сарыозекский, 13-Кайнарский, 14-Бурлюганский, 15-Дегеленский, 16-Кызыл-Адырский, 17- Белокаменский, 18-Каскабулакский, 19-Акбулакский, 20-Ново-Таубинский, 21-Михайловский, 22-Северо-Михайловский, 23-Дегелен-Иртышский, 24-Аламбайский, 25-Вознесенский, 26-Коконьский, 27-Дельбегетейский, 28-Дунгалинский, 29-Кандыгатайский, 30- Жолдыбайский, 31-Жауртагинский, 32-Главный Чингизский, 33-Западно-Чингизский, 34-Восточно-Чингизский, 35-Аркалыкский, 36-Чингиз-Саурский (Калба- Чингизский), 37-Сиректасский, 38-Чинрауский, 39-Байгузин-Булакский, 40-Чарско-Горностаевский, 41-Западно-Калбинский, 42-Теректинский, 43-Калба-Нарымский, 44-Иртышско-Маркакольский, 45-Каиндинский.

Выделяются две главные ортогональные системы: I - долготно-широтная (1-20); II – продольно-поперечная: северо-восточного направления (21-30) и северо-западного направления (31-45).

Рисунок 8. Карта распределений эпицентров землетрясений района расположения СИП и прилегающих территорий составленной по результатам предыдущих камеральных и полевых работ 2005 года (Северо-запад Алтае-Чингизского региона)[2-8]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в 2005 году работы позволили утверждать, что территория СИП находится в зоне влияния сейсмически активного регионального Главного Чингизского разлома. По историческим и современным данным уверенно установлен ряд сейсмических событий слабой и средней силы в непосредственной близости от границ полигона.

Полученный в 2005 году первый опыт камеральной обработки данных необходимо использовать при организации и проведении последующих работ.

В результате данной работы была выявлена необходимость анализа точности локализации источ-

ников при использовании разных годографов при обработке материалов полевых станций. Кроме того, в будущем желательно иметь независимый от сейсмических методов каталог взрывов на разных карьерах, которые проводятся различными организациями. Тогда можно будет получить надежную информацию для развития работ по распознаванию источников.

Данные о сейсмичности СИП и прилегающих к нему территорий необходимо учитывать при планировании и строительстве различных объектов народного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. The seismic disturbance of 1976 March, east Kazakhstan: earthquake or explosions? / C.I Pooley [et al.]. - Geophys.J.R. 1983. Soc. 74. - 621-631 p.
2. Беспалов, В. Ф. Тектоническая карта Казахской ССР и прилегающих территорий союзных республик масштаба 1:1 500 000 (объяснительная записка) / В. Ф. Беспалов. - Алма-Ата : Наука, 1995. -. 160 с.
3. Тектоника области сочленения Урала, Тянь-Шаня, Центрального Казахстана. / А. А Абдулин [и др.]. – Алма-Ата. : Наука, 1976. - 238 с.
4. Суворов, А. И. Главные разломы Казахстана : Разломы и горизонтальные движения земной коры / А. И. Суворов // Труды Геологического института АН СССР. - 1963. - Выпуск 80 - 173-237 с.
5. Геологическое строение Казахстана (объяснительная записка к геологической карте масштаба 1:1 000 000) / Г. Р. Бекжанов [и др.]. – Алматы : Академия минеральных ресурсов РК, 2000. - 396 с.
6. Геологическая карта КазССР. Масштаб 1:500 000. Серия Центрально-Казахстанская. Объяснительная записка. - Алма-Ата, 1981. - 324 с.
7. Геологическая карта КазССР. Масштаб 1:500 000. Серия Восточно-Казахстанская. Объяснительная записка. - Алма-Ата, 1979. – 184 с.
8. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. - М., 1977 г.
9. Карта сейсмического районирования СССР. Масштаб 1:5 000 000. Объяснительная записка. - М.: Наука, 1984. – 32 с.
10. Сейсмическое районирование Казахстана. - Алма-Ата, Наука, 1979. – 140 с.
11. Землетрясения в СССР. : Ежегодные сборники за 1962-1991 гг - М.: Наука..
12. Землетрясения Северной Евразии. Обнинск: ГС РАН. : Ежегодные сборники за 1992-1998гг.
13. A Study of Small Magnitude Seismic Events During 1961-1989 on and near the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan / V. Khalturin [et al.]. - Pure appl.geophys. 158 (2001) - 143-171 p.
14. Standart for the exchange of earthquake data. Reference Manual. : SEED Format Version 2.3. IRIS, 1993.
15. Passcal software suite / P.Friberg [et.al]. - Lamont Passcal Instrumental Center. 1998.
16. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual. / J. Anderson [et al.] – Arlington. : Technical Report, 1990. - 90-01 p.
17. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР. – Москва : Академия наук СССР ордена Ленина институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта. Наука, 1981 г.
18. Инструкция по сейсморазведке. – М. : Министерство геологии СССР, 1986.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ ОҚШАУЛАП ШЕКТЕЛГЕН СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫН ЗЕРДЕЛЕУ

Морговская М.К., Соколова И.Н., Неделков А.И., Султанова Г.С., Казаков Е.Н.

ҚР ҰЯО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

2005 ж. ағымында Семей Сынау Полигонының аумағында ССП шегіндегі сейсмикалығын зерделеу бойынша жұмыстар кешені өткізілген. Мақалада Семей Сынау Полигонының тарихи сейсмикалығы туралы қысқаша мәліметтер; далалық сейсмикалық станцияларының жүйесі, әдістемесі туралы мәліметтер мен далалық бақылауларын өңдеу нәтижелері және оларды геология-тектоникалық пайымдауы келтірілген.

LOCAL SEISMICITY STUDY OF SEMIPALATINSK TEST SITE

M.K. Morgovskaya, I.N. Sokolova, A.I. Nedelkov, G.S. Sultanova, E.N. Kasakov

Institute of Geophysical Researches NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

A number of works on STS seismicity study were conducted during 2005. This paper gives short information about STS historical seismicity; field seismic stations network, procedure and the processing results of field observations and their geology-tectonic interpretation.

УДК 621.039.5.001.24

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТЕПЛОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАСПЛАВА МАТЕРИАЛОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Акаев А.С., Зверев В.В., Нугуманов Д.К.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

Данная работа посвящена проблеме реализации модельного описания таких теплогидродинамических процессов, как кипение/конденсация и плавление/затвердевание, протекающих параллельно в многокомпонентных системах. В работе показан пример расчетного моделирования процессов, протекающих в экспериментах, проводимых в Национальном ядерном центре Республики Казахстан для исследования заключительных стадий аварии ядерного реактора. Результаты экспериментальных работ используются для обоснования безопасного использования ядерных установок в энергетике. Применение разработанной в данной работе методики позволяет восстановить последовательность событий, протекающих в экспериментах, и прогнозировать их развитие, что необходимо как для планирования экспериментов, так и для анализа их результатов.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в промышленно развитых странах мира работает более 100 атомных электрических станций, имеющих в своем составе более 400 действующих энергоблоков.

Практика эксплуатации промышленных и экспериментальных ядерных энергетических установок показала, что нарушение режима работы энергоблоков и другие аварийные события на АЭС могут привести к серьезным экологическим и социальным последствиям.

На сегодняшний день проблема обоснования безопасности эксплуатации АЭС является актуальной задачей, решением которой занимаются ученые и специалисты промышленно развитых стран мира, таких как США, страны Европейского сообщества, Россия, Япония, Корея и др.

Одним из направлений работ в обоснование безопасности атомной энергетики является экспериментальное моделирование процессов, сопровождающих отдельные стадии развития тяжелой аварии на АЭС с плавлением активной зоны реактора. Наименее исследованными являются в настоящее время заключительные стадии тяжелых аварий, характеризующиеся взаимодействием расплавленных материалов активной зоны (кориума) с теплоносителем.

В рамках программы развития атомной энергетики Казахстана в Национальном ядерном центре создана стендовая база для проведения исследований в области безопасности атомной энергетики.

Адекватная интерпретация результатов проводимых экспериментов требует расчетного сопровождения. В ходе выполнения работ по расчетно-аналитическим исследованиям процессов, характеризующих поведение расплава активной зоны при аварии энергетического реактора, необходима раз-

работка математических моделей, позволяющих описать процессы, сопровождающие тяжелую аварию реактора, и определить сценарии развития этих процессов.

Целью данной работы является – разработка алгоритма проведения расчета и математической модели, позволяющих оценить параметры и сценарий развития тепловых и гидродинамических процессов, протекающих при взаимодействии расплава материалов активной зоны с теплоносителем.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Отклонения в работе АЭС от нормального режима является аварийной ситуацией. Тяжелой аварией на АЭС является расплавление топливных сборок активной зоны, обрушение активной зоны вниз и проплавление корпуса реактора с выходом расплава кориума за его пределы. Для подавления аварийной ситуации на ядерных энергоустановках существуют пассивные и активные системы, главная задача которых – охлаждение расплава кориума. Одним из пассивных средств подавления аварийной ситуации является водный бассейн в подреакторном помещении.

Целью одной из серий экспериментов, проведенных в НЯЦ РК [1], было моделирование процесса FCI (Fuel Coolant Interaction) при падении расплава в водный бассейн и изучение характера процессов взаимодействия топлива с теплоносителем.

Экспериментальная установка «ЛАВА» (рисунок 1) включает в себя два основных функциональных блока: электроплавильную печь для подготовки расплава композиции материалов активной зоны реактора с требуемой температурой и устройство приема расплава (УПР), где моделируются процессы взаимодействия расплава с водой.

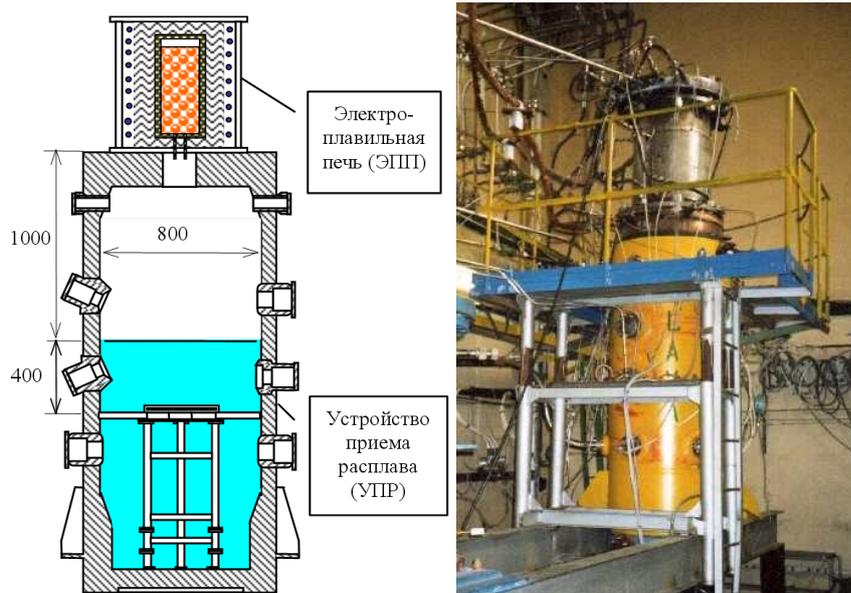


Рисунок 1. Экспериментальная установка «ЛАВА»

Корпус установки изготовлен из стали. На боковой стенке корпуса размещены технологические окна. Все окна закрыты герметично технологическими крышками. Через крышки подведены измерительные линии и трубопроводы подачи воды и газа. УПР и цилиндрический опорный сосуд позволяют изменять объем и глубину бассейна с водой без изменения газового пространства внутри экспериментального объема. Средства измерений позволяют измерять давление, температуру и состав газовой среды. Основные параметры установки «ЛАВА» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры экспериментальной установки «ЛАВА»

Параметр	Значение
Мощность ЭПП, кВт	до 200
Температура расплава, К	до 3200
Максимальная масса расплава, кг	60
Высота слива расплава, м	1...1.4
Глубина воды в бассейне, м	до 1.0
Объем воды, м ³	до 0.4
Объем газовой полости в УПР, м ³	до 0.6
Максимальное давление среды, МПа	10.0
Максимальная температура газовой среды, К	до 600

В электроплавильной печи (ЭПП) индукционным методом, при температуре около 3000°C, плавится 60 кг смеси материалов активной зоны энергетического реактора с топливом, содержащим UO₂. Затем, после скола пробки тигля ЭПП, расплавленная топливная композиция сливается в водный бассейн устройства приема расплава. Система измерения фиксирует давление, температуру и состав газовой среды внутри устройства приема расплава.

По окончании экспериментов проводятся материаловедческие исследования, и изучается степень фрагментации расплава кориума.

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ

Среди множества моделей для пространственного описания многокомпонентных потоков для рассматриваемого процесса наиболее всего подходит модель объемной жидкости [2] (VOF-модель). Эта модель предназначена для расчета взаимодействия многокомпонентных неперемешивающихся жидкостей, и она позволяет отследить изменение межфазовых границ между фракциями смеси. В VOF-модели для представления каждой фракции вводится дополнительная переменная, обозначающая содержание данной фракции в расчетной ячейке. Сумма всех переменных в пределах конечного объема равна 1. Теплофизические свойства можно задавать для каждой фракции отдельно в зависимости от температуры.

Теплофизические свойства жидкости, используемые в уравнениях неразрывности и импульса, определяются с учетом всех фракций жидкости, присутствующих в расчетном элементе. Например, плотность в расчетном элементе вычисляется по (1).

$$\rho = \sum_{i=1}^n \alpha_q \rho_q \quad (1)$$

где: α_q , ρ_q - объемное содержание и плотность q -ой фракции, n - количество фракций.

Одну газовую фракцию решатель программы позволяет назначить сжимаемой, т.е. ее плотность будет зависеть от температуры и давления среды.

Уравнения неразрывности в VOF-модели [3] применяются для каждой из фракций жидкости. Для q -ой фракции, это уравнение имеет следующую форму (2):

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial \tau} + \nabla \cdot \bar{w} \alpha_q = \frac{S_{\alpha_q}}{\rho_q} \quad (2)$$

где: S_{α_q} - массовая добавка q -ой фракции (источник массы, используется в модели кипения/конденсации (6)), τ - время, \bar{w} - вектор скорости, ρ_q - плотность q -ой фракции, $\nabla \cdot \bar{w} = \frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_r}{\partial r} + \frac{w_r}{r}$ - оператор Лапласа для двумерной осесимметричной системы.

Уравнение импульса в VOF-модели применяется для описания всех фракций жидкости одновременно, и теплофизические свойства, используемые в уравнении, определяются аналогично выражению (1) для определения плотности среды. Уравнение импульса в VOF-модели имеет вид (3):

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \rho \bar{w} + \nabla \cdot \rho \bar{w} \bar{w} = -\nabla p + \left[\mu \nabla \bar{w} + \nabla \bar{w}^T \right] + \rho \bar{g} + S \quad (3)$$

где: \bar{g} - вектор гравитации (в данной задаче направлен по направлению оси X), μ - динамическая вязкость среды, p - гидростатическое давление, S - пористость среды (гашение импульса, используется в модели плавления/затвердевания, (5)).

Уравнение энергии в VOF-модели, аналогичное уравнению сохранения количества движения, применяется для описания всех фракций жидкости одновременно (4):

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \rho E + \nabla \cdot \bar{w} \rho E + p = -\nabla \cdot k_{eff} \nabla T + q_v \quad (4)$$

где: T - температура; объемное энерговыделение (используется в модели кипения/затвердевания для учета скрытой энергии фазового перехода), k_{eff} - эффективный коэффициент теплопроводности.

В алгоритмах расчета затвердевания/плавления компонент жидкости используется техника энтальпийной пористости [4]. С использованием этой методики граница «расплав-твердое тело» не определяется явно, а рассматриваются три зоны: «твердая» зона, «мягкая» зона и «жидкая» зона. Количество жидкой фазы в элементе представлено переменной, которая определяет долю расплавленного объема материала в элементе по отношению к полному объему элемента (пористость элемента).

В «жидкой» зоне доля жидкой фазы и пористость элемента равна единице. В полностью затвердевших областях пористость равна нулю: скорость движения жидкости в этих областях тоже становится нулевой. «мягкая» зона – это область, в которой пористость системы находится в диапазоне между 0 и 1. Гашение импульса в «мягкой» зоне описывается следующей зависимостью (5):

$$S = \frac{1 - \beta^2}{\beta^3 + \varepsilon} A_{mush} \bar{w} \quad (5)$$

где: β - доля жидкой фазы в расчетном элементе, ε - малое число (0,001) для предотвращения деления на ноль, A_{mush} - постоянная «мягкой» зоны (10^4 - 10^7).

Величина пористости S используется как дополнительный член в уравнении импульсов (3).

На начало расчета все жидкости находятся в жидком состоянии. При контакте с водой расплавленная топливная композиция будет переходить в твердое состояние.

Модель кипения/конденсации реализуется путем введения в уравнения неразрывности (2) для двух фракций (жидкости и пара) дополнительных членов – массовые источники, величина которых вычисляется для каждого расчетного элемента, в котором происходит фазовый переход.

Величина массовой добавки вычисляется из условий массопереноса, определяемых корреляционной зависимостью Wen Ho Lee [5], которая записывается в следующем виде (6):

$$S_{\alpha_v} = \begin{cases} r_v \alpha_l \rho_l \frac{T_l - T_{sat}}{T_{sat}} & T_l \geq T_{sat} \\ 0 & T_l < T_{sat} \end{cases} \quad (6)$$

$$S_{\alpha_l} = \begin{cases} r_l \alpha_v \rho_v \frac{T_{sat} - T_v}{T_{sat}} & T_v \leq T_{sat} \\ 0 & T_v > T_{sat} \end{cases}$$

Здесь, S_{α_v} и S_{α_l} - массовые добавки паровой и жидкой фракции, соответственно. Величины r_v и r_l в соотношении являются постоянными времени релаксации процессов кипения и конденсации.

Энергия фазового перехода при кипении учитывается дополнительным членом в уравнении энергии VOF-модели (4). Эта величина зависит от массы фракции, содержащейся в расчетном элементе и участвующей в фазовом переходе.

Знаки добавочных членов в уравнениях неразрывности и энергии будут зависеть от направления фазового перехода (кипение или конденсация) и определяются как:

$S_{\alpha_l} < 0$, $S_{\alpha_v} > 0$, $S_{\alpha_l} = -S_{\alpha_v}$, $q_v < 0$ - при кипении;
 $S_{\alpha_l} > 0$, $S_{\alpha_v} < 0$, $S_{\alpha_l} = -S_{\alpha_v}$, $q_v > 0$ - при конденсации.

На основе методики введения дополнительного члена в уравнения неразрывности и энергии и с использованием соотношений (6) были разработаны двумерные осесимметричные расчетные схемы (рисунки 2) установки, включающие тигель ЭПП и емкость приема расплава (УПР), частично заполненную водой. При проведении экспериментов используется тигель с отверстиями в крышке и с технологическими отверстиями в графитовой втулке, то есть тигель не полностью изолирован. Для проверки степени герметичности тигля, а также

влияния этого параметра на ход процесса взаимодействия расплава с теплоносителем были рассмотрены два крайних случая и разработаны две различные по конструкции тигля расчетные модели: полностью герметичная система «емкость-тигель» и полностью негерметичная система.

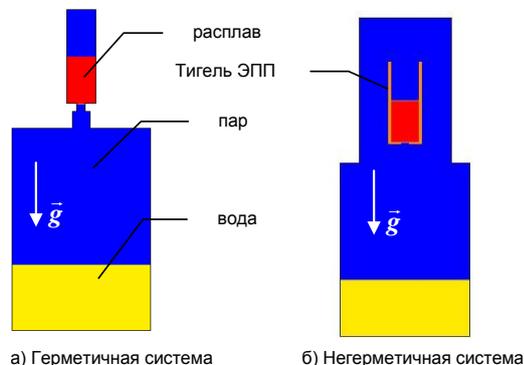


Рисунок 2. Расчетная схема

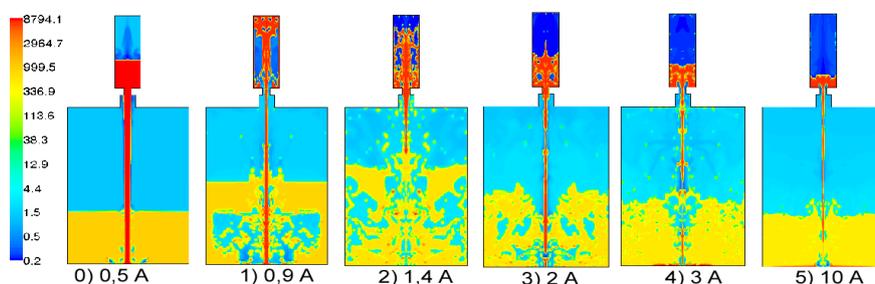


Рисунок 3. Изменение поля плотностей $[кг/м^3]$ материалов в герметичной системе

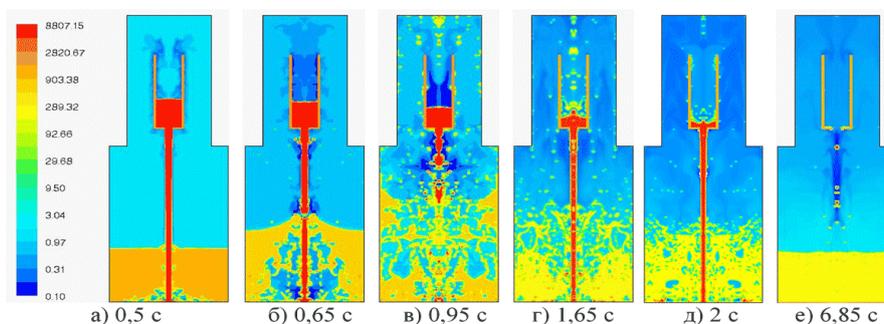


Рисунок 4. Изменение поля плотностей $[кг/м^3]$ материалов в негерметичной системе

В расчетах с использованием герметичной системы «емкость-тигель» получено что, при входе струи расплава в воду парообразование невелико. От удара о дно бассейна струя расплавленной топливной композиции начинает фрагментироваться (рисунки 3а, 4а). Образовавшиеся капли горячего расплава значительно увеличивают площадь контакта между топливом и водой, вследствие этого происходит бурное развитие процесса кипения. Образовавшийся пар, подобно поршню, поднимает воду вверх (рисунок 3б). В ходе этого процесса общий уровень бассейна значительно повышается, давление в емкости становится выше давления в тигле, пар периодически начинает заходить в полость тигля, затормаживая слив

Целью проведения расчетов являлось:

1. определение характера взаимодействия расплавленной топливной композиции с водой;
2. определение характера фрагментации струи расплава в ходе взаимодействия;
3. определение температурного поля в системе;
4. определение поля давления в системе «пар-вода»;
5. сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В ходе проведенных расчетов рассчитаны процессы, протекающие в первые 10 секунд взаимодействия. Кинограммы изменения поля плотностей для двух систем приведены ниже (рисунки 3, 4).

корнума (рисунок 3, б, в, г), тем самым, уменьшая скорость слива расплава.

В дальнейшем столб воды, подброшенный паром, начинает двигаться вниз, пузыри пара, проходя через слой воды, частично конденсируются, и в емкости образуется пароводяная смесь (рисунок 3, г, д), которая постепенно начинает оседать на дно. В момент образования пароводяной смеси значительная масса расплава находится в тигле ЭПП (рисунок 3д). Далее интенсивность взаимодействия снижается, пароводяная смесь стратифицируется, на дне емкости начинает формироваться слой нефрагментированного расплава (рисунок 3, д, е). По результатам расчета получено, что количество фрагментированного корнума составляет 33 кг (60% от общей массы корнума).

При движении в воде поверхность струи расплава неустойчива. Это объясняется тем, что вода при контакте с расплавом вскипает. Парообразование протекает интенсивно, образованный пар движется с большой скоростью, создает локальные неравномерности давления, нестабильность в струе расплава и отрывает от струи капли (фрагментация). При прохождении струи расплава сквозь пароводяную смесь теплообмен между кориумом и теплоносителем ухудшается, так как пароводяная смесь состоит из пара и воды (пористая среда), скорость струй образованного при кипении пара снижается, что в свою очередь стабилизирует течение кориума. Поэтому с момента образования в УПР пароводяной смеси фрагментация расплава становится значительно ниже (рисунок 5).

Начало процесса взаимодействия расплава с водой (первые 0,5 секунд) в расчетах с негерметичной схемой не имеет отличий от процесса взаимодействия расплава с водой в герметичной системе (рисунок 4а).

По мере развития процесса было обнаружено, что процессы фрагментации и кипения при взаимодействии расплава с теплоносителем в этом случае протекают интенсивнее, чем в герметичной системе. Это объясняется тем, что пар, образовавшийся в результате кипения воды в УПР, сообщается с газом, заполняющим тигель, вследствие чего выравнивается давление в емкости и тигле и, тем самым, ускоряется слив расплава (рисунок 4, б, в). Высокая скорость струи расплава интенсифицирует процесс кипения воды. Образовавшийся пар поднимает воду вверх, возрастает площадь взаимодействия воды со струей расплава (рисунок 4в). В результате улучшается теплообмен между расплавом и водой, что приводит к фрагментации и разрушению струи (рисунок 4, в, г). По результатам расчета в негерметичной системе получено, что в момент образования пароводяной смеси основная масса расплава находится на дне водяного бассейна (рисунок 4, д, е) (то есть расплав успевает вылиться из тигля до момента образования пароводяной смеси в емкости).

Проведенный анализ полученных результатов показывает, что фрагментация изменяется в зависимости от следующих условий: состояния теплоносителя (вода, пар, пароводяная смесь), скорости движения струи и давления при сливе расплава. Изменение перечисленных параметров качественно меняет процесс фрагментации.

Расчитанные диаграммы изменения давления пара в герметичной емкости и среднemasсовой температуры пара показаны ниже (рисунок 6). На этом же рисунке приведены кривые изменения импульса давления в системе, полученные в ходе экспериментов.

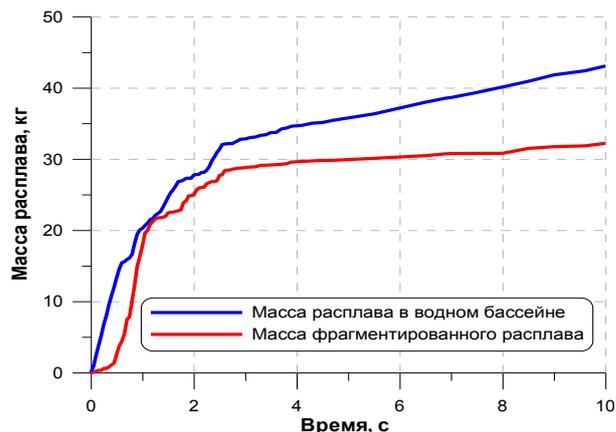


Рисунок 5. Фрагментация струи расплава

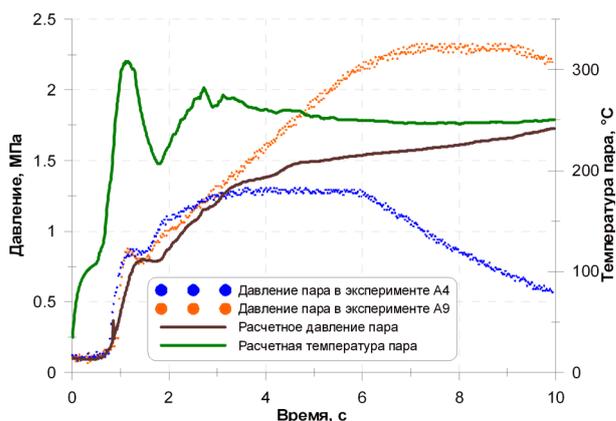


Рисунок 6. Основные параметры системы, полученные в результате расчета

В большинстве экспериментов длительность первого пика давления, измеренного в экспериментальной секции, составила 0,5 секунд, далее следовал небольшой провал, вызванный замедлением слива кориума и конденсацией пара в УПР, затем наблюдался монотонный рост давления, постепенно в течение ~10 секунд приближающегося к своему квазистационарному значению. Большая часть слитого кориума была фрагментирована, и только незначительная часть расплава найдена на дне бассейна в виде застывшего слитка.

Сравнение рассчитанных и экспериментальных кривых изменения давления показывает, что разработанная расчетная модель с герметичной конструкцией тигля удовлетворительно описывает процесс взаимодействия расплава с теплоносителем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы были разработаны математическая модель и алгоритм проведения расчета процессов протекающих при взаимодействии расплавленной топливной композиции с теплоносителем.

Проверка работоспособности разработанной методики была проверена на основе проведения расчетных оценок тепловых и гидродинамических параметров, протекающих в процессе взаимодействия

расплава с теплоносителем в ходе экспериментального исследования. В результате проведенного расчета получены: характер фрагментации кориума, изменение поля давления в системе «пар – вода», изменение поля температур в системе. Верификация полученных параметров проводилась путем сравнения результатов расчета и экспериментальных работ. В результате сравнения рассчитанных и экспериментальных кривых изменения поля давления, получено, что разработанная расчетная модель с герметичным тиглем корректно описывает теплогидравлические процессы, протекающие при взаимодействии расплава с теплоносителем.

Использование новейших достижений в области пространственного моделирования и современных вычислительных средств позволяет проводить численные эксперименты и компьютерное моделирование достаточно сложных и разнообразных задач. Прогнозирование сценариев развития событий, определение требуемых параметров путем численного моделирования способствует успешному проведению натурных экспериментов, оптимизации различных технологических процессов. Результаты численного моделирования, выполненные с помощью разработанной методики, могут быть использованы в области обоснования безопасного использования ядерных энергоустановок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Итоговый отчет по проекту COTELS за 2000 год: отчет о НИР / РГП НЯЦ РК. – Инв. №54 от 22.11.05г.
2. Математическое моделирование тепло-гидравлических процессов, тяжелых аварий на ядерных реакторах: аналитический обзор / РГП НЯЦ РК. – Инв. №83 от 26.10.04г.
3. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 618 с.
4. Fluent version 6.2 User Reference. Fluent Inc, 2005.
5. Lee, Wen Ho. A Pressure Iteration Scheme for Two-Phase Modeling. / Los Alamos Scientific Laboratory, Dept. of Energy, LA-UR-79-975, Contract W-7405-ENG-36, 1979.

ТЕПЛОГИДРОДИНАМИКАЛЫҚТАРДЫҢ ПРОЦЕСТЕРДІҢ СУРЕТТЕУІНЕ АРНАЛҒАН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҮЛГІ ӨНДЕУІ, ЖЫЛУ ТАСУШЫМЕН БЕЛСЕНДІ АЙМАҚ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ БАЛҚЫМА ӘРЕКЕТТЕСТІГІ ЖАНЫНДА АҒЫП ЖАТҚАНДАРДЫҢ

Акаев А.С., Зверев В.В., Нугуманов Д.К.

Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Курчатов

Осы жұмыс көп құрамдыларды жүйелерде паралельді ағып жатқан қайнау/конденсация және балқу/кату сияқты теплогидродинамикалықтардың процестердің сәнді суреттеу орындаулары проблемаға арналған. Жұмыста ядролық реактор апаттарының қортынды сатылардың зерттеуіне арналған, Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығында өткізілетін тәжірибелерде ағып жатқан процестердің есеп айыратын үлгілеуінің үлгісі көрсетілген. Тәжірибелік жұмыстардың нәтижелері энергетикада ядролық құрулардың қауіпсіз қолдану негіздеуі үшін қолданылады. Осы жұмыста өңделген әдістемені қолдану әрі тәжірибелердің жоспарлауына әрі олардың нәтижелердің талдауға, тәжірибелерде ағып жатқан оқиғалардың жүйелілігін қалпына келтіруге және олардың дамудың болжамдау рұқсат етеді.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR THE DESCRIPTION OF THERMO HYDRODYNAMICAL PROCESSES PROCEEDING AT INTERACTION MELT OF MATERIALS OF AN ACTIVE ZONE WITH THE HEAT-CARRYING AGENT

A. Akayev, V. Zverev, D. Nugumanov

National Nuclear Centre of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

This work is devoted to the problem of model description realization of such thermal hydrodynamic processes as boiling/condensation and melting/solidifying going concurrently in the multi-component systems. An example of calculated processes modeling in experiments conducting in National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan is shown for research of final stages of nuclear reactor accidents. Experimental work results are used for substantiation of safe use of nuclear facilities in power engineering. Application of technique elaborated in such work allows the renewing sequence of events in the experiments and predicting their development that is necessary for the experiments planning and their results analysis.

УДК 004.457:004.67:004.62

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ РЕГИСТРАЦИИ, ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Ястребков Д.И., Инков А.Ф., Цай Е.Е., Черемнов Д.Н.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

Представлено описание технических характеристик и функциональных возможностей подсистем программного комплекса для работы с экспериментальными данными.

Внереакторные эксперименты на стендовых комплексах ИАЭ НЯЦ РК проводятся с использованием программно-технических средств автоматизации технологических процессов. В информационно-вычислительные комплексы АСУТП входят средства измерения параметров состояния объекта (аналоговые и дискретные датчики), средства управления узлами и агрегатами технологических установок, подсистемы регистрации и хранения данных, полученных в ходе эксперимента, программные пакеты для послепусковой математической обработки и представления экспериментальных данных. Работы по созданию, настройке и пуску в промышленную эксплуатацию информационно-измерительных систем проводятся специалистами лаборатории автоматизации систем научных исследований отдела информационных технологий НЯЦ РК. Для обеспечения качества информационной поддержки экспериментальных исследований и предоставления пользователям системы новых возможностей, упрощающих достижение требуемых результатов научно-исследовательской деятельности, разработчики системы проводят работы по совершенствованию и расширению функциональных возможностей используемого программного обеспечения.

В результате работ в области развития систем измерения и обработки данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, создан комплекс программных средств, предоставляющий инструменты для работы научных сотрудников и технического персонала с экспериментальными данными на этапах регистрации параметров проведения экспериментов, хранения экспериментальных и отчетных данных, а также послепусковой обработки и анализа полученных результатов. Каждый этап экспериментальных исследований поддерживается соответствующей подсистемой программного комплекса. Среди них:

- система оперативного наблюдения за ходом экспериментов (СОНХЭ), позволяющая удаленно при помощи Интернет-браузера в реальном времени наблюдать за ходом экспериментов на стенде EAGLE
- архив информации по проектам COTELS, IVRAM, EAGLE с интерфейсом для поиска и средствами диагностики

- система обработки и представления данных регистрации и прототип системы группового анализа данных экспериментальных исследований

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ХОДОМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В 2004 году в рамках темы «Интеграция информационных ресурсов по проблемам развития атомной энергетики в Казахстане в общемировую информационно-телекоммуникационную структуру» проводились работы по созданию и внедрению компонентного веб-интерфейса для автоматизированных систем, обеспечивающего отображение информации в ходе экспериментов. В результате работ была создана система оперативного наблюдения за ходом экспериментов (СОНХЭ) [1]. Система оптимизирована для использования в качестве удаленного рабочего места оператора или научного сотрудника экспериментального стенда EAGLE, но также легко может быть трансформирована для использования на других стендах.

Основные требования, предъявляемые к конечному продукту:

- доступ посредством веб-браузера;
- поддержка многопользовательского режима;
- удаленное взаимодействие в реальном времени.

На первом этапе работ по созданию СОНХЭ был спроектирован пользовательский интерфейс системы. В него были включены мнемосхема экспериментальной установки EAGLE, сгруппированные контейнеры вывода текущих показаний датчиков и области вывода графиков для наблюдения за динамикой процесса. В дальнейшем интерфейс пользователя был разделен на два экрана (рисунки 1, 2). Это объясняется спецификой экспериментов на стенде Eagle. В первой фазе эксперимента происходит нагрев исследуемого материала. В это время интерес представляют показания системы электродугового нагрева, характеристики нагреваемого материала и среды. По достижении необходимой температуры происходит скол пробки в днище емкости нагрева и расплав по трубе сливается в специальную ловушку. В это время наиболее важны показания датчиков в трубе и ловушке. Таким образом, весь процесс может быть условно разделен на два этапа: до скола и после скола пробки. Соответственно, представление процесса через веб-интерфейс удаленного наблюдения также может быть разделено на два экра-

на. В этом случае показания датчиков трубы и ловушки, представляющие второстепенную информацию для первой фазы эксперимента, отображаться не будут, что существенно снижает сетевой трафик и загрузку системных ресурсов сервера и клиента.

На обоих технологических экранах вся видимая область была разделена на две части. В левой половине экрана отображается мнемосхема верхней или нижней части установки с объединенными в группы показаниями датчиков. В правой части экрана выводятся две графические панели для отображения двух групп трендов.

Для выбора оптимальной технологии формирования графических панелей, которая может быть использована в прототипе, были созданы несколько

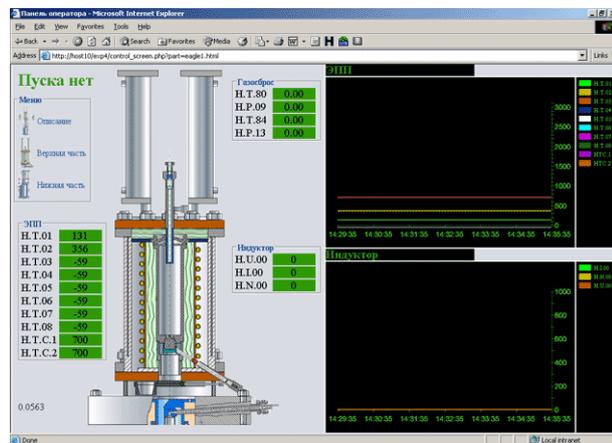


Рисунок 1. Технологический экран верхней части установки

В качестве буфера между ИИС EAGLE (Информационно-Измерительная Система) и клиентским приложением СОНХЭ используется серверная база данных MySQL. В ИИС добавлен необходимый функционал инициализации процесса передачи оперативных данных клиенту СОНХЭ. Запуск процесса передачи данных осуществляется оператором ИИС простым нажатием соответствующей кнопки интерфейса управления.

Для пользователей СОНХЭ предусмотрена возможность управления отображением линий трендов. Нажатие левой кнопкой мыши на именах датчиков или их цветowych иконках в легенде справа от графиков включает/отключает отображение соответствующих линий трендов на графике. Поддержка такой функции облегчает просмотр накладывающихся друг на друга линий трендов. Для детализации показаний датчиков на графике доступны функции масштабирования и позиционирования.

В дополнение к технологическим экранам в СОНХЭ включен экран описания (рисунок 3), содержащий информацию об основных конструктивных элементах экспериментальной установки стенда EAGLE. Он также содержит информацию о веб-интерфейсе удаленного оперативного наблюдения за ходом экспериментов, его элементах управ-

тестовых версий программы. В результате тестирования альтернативных технологий создания векторной графики VML (Vector Markup Language – Язык Векторной Разметки) и SVG (Scalable Vector Graphic – Масштабируемая Векторная Графика) для построения линий трендов была использована технология SVG.

Обновление экрана происходит без перезагрузки страницы. В фоновом режиме приложение считывает очередную порцию данных и выводит их на экран. Период обновления задается в конфигурационном файле на сервере. Механизмы получения и отображения данных реализованы средствами языков программирования PHP и JavaScript.

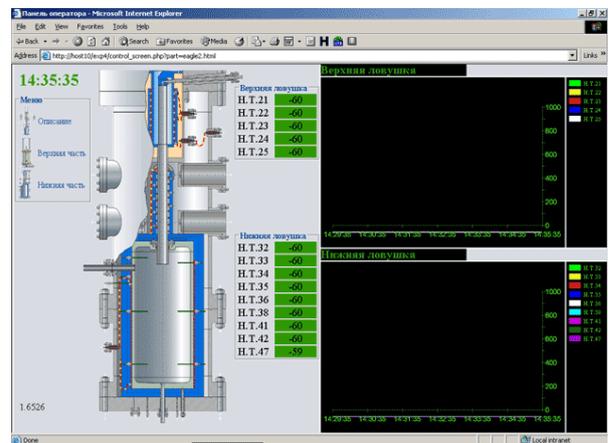


Рисунок 2. Технологический экран нижней части установки

ления, краткую справку о возможных неполадках и способах их устранения, ссылку на необходимое программное обеспечение, которое должно быть установлено для вывода графиков, и основные требования к аппаратному и программному обеспечению для функционирования веб-интерфейса.

Приложение СОНХЭ было протестировано в условиях имитации экспериментального пуска установки. Ниже приведены результаты тестов для одной из клиентских машин, участвовавших в тестировании, при установленном обновлении экрана – 4 секунды.

Аппаратное обеспечение:

- процессор Intel Pentium 600 МГц
- объем оперативной памяти 256 Мб

Программное обеспечение:

- ОС Windows 2000 Server SP4
 - браузер Internet Explorer 6.0
- компонент просмотра SVG-графики Adobe SVG Viewer 3.0.

Расход системных ресурсов в результате тестов:

- процессорное время не более 40% в пике
- оперативной памяти не более 22192 Кб, включая объем, занимаемый браузером, разметкой страниц и графическими элементами.

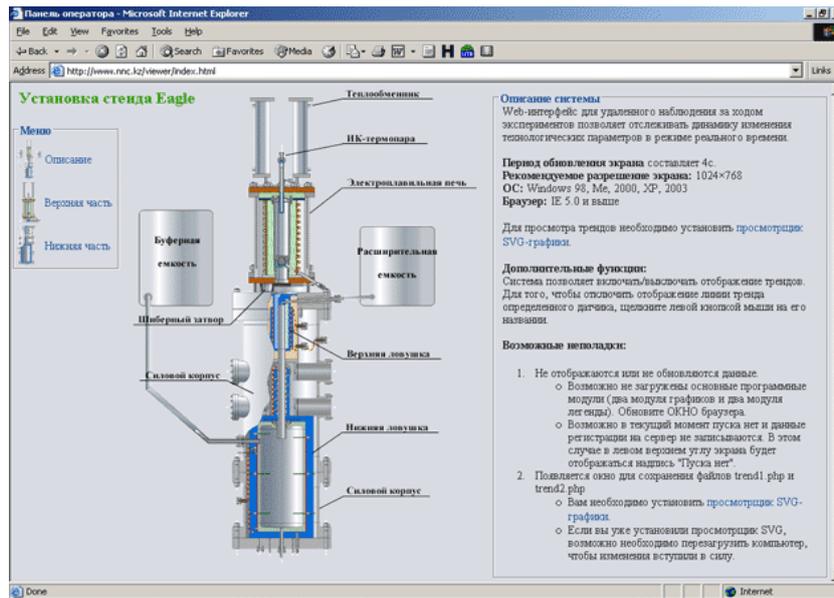


Рисунок 3. Экран описания

СОНХЭ устойчиво работает в многопользовательском режиме. Нагрузка на сервер при подключении новых пользователей растет незначительно, так как сервером выполняются только операции выборки из базы данных и передачи их клиенту. За счет небольших размеров выборок с передачей по сети только числовых значений без предварительного форматирования сетевой трафик сведен к минимуму. Основная нагрузка по формированию изображений и обновлению информации на экранах возложена на клиентские машины. При этом относительно невысокий расход ресурсов позволяет проводить на клиентской машине другие рабочие операции, помимо пассивного наблюдения. Расход вычислительных ресурсов достаточно стабилен и коррелирует вокруг значений установившихся после полной загрузки технологического экрана.

Система СОНХЭ применялась сотрудниками отдела ИТ при проведении пуско-наладочных работ на стенде EAGLE в июне 2004 года, а также во время последующих продолжительных по времени пусков. Приложение стабильно работало в сети Ethernet 100 Мбит.

АРХИВ ЭЛЕКТРОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОЕКТОВ COTELS, IVR-AM, EAGLE

В ходе проектов COTELS, IVR-AM, EAGLE накоплено большое количество информации, включая техническую и отчетную документацию, фотографии, видео, данные регистрации параметров экспериментальных пусков и т.д. Для упрощения поиска нужной информации в массиве накопленных документов был создан архив на базе программного обеспечения MS SharePoint Portal Server 2001 [2].

Поиск документов в системе SharePoint Portal Server 2001 основывается на описательной информации, получаемой путем заполнения специальной учетной карточки документа, на самом тексте доку-

мента и на делении документов по категориям. Комбинируя эти методы можно построить достаточно гибкую систему поиска. Но существовавшая ранее система учетных карточек и категорий была заимствована из более ранней версии архива и оказалась малоэффективной, не достаточно полно описывающей структуру архива и дающей либо неполные, либо избыточные выборки данных. Поэтому необходимо было оптимизировать архив документации [3].

Задача оптимизации архива документации по проектам заключается в упрощении механизма поиска и включает два этапа: реорганизацию структуры категорий и реорганизацию профилей (учетных карточек). Новый механизм поиска основывается на идее последовательного уточнения области поиска. При этом сам поиск производится пользователем путем визуального наблюдения описаний выделенной путем уточнения запроса группы файлов. Так как пользователи, как правило, работают с данными последних экспериментов, то необходимые документы могут быть найдены при первом же запросе, при условии, что все документы сортируются по дате в порядке убывания. Уточнение области поиска производится путем выбора конкретной категории или, иначе, тематической группы документов. Если в выбранной категории содержится слишком большое количество документов, предусматривается возможность дальнейшего уточнения области поиска посредством использования подкатегорий и далее механизма фильтрации. Фильтры категорий основываются на профилях документов, а именно на значениях атрибутов документов, указанных в описании этих документов.

Оптимизированная структура категорий представляла весь архив разделенным на крупные тематические блоки, которые должны быть уточнены при помощи фильтров, основанных на учетных дан-

ных документов [4]. Такой подход установил двустороннюю связь между множеством категорий и множеством атрибутов документов (рисунок 4). Эта связь описывается правилом: «множество фильтров родительской категории должно полностью содержаться во всех множествах фильтров всех ее подкатегорий». Указанное правило стало основой для проектирования учетных карточек документов.

Разработка учетных карточек завершила работу по оптимизации архива документации по проектам COTELS, IVR-AM, EAGLE. В ходе работы были исследованы различные группы документов хранилища [5]. В результате выделены восемь классов, на которые могут быть разбиты документы архива:

1. Отчеты
2. Отчеты по экспериментам
3. Материалы по экспериментальным установкам
4. Материалы экспериментов
5. Материаловедение
6. Рабочие встречи
7. Общие документы
8. Сравнительный анализ типов пусков

Первые пять из них отражают близость параметров описания документов, другие три необходимы для соблюдения правила построения структуры категорий. Каждый класс документации описывается своим собственным профилем (учетной карточкой), содержащим определенный набор атрибутов (свойств) документа. Структура профилей индивидуальна для каждого класса и разработана так, чтобы наиболее полно описывать содержание и принадлежность документов. Часть атрибутов имеет дополнительное назначение. Эти атрибуты используются для фильтрации документов.

В целом реорганизованная структура архива, основываясь на связи категорий и учетных данных, позволяет более полно и эффективно использовать преимущества системы MS SharePoint Portal Server 2001. Такой подход объединяет в себе преимущества баз данных и поисковых каталогов. В результате появляется возможность гибкого использования новых структур в реализации поиска и выборки данных. Помимо средств уточнения поиска пользователь получает хорошо структурированное и достаточно подробное описание документов. Процесс поиска становится удобней и наглядней.

Переход на новую структуру проводился путем последовательной регистрации документов архива по новым правилам. При этом сами учетные данные не изменялись, а дополнялись новыми значениями атрибутов.

На основе полученной системы категорий и фильтров был разработан веб-интерфейс доступа к архиву (рисунок 5) [6]. Фильтрация по категориям была реализована в виде двухуровневого тематического меню. Каждая категория имеет свой набор списков фильтрации документов по атрибутам. В качестве альтернативного способа поиска включена форма запроса к полнотекстовой информационно-поисковой системе. Каждый документ в результатах поиска сопровождается описанием, полученным из соответствующего профиля документа. Для помощи пользователям, каждая страница отображает контекстную справку по механизму фильтрации.

Доступ к архиву ограничивается политиками безопасности, настраиваемыми администратором.

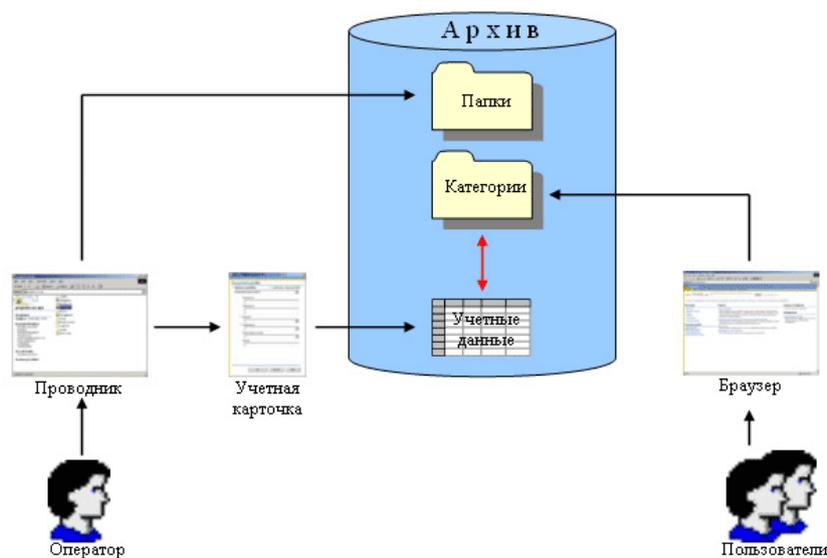


Рисунок 4. Обновленная схема взаимодействия с архивом

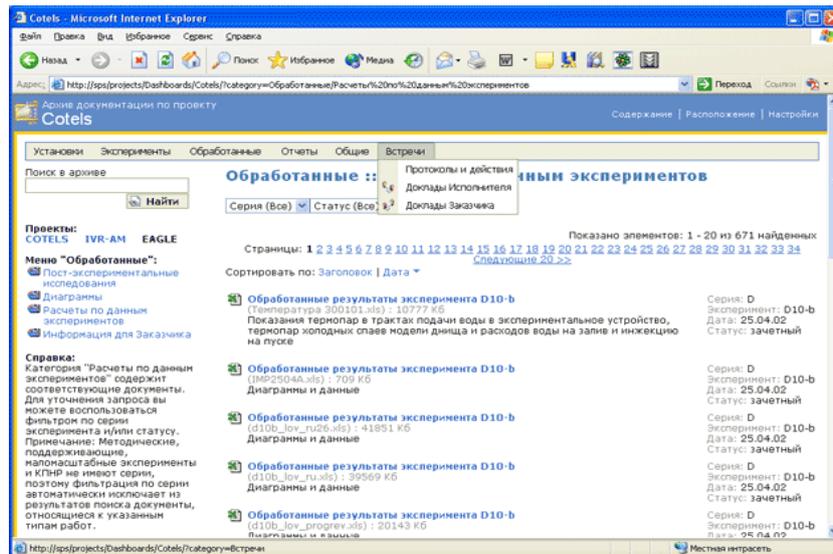


Рисунок 5. Веб-интерфейс доступа к архиву COTELS

Дальнейшая работа над развитием архива документации по проектам COTELS, EAGLE, IVR-AM была направлена на создание средств диагностики целостности архива, отслеживания изменений, полноты предоставляемых о документе сведений, контроля состояния документов в цепочке документооборота и контроля системных параметров [7].

Процесс сохранения документа в хранилище архива включает несколько этапов. Основные из них – это копирование документа в область хранилища, его регистрация путем заполнения учетной карточки для сохранения подробного описания документа и публикация, которая делает документ доступным для чтения пользователям системы. В дальнейшем для редактирования документа или изменения его регистрационных данных он должен быть предварительно извлечен, т.е. помечен как взятый на редактирование, чтобы исключить одновременную правку документа несколькими пользователями. Это стандартная схема документооборота, обеспечивающая совместную работу над документами (рисунок 6). Состояние документов в цепочке документооборота и соответствующие права доступа автоматически отслеживаются системой. Однако процессы регистрации и перемещения документов из состояния в состояние контролируются авторами документов, поэтому здесь не исключены ошибки, связанные с человеческим фактором.

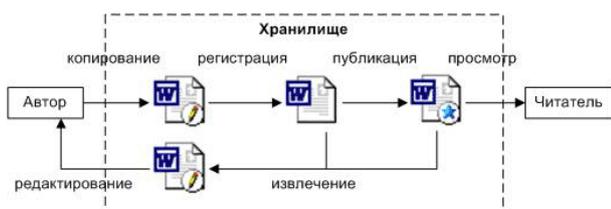


Рисунок 6. Упрощенная схема движения документа по стадиям цикла документооборота

Диагностика целостности архива заключается в проверке полноты представления обязательных регистрационных сведений и соответствия основным требованиям к структуре хранилища. Так как логические связи документов поддерживаются на основе общих регистрационных данных (общих атрибутов), нарушение правил регистрации приведет к нарушению этих связей. Например, пользовательский интерфейс поиска и выборки документов использует два типа фильтров – категории и свойства документов, где категория – является первичным фильтром, дающим тематическое разбиение, а свойства – уточняют принадлежность документа к какому-либо событию или классу документов. При этом для каждой группы категорий используется свой набор фильтров по свойствам. Каждый набор свойств задается своей учетной карточкой, т.е. каждому виду документов или каждой группе категорий соответствует одна конкретная учетная карточка с определенным набором обязательных и необязательных полей. При регистрации автор определяет, к какой категории относится документ и какая учетная карточка соответствует этой категории. Ошибка на этом этапе или на этапе заполнения полей учетной карточки приведет к потере документа для читателей, так как в некоторых режимах поиска и выборки документ окажется исключенным из результатов поиска, а значит, учитывая объемы архива, просто затеряется среди огромного числа не отвечающих условиям запроса файлов. Если будет неверно зарегистрировано большое число документов, нарушится логика работы пользовательского интерфейса.

Кроме того, вполне возможно, что при одновременной регистрации нескольких документов (или даже нескольких десятков) может возникнуть ситуация, когда документы будут пропущены автором и не опубликованы, либо скопированы в систему и не зарегистрированы. Так же в случае проблем с

сетевым оборудованием, сбоем приложений и других причин, файл, извлеченный для правки, может остаться в этом состоянии и будет недоступен для редактирования другим пользователям. Диагностика архива с целью выявления таких нарушений позволяет своевременно исправить ошибки регистрации.

Для диагностики целостности архива была разработана специальная программа, которая отслеживает изменения в архиве. В случае появления новых документов в хранилище или изменения старых, система показывает, с какими именно файлами связаны обновления. Получив эти сведения, администратор может проконтролировать состояние и свойства документов стандартными средствами системы. Сама утилита диагностики также предоставляет средства контроля регистрационных данных и состояния документов. Она имеет преимущество перед стандартными средствами системы в наглядности, оперативности и удобстве.

Сведения о последних изменениях в архиве важны также для процедуры резервного копирования, так как позволяют проводить резервирование только

после появления изменений и четко связывать каждую копию с конкретными событиями. Имея такие сведения можно провести откат системы до вполне определенного состояния, что повышает надежность системы в целом.

Функционал утилиты диагностики позволяет проводить поиск документов, находящихся на определенном этапе цепочки документооборота и предоставлять развернутую информацию о найденных элементах (рисунок 7). С ее помощью можно контролировать полноту и точность заполнения учетных карточек, отслеживать нарушения цикла документооборота, перемещать документы из одного состояния в другое.

Архив информации по проектам COTELS, IVR-AM, EAGLE не только структурирует информацию и предоставляет механизмы поиска, но также создает основу для использования этой информации специализированными приложениями, такими как система группового анализа экспериментальных данных исследований.

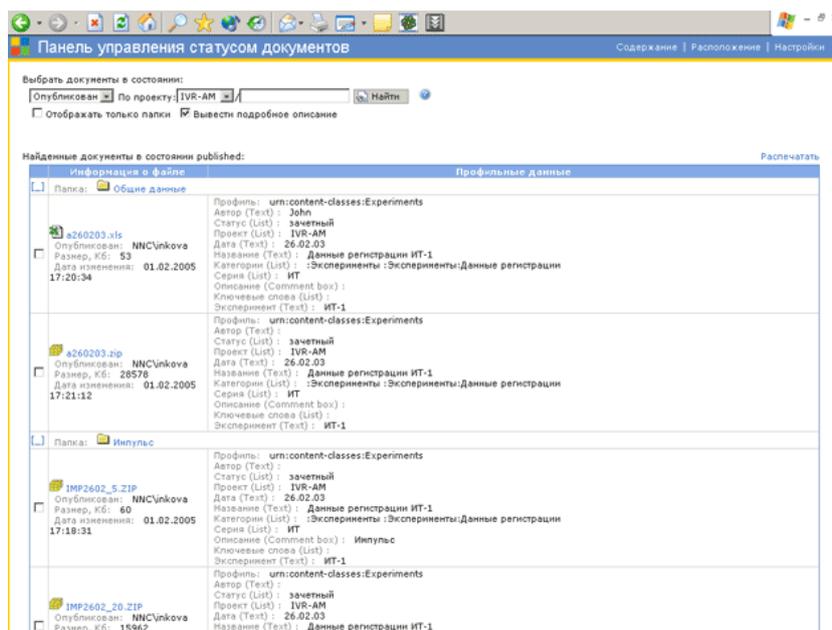


Рисунок 7. Отображение подробной информации о найденных элементах в утилите диагностики архива

СИСТЕМА ГРУППОВОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Система группового анализа данных экспериментальных исследований предназначена для анализа однородных и подобных данных экспериментальных исследований, сравнения расчетных и экспериментальных показателей. Эта работа является продолжением работ по сбору и систематизации информации по проведенным экспериментам.

Основные задачи разработки включают:

1. Унификацию формата представления данных регистрации экспериментальных пусков стендовых установок

2. Разработку клиент-серверного программного обеспечения группового анализа данных

В течение последних 10 лет на экспериментальных стендах было проведено свыше ста экспериментов. За это время были внесены значительные изменения в программное обеспечение комплекса АСУиК (автоматизированная система управления и контроля) экспериментальных стендов. Принцип и базовая структура организации регистрационных данных в файле не изменились, но значительно увеличился объем информации за счет увеличения количества регистрируемых параметров и повышения частоты регистрации данных.

Основной целью работы по унификации формата представления информации является выработка структуры хранения данных экспериментов и дополнительных пуско-наладочных работ в виде, максимально удобном для обработки современными программными пакетами статистической и математической обработки. Построение массива данных всех проведенных экспериментов и пуско-наладочных работ позволит в дальнейшем проводить параллельное изучение и сравнительный анализ нескольких экспериментов в едином рабочем информационном пространстве. Унификация данных, зарегистрированных АСУиК экспериментальных стендов, позволит выработать единые правила поиска, выборки и представления информации, что значительно снизит трудоемкость процесса обработки экспериментальных данных.

В настоящее время регистрация данные экспериментов хранятся в формате двоичных файлов, содержащих последовательные записи значений преобразователей АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) контроллеров АСУиК с заданной частотой. Кроме двоичного файла регистрации кодов АЦП, в массив регистрации каждого эксперимента также входит база данных характеристик преобразователей и служебной технологической информации, необходимая для преобразования кодов АЦП в значения физических параметров регистрируемых величин. Файл регистрации с базой данных характеристик представляют собой необходимый минимальный набор данных для первичной обработки специализированным программным пакетом, разработанным лабораторией автоматизации РГП НЯЦ РК. Для каждого эксперимента существует отдельный запакованный файл архива, содержащий необходимый набор файлов данных. Файлы – архивы хранятся на выделенном сервере и в электронном архиве документации исследовательских проектов на базе MS SharePoint Portal Server 2001.

Для повышения эффективности работы научно-исследовательских коллективов с данными регистрации экспериментов принято решение преобразовать формат представления данных от двоичных кодов АЦП и массивов характеристик АЦП непосредственно к физическим значениям регистрируемых параметров. Структуру хранения данных также целесообразно изменить от двоичных файлов к формату серверной базы данных, что позволит в дальнейшем строить клиент-серверные приложения для работы с данными. Эти изменения позволят значительно усовершенствовать методики поиска и выборки необходимой информации из массива, создать предпосылки для групповой работы с данными, адаптировать формат данных для современных программных пакетов статистического анализа и математической обработки.

В лаборатории автоматизации был разработан концептуальный прототип системы группового ана-

лиза, включающий средства подготовки, хранения, отображения и манипулирования данными [7]. Прототип получил рабочее название Hamster.

Hamster состоит из нескольких программных компонент (рисунок 8), каждая из которых отвечает за определенный этап подготовки и обработки, а именно:

1. Запрос данных пользователем.
- В случае, если требуемые данные были подготовлены ранее, то следующим является этап 4. Иначе, проводятся этапы 2 и 3.
2. Подготовка данных серверным приложением.
3. Обработка данных серверным приложением.
4. Представление данных пользователю через клиентское приложение.
5. Экспорт выборочных данных в общеупотребительные форматы (текстовый формат, формат MS Excel).



Рисунок 8. Структурная схема системы обработки и предоставления экспериментальных данных

Анализ данных регистрации пользователем начинается с выбора конкретного эксперимента (или, в случае сравнительного анализа, группы экспериментов), а также списка контрольных точек, соответствующих выбранному эксперименту, и передачи обработчику в качестве параметра пути к соответствующему файлу (файлам) регистрации. Это могут быть как файлы из сетевого архива, так и из архива MS SharePoint. Второй вариант более предпочтителен, так как предоставляет обработчику доступ к расширенным сведениям как самого файла регистрации, так и условиям его формирования. Список экспериментов, серий и перечень регистраций может быть зачитан из системы SharePoint Portal Server.

Файлы регистрации хранятся на файловом сервере или в базе SharePoint в виде архивов, упакованных методом ZIP, ARJ. Для проведения анализа данных эти файлы должны быть сначала распакованы. Кроме того, обрабатывать данные, хранящиеся в файле неэффективно. Очевидно, в процессе обработки необходимо будет проводить несколько вы-

борок из одного или нескольких файлов. Более рационально использовать для этих целей серверную базу данных. В этом случае не только упрощается разработка клиентского приложения обработки, но и снижается время выборки за счет использования индексов в таблицах базы данных. В качестве серверной базы данных выбрана СУБД MySQL по ряду следующих критериев:

- поддержка большого объема данных;
- высокое быстродействие;
- поддержка многопользовательской работы;
- поддержка открытых интерфейсов;
- СУБД разряда Open Source (бесплатна для использования).

На основе прототипа Hamster создана система обработки и представления данных регистрации, реализующая первые три этапа работы Hamster, связанные с подготовкой данных. Система обработки и представления данных регистрации имеет клиент-серверную архитектуру. При этом на клиентскую часть возлагаются функции управления данными, функции выборки данных, а серверная выполняет задачи подготовки данных для исследовательских работ, то есть проводит первичную обработку.

Весь процесс подготовки данных серверным приложением регулируется управляющей службой, в задачи которой входит отслеживание этапов выполнения подготовки и вызов необходимых вспомогательных подпрограмм. Приняв запрос пользователя на обработку, серверное приложение связывается с сервером баз данных для получения сведений о уже конвертированных (приведенных к унифицированному формату) файлах регистрации. В случае, если сервер баз данных не содержит запрошенных данных регистрации, приложение извлекает соответствующие архивы файлов регистрации из хранилища MS SharePoint Portal Server (либо с файлового сервера) и распаковывает их во временную директорию. После этого запускается механизм конвертации данных, который определяет метод записи данных в файл, его структуру и вызовом соответствующего алгоритма преобразует данные к формату хранения серверной СУБД. Конвертер экспериментальных данных, выполненный в форме системной службы для платформы win32, выполняет несколько функций:

- извлечение архива;
- распаковка архива;
- создание базы данных регистрации;
- формирование списка тегов;
- преобразование физических величин;
- формирование массива данных.

По запросу регистрации проводится проверка, и если данных требуемой регистрации еще не существует, то идет выполнение функции “извлечения архива”, которая извлекает выбранный архив данных регистрации из хранилища MS SharePoint Portal

Server. В случае если архив находится на файловом сервере, то запрашивается учетная карточка регистрации, с последующим занесением архива в хранилище MS SharePoint Portal. Следующим шагом вызывается функция “распаковка архива”, которая распаковывает извлеченный архив данных регистрации, ведет проверку на целостность извлеченных файлов. Функция “создание базы данных регистрации” создает новую базу данных СУБД MySQL для распакованной регистрации. Функция “формирование списка тегов” на основе данных таблиц формата DBF формирует список тегов (контрольных точек) в таблице тегов СУБД MySQL, включая основные характеристики. Функция “преобразование физических величин” проводит преобразование в физические величины цифровых значений тегов, содержащихся в первичных файлах регистраций, согласно конфигурационным характеристикам. Эта функция работает напрямую с файловой системой, зачитывая бинарные файлы данных регистраций. Функция “формирование массива данных” формирует массив экспериментальных данных в таблице значений тегов СУБД MySQL.

Хранилище данных на базе серверной СУБД MySQL позволяет легко получать доступ к данным регистраций по специализированному интерфейсу СУБД или универсальному интерфейсу ODBC. Это обстоятельство делает возможным использование специализированных статистических пакетов для обработки данных и, при необходимости, осуществлять их экспорт в другие форматы. Так, например, пользователи смогут подключиться к базе данных и считать необходимую информацию напрямую из приложения Microsoft Excel. Для этого может потребоваться установка ODBC-драйвера MySQL.

Также ведутся работы по созданию клиентского приложения системы группового анализа данных экспериментальных исследований на основе прототипа Hamster. Прототипом клиентского программного обеспечения послужило приложение для работы с данными регистрации параметров установки переработки натрия реактора БН-350 (рисунок 9), разработанного в лаборатории автоматизации отдела информационных технологий НЯЦ РК.

Прототип будет адаптирован к работе с созданной структурой баз данных MySQL, снабжен механизмами интерфейсного взаимодействия с серверной частью, в частности, с системой обработки и представления данных регистраций, и дополнен возможностью одновременной работы с данными нескольких экспериментов.

После создания клиентского программного обеспечения рабочий прототип Hamster будет представлять данные и инструменты для группового анализа однородных и подобных данных экспериментальных исследований, сравнения расчетных и экспериментальных показателей.

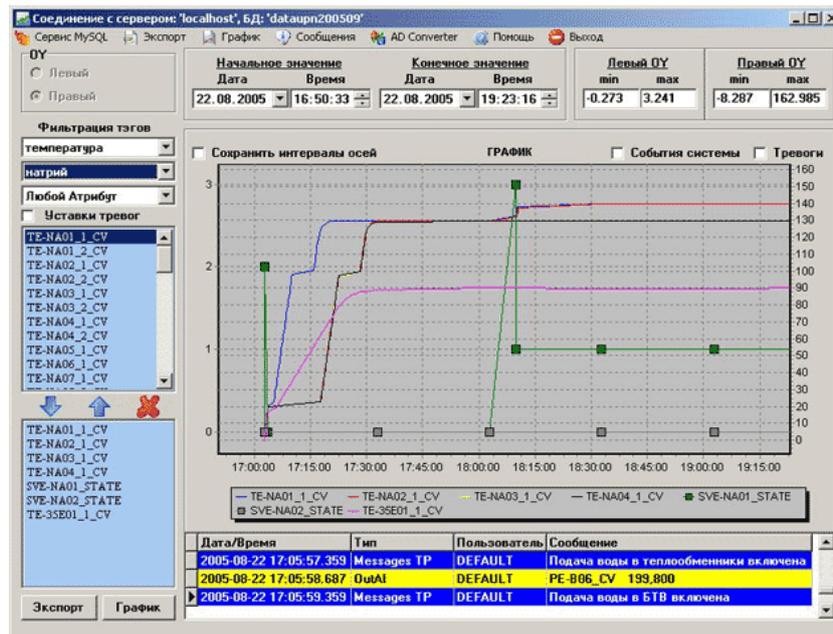


Рисунок 9. Прототип клиентского программного обеспечения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работ по созданию комплекса программных средств регистрации, обработки и хранения экспериментальных данных лабораторией автоматизации научных исследований отдела информационных технологий НЯЦ РК созданы:

- Система оперативного наблюдения за ходом экспериментов, которая расширяет функционал информационно-измерительных систем экспериментальных стендов НЯЦ РК возможностью удаленного наблюдения за ходом экспериментов в реальном времени
- Архив материалов по проектам COTELS, IVR-AM, EAGLE со строго формализованной структурой категорий и профилей документов, обеспечивающий хранение, структурирование и поиск данных проектов
- Клиентское приложение поиска информации в архиве и средства диагностики
- Прототип системы группового анализа данных экспериментальных исследований, являющийся основой для создания системы группового анализа однородных и подобных данных экспериментальных исследований, сравнения расчетных и экспериментальных показателей
- Система обработки и представления данных регистрации, предоставляющая возможность доступа к данным регистрации из прикладных

ЛИТЕРАТУРА

1. Интеграция информационных ресурсов по проблемам развития атомной энергетики в Казахстане в общемировую информационно-телекоммуникационную структуру: Отчет о НИР (промежуточ.) / РГП Национальный ядерный центр; рук. Инков А.Ф.; исполн.: Ястребков Д.И. [и др.]. - Курчатова, 2004.

программ с применением клиент-серверных технологий

Впервые на стендовых комплексах появилась возможность удаленного наблюдения за ходом экспериментов в реальном времени. Стало значительно проще осуществлять поиск по материалам проектов COTELS, IVR-AM, EAGLE. Появилась возможность работы с данными регистраций без предварительной обработки. Положена основа для создания системы сравнительной оценки параметров нескольких экспериментов.

Таким образом, созданный комплекс программных средств охватывает все основные этапы процесса исследований на экспериментальных стендах: получение данных о параметрах проведения эксперимента, сохранение зарегистрированных параметров вместе с сопутствующей документацией в архиве, послепусковая обработка и анализ сохраненных данных.

Система оперативного наблюдения за ходом экспериментов используется при проведении экспериментов и пуско-наладочных работ на стенде EAGLE. Электронный архив подготовлен к эксплуатации и в настоящее время активно используется в качестве источника информации для системы группового анализа.

Результаты работ применимы к экспериментальным исследованиям на стендах EAGLE, ANGARA, ИВГ1.М.

2. Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан: Отчет о НИР: В 3 т. / РГП Национальный ядерный центр; рук. Инков А.Ф. – Курчатов, 2004. – Т. 2: Обеспечение научно-технической поддержки работ по развитию атомной энергетики в Казахстане. – 112 с.
3. Анализ структуры организации файлового архива проектной документации и структуры организации архива на базе Lotus/Notes. Определение базовых категорий архивной документации: Техническая справка / РГП Национальный ядерный центр – Курчатов, 2004.
4. Проектирование иерархии категорий архива проектной документации на базе MS SharePoint Portal Server 2001: Пояснительная записка; инв. №69 / РГП Национальный ядерный центр, 2004.
5. Проектирование учетных карточек для регистрации документов архива на базе MS SharePoint Portal Server 2001: Пояснительная записка / РГП Национальный ядерный центр, 2004.
6. Создание новой рабочей области MS SPS на основе спроектированной иерархии категорий и структуры учетных карточек: Техническая справка / РГП Национальный ядерный центр, 2004.
7. Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан: Отчет о НИР: В 3 т. / РГП Национальный ядерный центр; рук. Инков А.Ф. – Курчатов, 2005. – Т. 2: Обеспечение научно-технической поддержки работ по развитию атомной энергетики в Казахстане. – 117 с.

**ТӘЖІРІБЕЛІК ДЕРЕКТЕРДІ ТІРКЕУДІҢ, ӨНДЕУДІҢ ЖӘНЕ
САҚТАУДЫҢ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫН ӨЗІРЛЕУ**

Ястребков Д.И., Инков А.Ф., Цай Е.Е., Черемнов Д.И.

Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Курчатов

Бағдарламалық кешеннің тәжірибелік деректермен жұмыс істеуге арналған жүйешелерінің техникалық сипаттамалары мен функциялық мүмкіндіктерін сипаттау ұсынылған.

**DEVELOPMENT OF SOFTWARE TOOLS FOR EXPERIMENTAL
DATA REGISTRATION, PROCESSING AND STORAGE**

D.I. Yastrebkov, A.F. Inkov, E.E. Tsay, D.N. Cheremnov

National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

Presented is a description for technical characteristics and functionality of software subsystems to operate with experimental data.

УДК 624.121

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**Фролов З.Н. Дроздов А.В.***Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Представленные материалы электроразведочных работ, входящих в комплекс инженерно-геологических изысканий, проведенных на "старом" хранилище РАО "Ульбинского металлургического завода", послужили основой для детального изучения современного состояния конструкции хранилища РАО.

ВВЕДЕНИЕ

Современный мир создал развитую инфраструктуру, обслуживающую потребности общества. Развито и полными темпами работает горнорудное дело, нефтедобыча. Развивается переработка полученного сырья и создание продуктов потребления. Наряду с созданием продуктов потребления, создаются продукты по каким-то своим особенностям не участвующие в дальнейшей технологической переработке, которые складываются или подлежат захоронению в специально созданных для этих целей хранилищах. Для хранения этих остаточных продуктов производства разработаны нормативные и правовые документы - СанПиН № 5.01.027-99 «Проектирование, эксплуатация, консервация и ликвидация (захоронение) хвостовых хозяйств гидрометаллургических заводов (ГМЗ) и обогатительных фабрик (ОФ)», создаются специальные условия хранения. Но, часто, объекты хранения подвержены влиянию природных условий, таким как землетрясения, изменение своих свойств вследствие длительного хранения. Наряду с этим и продукты хранения проявляют агрессивные свойства к вмещающей среде. И как следствие, за объектами хранения необходимо вести периодическое наблюдение. Один из методов ведения наблюдений геофизический, а именно электрометрия - РСН 64-87.

«Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка», этот геофизический метод, в некоторых своих модификациях, устойчив к помехам создаваемым действующими поблизости промышленными объектами. Институт Геофизических Исследований НЯЦ РК в последнее время проводил работы по геолого-геофизическому изучению старого хвостохранилища УМЗ по договору № 218-05/28-04-05 от 10 октября 2005 года, где по данным геофизических исследований [8] была уточнена конструкция "старого" хвостохранилища радиоактивных отходов Ульбинского металлургического завода. Хранилище эксплуатировалось с сентября 1949 по 1971 годы, а при заполнении до проектной отметки сброс отходов прекращен. По имеющимся оценкам в хвостохранилище накоплено более 350 т

урана, около 6,5 т тория, около 12 т тантала и 79,4 т бериллия. Кроме того, вблизи находятся хвостохранилища других производств, которые в экстремальных условиях так же могут нанести значительный урон экологии. К ним относятся МП ОАО «КАЗЦИНК», хранилища завода ДВП, конденсаторного завода и др. Несмотря на то, что хвостохранилище окружено сетью гидрогеологических скважин для наблюдения за подземными водами на случай выявления утечек радиоактивного материала, геофизический контроль дает возможность обнаружить изменения в насыпных бортах дамбы задолго до экологической катастрофы. Нарботка опыта в этой области исследований может оказать неоценимую помощь не только в выборе методик для изучения объектов захоронения, но и при проведении исследований для проектирования сооружений подобного типа.

Цель работы показать возможность и необходимость применения более широкого комплекса геофизических методик для проведения эколого-инженерных изысканий, и изучения объектов хранения радиоактивных отходов.

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Участок «старого» хвостохранилища радиоактивных отходов Ульбинского металлургического завода находится практически в пределах города Усть-Каменогорска и расположен в 500 метрах северо-западнее территории северной промышленной площадки АО «УМЗ». Учитывая то что объекты хранения подвержены влиянию природных процессов, таких как землетрясения, нельзя пренебречь данными сейсмичности района. Для анализа сейсмичности в районе г. Усть-Каменогорск на расстояниях до 500 км были использованы как международные источники, так и данные ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК. Всего, включая исторические события 2-вековой давности, известно 280 сильных и средней интенсивности событий. Подавляющее большинство из них находится на удалении от 350 до 450 км (рисунок 1А).

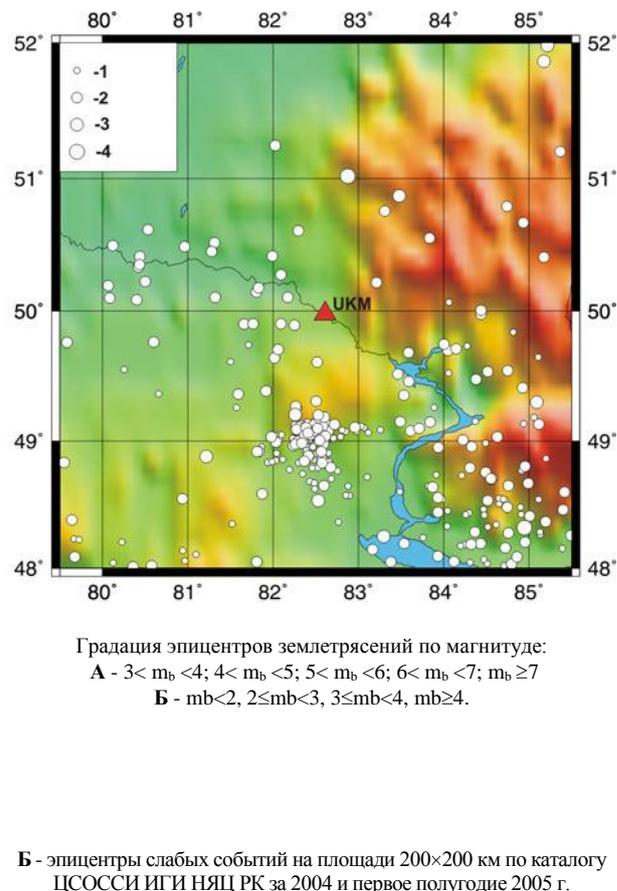
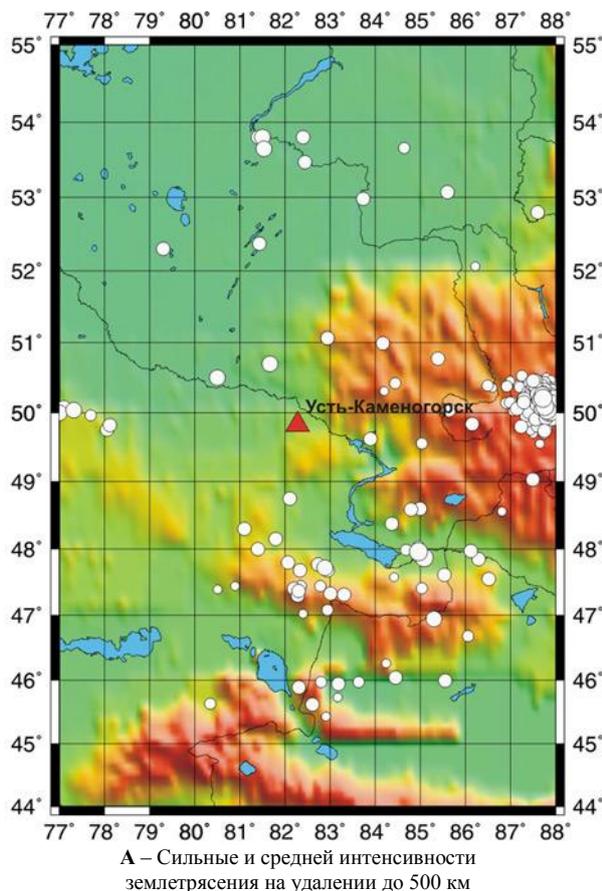


Рисунок 1. Эпицентры землетрясений в районе г. Усть-Каменогорска

Таблица 1. Наиболее сильные события на удалении более 200 км от г. Усть-Каменогорска

№№ п/п	Землетрясение	Дата	координаты		Глубина, км.	Магнитуда	Расстояние, км.	Балльность в Усть-Каменогорске
			широта	долгота				
1	Зайсанское	14/VI-1990 г.	47.87	85.08	57	6.8	300	
2	Чуйское	27/IX-2003 г.	50.04	87.81	16	7,5	397	4-5
3	Афтершок	27/IX-2003 г.	50.09	87.76	10	6.6	394	
4	Афтершок	01/X-2003 г.	50.21	87.72	10	7,1	392	5
5	ЮЗ Сибирь	31/II-2005 г.	49.91	88.25	27	4.7	429	2-3

В непосредственной близости г. Усть-Каменогорска сейсмические явления такого класса редки, на расстоянии до 200 км известно всего 8 событий. Однако землетрясения невысокой интенсивности на этой территории проявляются довольно часто. Так, по данным Центра ИГИ НЯЦ РК за период 2004 г. и первой половины 2005 года на территории 200×200 км было зафиксировано 289 событий (рисунок 1Б). Из них с магнитудой от 3 до 4 всего 4, а с магнитудой 4,25 только 1 событие. Больше половины сейсмических событий имеют магнитуду менее 2.

Впервые отмечена концентрация эпицентров землетрясений по линии широтного направления вдоль 49-й широты. Ранее активизация этой структуры не отмечалась.[9]

Значительную опасность представляют удаленные сильные события, которые вызывают значи-

тельные колебания грунта в районе рассматриваемой площадки (таблица 1).

Согласно сейсмическому районированию район города Усть-Каменогорска расположен в зоне ожидаемых 6-балльных землетрясений, что подтверждается приведенными в таблице 3 данными современных событий. Таким образом, основными очагами сейсмических событий, оказывающими влияние на стабильность площадок, являются Чуйские на востоке и Зайсанские на юго-востоке землетрясения.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Объект огорожен, с северной и восточной сторон примыкает к существующим и действующим предприятиям (рисунок 2). Присутствие действующих предприятий значительно осложняет проведение многих геофизических методик, в основном созданием активных электрических помех и шумов.

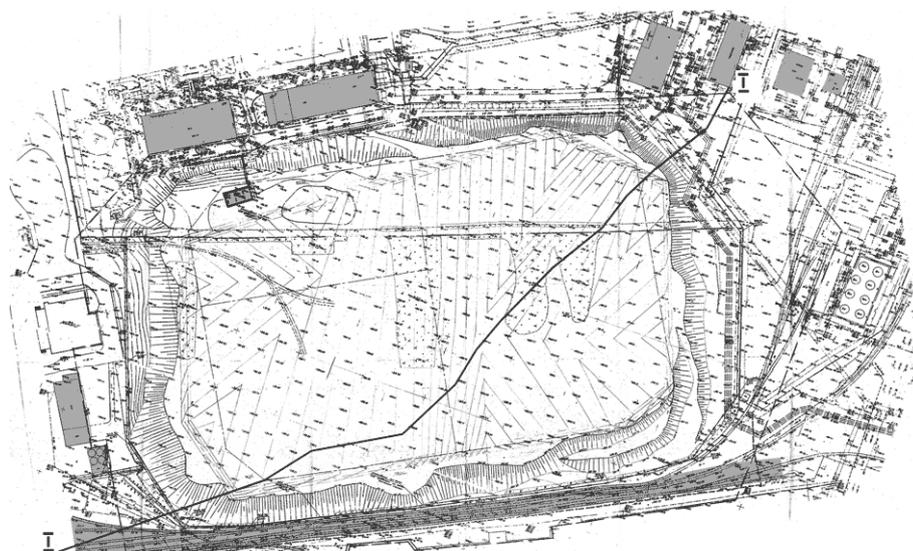


Рисунок 2. Участок «старого» хвостохранилища [8]

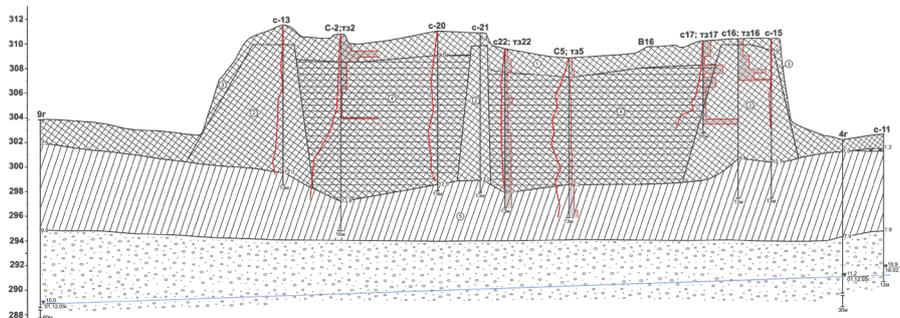


Рисунок 3. Инженерно-геологический разрез [8]

Поверхность накопителя, на котором проводились геофизические исследования, представляет собой слабохолмистое плато, осложненное навалами строительных отходов. Грунты с поверхности плотные, сухие, несущая способность достаточна для прохождения самоходных механизмов. По техногенному рельефу для рекультивации, сооружение относится к землям, нарушенным при складировании промышленных и строительных отходов - к группе отвалов. По характеру обводнения (увлажнения) сооружение относится к переувлажненному - низкая водопроницаемость отходов, значительное количество атмосферных осадков и мокрый техногенный процесс образования отходов.

В инженерно-геологическом разрезе сооружения (рисунок 3) до разведанной глубины 16 метров принимают участие техногенные отложения и делювиально-пролювиальные средне-верхне-четвертичные лессовидные суглинки. Повсеместно под лессовидными грунтами получили развитие аллювиальные отложения, представленные в основном галечником, который в геоэлектрическом разрезе выглядит как зона повышенных сопротивлений.

Конструктивно хвостохранилище состояло из 4-х карт, разделенных дамбами (рисунок 4) из местного

грунта, которые в дальнейшем были наращены местными грунтами и, возможно, шламами (пески, гипс).

Дамбы возведены из грунтовых материалов путем отсыпки автотранспортом и относятся к земляным насыпным сооружениям. Обоснование для проведения электрометрии разность сопротивлений указанных выше материалов применяемых для отсыпки [1,3].

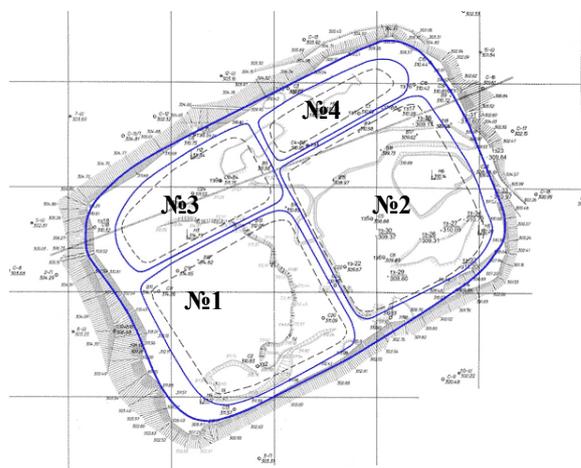


Рисунок 4. Расположение карт сооружения [8]

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

В составе инженерно-геологических работ выполнены:

- буровые работы;
- полевые испытания грунтов;
- геофизические работы;
- камеральная обработка материалов.

Программой работ было предусмотрено проведение полевых методов изучения физико-механических свойств грунтов в соответствии с обязательным Приложением 7 к СНиП РК 1.02-18-2004. «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

В соответствии с таблицей 1 ГОСТ 30672-99 «Грунты. Полевые испытания. Общие положения», одним из рекомендованных методов полевых испытаний грунтов является метод динамического зондирования, по результатам которого можно получить одну из характеристик грунтов – удельное сопротивление грунта конусу зонда.

По материалам проведенных геофизических работ и лабораторных исследований грунтов, выделены границы между отдельными инженерно-геологическими элементами. На основании изысканий, проведенных ранее на смежных площадках, путем интерполяции было определено положение подошвы лессовидных суглинков и уровней подземных вод. Местоположение дамб внутри сооружения определено на основании имеющихся данных с учетом проведенного геоморфологического обследования поверхности сооружения и интерпретации данных геофизических работ.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Геофизические работы проведены с целью определения строения сооружения и изучения состояния грунтов, расположенных в его основании. В соответствии с приложением 5 СНиП РК 1.02-18-2004, основным геофизическим методом исследования для решения данной задачи, является метод вертикального электрического зондирования по методу кажущихся сопротивлений (ВЭЗ). Для определения местоположения пионерных дамб, ограничивающих сооружение и почти полностью скрытыми под техногенными грунтами, а также определения кровли подстилающих природных образований, был в экспериментальном порядке применен метод дипольного электропрофилеирования (ДЭП) [4,5]. Применение электроразведочных методов основано на различии грунтов по электрическим свойствам (удельное электрическое сопротивление, диэлектрическая проницаемость).

Методика проведения работ, общие требования к организации работ, камеральной обработки и отчетности приведены в РСН 64-87 «Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка», Госстрой РСФСР.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

На участке расположения старого хвостохранилища было проведено 14 точек ВЭЗ по двум профилям (Рисунок 5). ВЭЗы выполнены симметричной установкой АМNB с помощью электроразведочного автокомпенсатора АЭ-72.

Максимальная величина разносов АВ составила 150 м. Электроразведочные работы выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 2.601-68. Расстояние между точками ВЭЗ составило 34 ÷ 60 м.

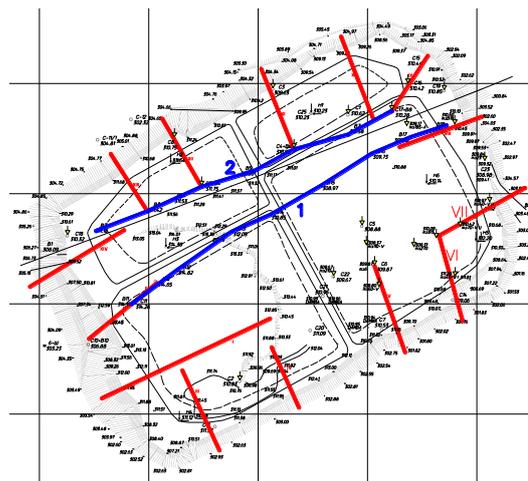


Рисунок 5. Схема расположения геофизических профилей [8]

На этапе качественной обработки ВЭЗ были построены кривые кажущегося сопротивления (рисунок 6), а также составлена карта типов кривых ВЭЗ [2,6] (рисунок 7). С юго-запада на северо-восток на карте типов ВЭЗ преобладают четырехслойные кривые типа QH: ВЭЗы 3,4,5 – профиль 2В и ВЭЗы 12,13 – профиль 1В.

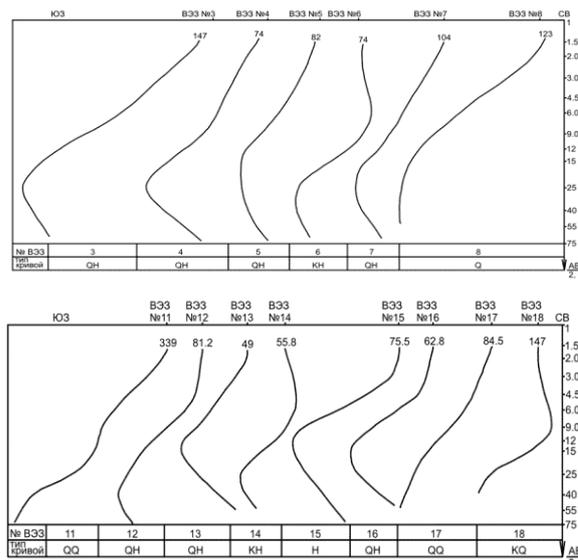
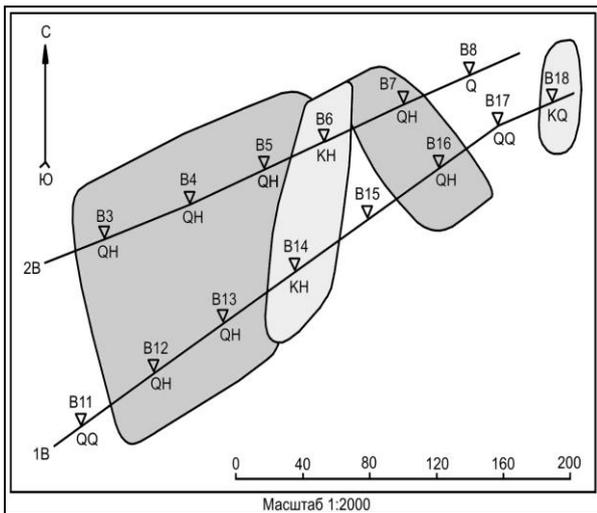


Рисунок 6. Кривые кажущегося сопротивления ВЭЗ по профилю 1 и 2 [8]

Далее область распространения кривых QH сменяется кривыми KH, что говорит о смене литологии, разрез в точках ВЭЗ6 и ВЭЗ14 более высокоомный, вероятнее всего это внутренние перегородки в чаше хвостохранилища. Северо-восточнее кривые KH сменяют опять кривые QH, это говорит, что в этой зоне такие породы, что и в начале профилей. В конце первого профиля в точке ВЭЗ№18 наблюдается кривая KQ, что тоже характерно для высокоомных пород, т.е. это, предположительно, насыпная дамба.

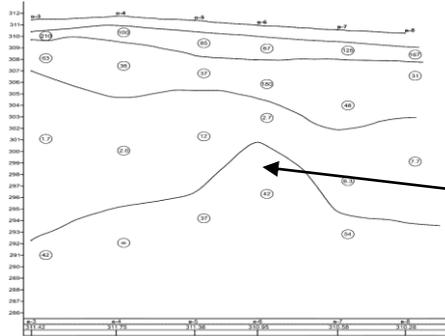


1 – пикеты ВЭЗ;

2 – область распространения четырехслойных кривых типа QH;

3 – область распространения четырехслойных кривых типа KH

Рисунок 7. Карта типов кривых ВЭЗ. [8]



по линии 1

Рисунок 8. Геоэлектрический разрез

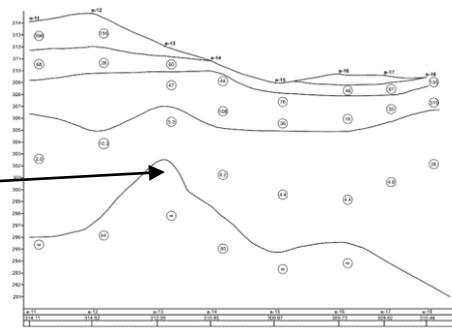
Количественная интерпретация данных ВЭЗ проведена с помощью теоретических палеток (альбом палеток А.М. Пылаева), а также использована компьютерная обработка данных ВЭЗ по программе IP2WIN (МГУ, Россия). В результате обработки ВЭЗ построены геоэлектрические разрезы (рисунки 6 и 7).

На разрезах выделено 5 геоэлектрических слоя. Верхний слой сложен насыпью и строительными отходами, глубина слоя варьируется от 0,7 до 2,1 метра. Удельное электрическое сопротивление имеет большой разброс из-за неоднородности и колеблется от 80 до 396 Ом·м.

Далее в разрезе расположен слой техногенных отходов, значения удельных электрических сопротивлений данного слоя несколько ниже 28-68 Ом·м, за исключением точек ВЭЗ 6,14,18, где удельные сопротивления значительно выше 180-310 Ом·м, это говорит о влиянии дамб внутри чаши сооружения, насыпанных, видимо, из уплотненных суглинков, обладающих высокими значениями удельных электрических сопротивлений.

Третий слой сложен более увлажненными, обогащенными солями и техногенными отходами, удельное сопротивление которых уменьшается до 2,0-7,7 Ом. Мощность данного слоя варьируется от 4 до 13 метров. Подстилающая граница техногенных отходов сложена суглинками. Высотная отметка залегания суглинков зависит от рельефа фундамента и находится в пределах 293-296 метров. Удельные сопротивления данного слоя составляют 40-90 Ом·м (ВЭЗ 3,5,7,12,14). На профиле 1В (ВЭЗы 13 и 14) и на профиле 2 (ВЭЗ 6) выделены участки дамб внутри чаши хвостохранилища.

Этим зонам характерны высокие значения удельных электрических сопротивлений.



по линии 2

Рисунок 9. Геоэлектрический разрез

ДИПОЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ

Цель измерений (задача): изучение электрических полей в районе объекта, обнаружение проводящих зон и неоднородностей [7].

Дипольное электрическое профилирование методом ДЭП, было выполнено по четырнадцати профилям, длина профилей составляла в среднем 80 метров

(рисунок 5), профили пройдены по бортам насыпной дамбы. Электроразведочные работы выполнены по схеме многогоризонтного дипольного профилирования двусторонней осевой установкой MN АВ MN. В качестве измерителя был использован измеритель типа ВПФ-210 разработанный в ДГП ИГИ РГП НЯЦ РК, погрешность и стабильность измерений которого находится в пределах возможностей существующих

зарубежных аналогов. В процессе измерений регистрировалось напряжение (ΔU) и ВП (ϕ) фазовый сдвиг. Обработка проводилась в программной среде IPI2WIN (МГУ, Россия).

Полученные разрезы кажущихся сопротивлений были использованы для анализа изменения электрических сопротивлений в разрезе и их идентификации с геологическими объектами (дамбы сооружения, граница подстилающих пород, водонасыщенность).

Результаты обработки позволяют получить в некотором приближении, в построенных геоэлектрических разрезах следующую информацию:

- местоположение внутренних границ дамб;
- приблизительную глубину кровли подстилающих пород;
- некоторые особенности конструкции дамб.

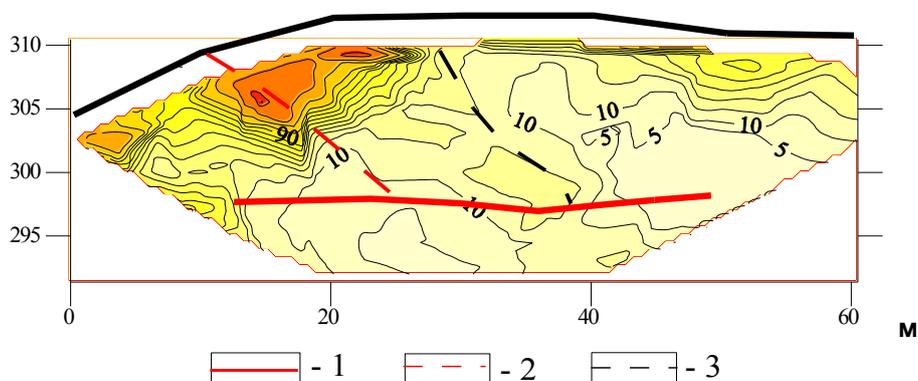
В результате, можно выделить, с учетом погрешности измерений и влияния приповерхностных неоднородностей техногенного происхождения на

глубину измерений, следующие зоны собственных сопротивлений:

- 5-10 Ом·м – эти участки сопротивлений могут принадлежать подстилающим породам, лежащим в основании отходов. Высотная граница кровли подстилающих пород зависит от рельефа фундамента и находится не ниже высотной отметки 298 метр. По результатам проведенных работ граница кровли подстилающих пород варьирует в пределах 298 – 301 метр;

более 30 Ом·м – эти участки сопротивлений принадлежат породам, входящим в конструкцию насыпной дамбы, также такие значения сопротивления имеет современная отсыпка кровли участка, состоящая из строительного мусора (рисунок 10).

Для уточнения материалов полученных методом ДЭП по отдельным точкам были проведены вертикальные электрические зондирования [10,11], которые уточнили положение подстилающих пород (рисунок 11).



1 – кровля подстилающих пород, 2 – предполагаемая внутренняя граница дамбы (первой отсыпки), 3 – современная внутренняя граница дамбы

Рисунок 10. Пример геоэлектрического разреза по профилю 4, с выделенными границами по бортам дамбы [8].

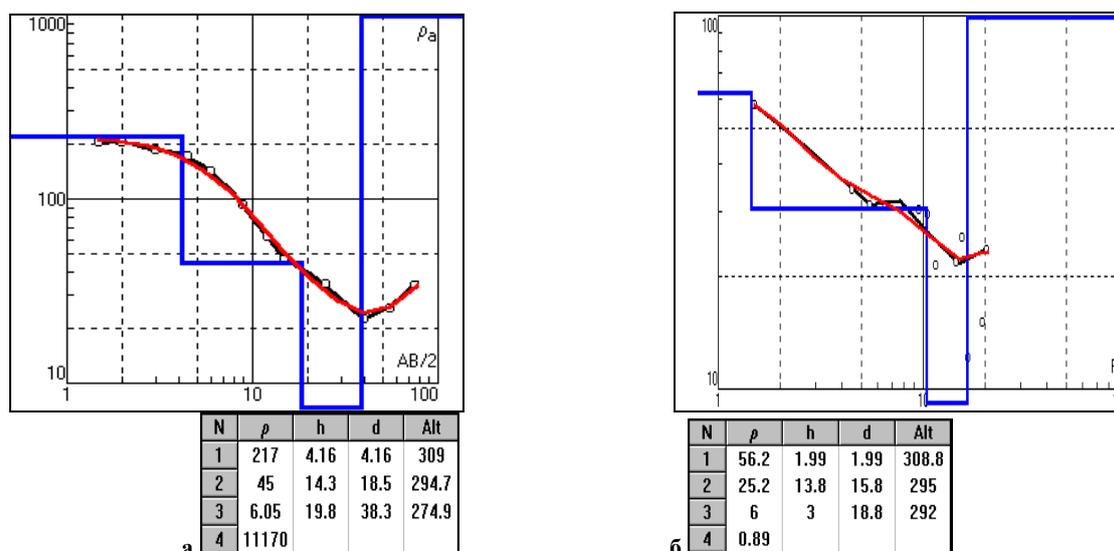


Рисунок 11. Пример сопоставления двух кривых (а) ВЭЗ, (б) ДЭЗ с результатами подбора в обрабатывающей программе IPI 2win [8]

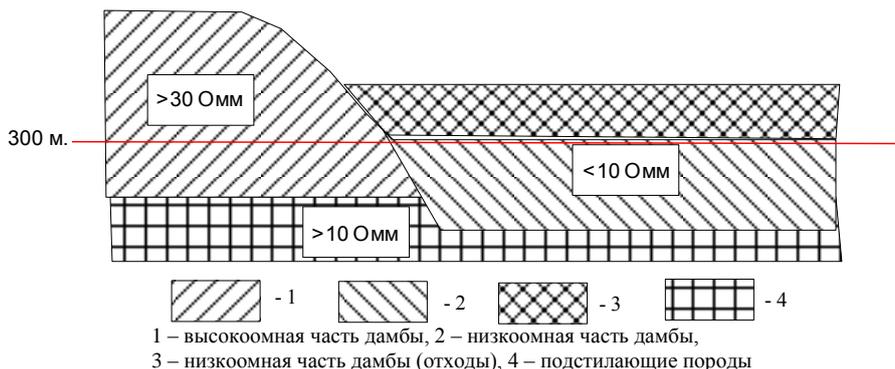


Рисунок 12. Конструкция дамб, составленная по материалам ДЭП [8]

По построенным геоэлектрическим разрезам можно предположить следующую ориентировочную конструкцию дамб (рисунок 12).

В целом воссоздание конструкции дамб не является основной задачей проведенных исследований. В данном случае благодаря применению современных методов обработки удалось добиться такого качества рабочего материала, на основании которого можно предположить некоторые элементы конструкции хвостохранилища.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

В соответствии с таблицей 1 ГОСТ 30672-99 «Грунты. Полевые испытания. Общие положения», одним из рекомендованных методов полевых испытаний грунтов является метод динамического зондирования, по результатам которого можно получить одну из характеристик грунтов – удельное сопротивление грунта конусу зонда.

Полевые испытания грунтов проведены в соответствии с ГОСТ 19912-2001 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием» с использованием специальной установки, обеспечивающей внедрение зонда ударным способом. Часть точек зондирования располагались в непосредственной близости от разведочных скважин (2÷5 метров) и геофизических профилей с целью получения необходимых для интерпретации результатов зондирования.

Наиболее представительные материалы получены по исследованиям, проведенным на карте №2 сооружения (рисунок 13).

По геоэлектрическому разрезу (рисунок 14) видна некоторая закономерность между изменением плотности и геоэлектрического сопротивления в положении подгоризонтов в толще грунтов. Так есть возможность провести сравнение между данными динамического зондирования и изменением геоэлектрического сопротивления грунтов по пикетам 40, 70 и 80 по профилю VI обработанного методом ДЭП.

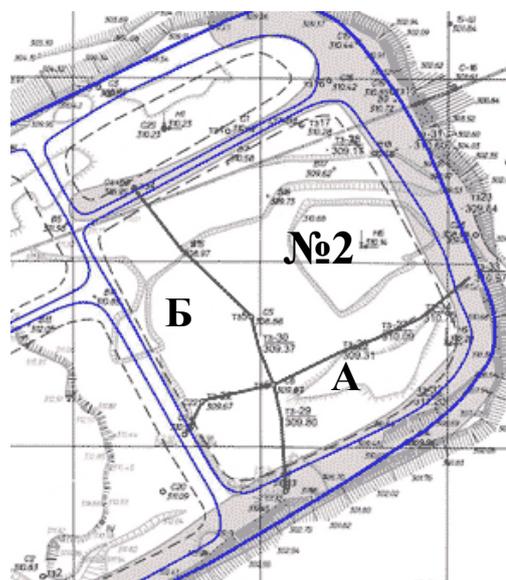


Рисунок 13. План точек зондирования по профилям А и Б по карте №2 [8]

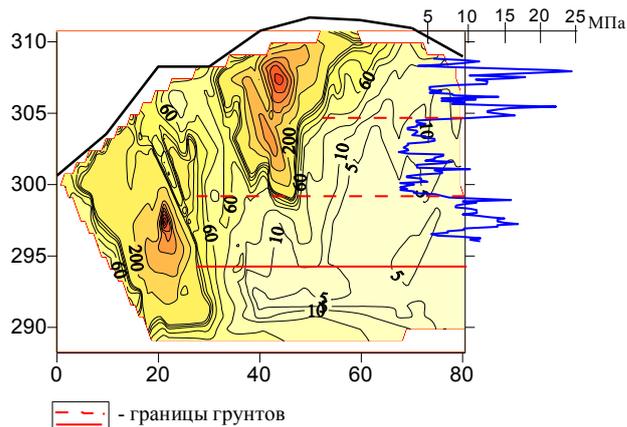


Рисунок 14. Сравнение графиков изменения плотности и сопротивления грунтов на пикете 80, по профилю VI [8]

Материалы динамического зондирования хорошо коррелируются с данными геофизических исследований и в данном случае взаимно дополняют друг друга. Эти материалы объясняют распределение высокоомных зон, на геоэлектрических разрезах привязывая их к определенным геологическим характеристикам грунтов, разница в физических свойствах которых и дает возможность, проводить подобные исследования, используя геофизический метод – электротриометрию [7]. Так полутвердые суглинки располагаются ближе к внешним дамбам сооружения, а по глубине – приурочены к верхней части разреза и, на отдельных участках, ближе к основанию сооружения, что хорошо отражается на геоэлектрических разрезах низкоомными зонами в пределах 10-15 Ом·м. А такие материалы, как гипс, используемые при строительстве дают высокоомные (более 30 Ом·м) характеристики геоэлектрическому разрезу. Также и элементы строительных конструкций бетон и кирпич, использовавшиеся для отсыпки перекрытия тоже на геоэлектрических разрезах проявляются как высокоомные зоны. В целом, применение такого широкого комплекса работ позволило получить развернутую (подробную) информацию об исследуемом объекте, определить участки, которые требуют более детального изучения другими методиками, входящими в состав инженерно-геологических изысканий, также показать состояние дамб в современный временной отрезок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варга, Г.Г. Инженерно- геологические аспекты комплексной методологии проектно- изыскательских и строительных работ на скальных породах. Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология / Г.Г.Варга. 1998. №3. с.3-16
2. Галин, Д.Л. Интерпретация данных инженерной геофизики / Д.Л. Галин. - М.: Недра, 1989. 124с.
3. Дроздов, А.В. Возможности геофизических сейсмических методов при решении инженерно-геологических задач на территории Семипалатинского испытательного полигона / А.В. Дроздов. // Сб. трудов II конференции-конкурса НИОКР молодых ученых и специалистов НЯЦ РК, (13-15 мая 2002 г.), г. Алматы, Казахстан, - Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, - 2002., 448 с.
4. Дроздов А.В. Анализ факторов повышения достоверности интерпретации результатов электро- и магнитных съемок в условиях Семипалатинского испытательного полигона / А.В. Дроздов // Сборник трудов III конференции-конкурса молодых ученых (14-16 мая, 2003 г.) - Курчатов: НЯЦ РК, 2003 г. 239-250с.
5. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2-х томах. Том 1. Полевые методы/ Под ред. Е.М. Сергеева. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984, 423 с. Том 2. Лабораторные методы/Под ред. Е.М. Сергеева. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984, 438 с.
6. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. - М.: Недра, 1985,- 184 с. (Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии)
7. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики / А.А. Огильви / Под ред. В.А. Богословского.- М.: Недра, 1990, - 501 с.
8. Отчет о результатах геолого-геофизических исследований «старого» хвостохранилища: отчет о НИР / Институт геофизических исследований НЯЦ РК; рук. В.Н. Демин. - К., 2005. - 188 с. – Инв. №129
9. Геолого-геофизическое сопровождение строительства энергетических установок и объектов захоронения РАО на территории РК: отчет о НИР / Коновалов В.Е – К., 2006. –20 с. – Инв.№135
10. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства.
11. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение геофизических методов для изучения современного состояния инженерных сооружений достаточно широко. В современном мире помимо руководств и сводов правил, созданных для регламентации порядка изучения объектов для строительства и объектов для захоронения отходов, предприятия-заказчики стараются выбрать или провести дополнительно к рекомендуемым методикам, геофизические методики, более широко отражающие или представляющие более широкую информацию о состоянии изучаемых объектов.

Тому примером материалы, приведенные в настоящей работе. Геофизические методики, а именно рассматриваемый метод ДЭЗ, как метод, проведенный дополнительно к основным методикам геолого-инженерного изучения, сделал акценты для более целенаправленного изучения объекта. Материалы электроразведочных работ послужили основой для выбора мест более детального изучения современного состояния хвостохранилища. Также представленные материалы помогли провести корреляцию границ и мощности дамб, как внешних, так и внутренних, разделяющих хвостохранилище на отдельные карты. Материалы электроразведки помогли определить по изменяющимся значениям сопротивлений первичные внутренние границы насыпной дамбы, которые затем были закреплены в описании технического сооружения.

ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МӘСЕЛЕЛРІН ШЕШУ ҮШІН ЭЛЕКТРБАРЛАУЫН ҚОЛДАНУ

Фролов З.Н., Дроздов А.В.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

«Ульба металлург зауыты» РАҚ «ескі» қалдықсақтауышында өткізілген инженерлік-геологиялық ізденістер кешеніне кіретін электрбарлау жұмыстарының ұсынылған материалдары, РАҚ қалдықсақтауышының конструкциясының қазыргы күйін түбегейлі зерделеуіне негізі болып келген.

APPLICATION OF ELECTRICAL SURVEY TO SOLVE ECOLOGY TASKS

Z. Frolov, A. Drozdov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The given material for electrical survey activities, included to engineer-geology survey, which had been performed at an “old” RAW (Radio Active Wastes) storage facility “Ulbinsk Metallurgical Plant” gave rise to a detailed investigation of the modern condition of RAW storage facility design.

УДК 533.9.08;621.039.66

ЭРГОНОМИКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИК ТОКАМАКА КТМ

Колокольцов М.В., Шипилов П.В., Шаповалов Г.В.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Создаваемый в настоящее время в Республике Казахстан материаловедческий токамак КТМ должен стать уникальной физической установкой, оснащенной комплексом специфичных диагностических средств. Для обработки и визуализации экспериментальных данных физических диагностик необходимы специализированные инструменты – комплекс программного обеспечения, позволяющий работать с данными с наибольшей эффективностью. Причем эффективность работы определяется не только функциональностью системы, но и ее эргономическими показателями. На сегодняшний день в мире существует ряд систем обработки и визуализации экспериментальных данных токамаков. Все они обладают различной функциональностью и различными эргономическими показателями. В статье проводится анализ интерфейсов нескольких подобных систем с точки зрения удобства использования и предлагается интерфейс, ориентированный на работу с данными результатов калибровок физических диагностик токамака КТМ.

ВВЕДЕНИЕ

Продолжается строительство Казахстанского материаловедческого токамака КТМ, установки, создаваемой для исследования поведения материалов первой стенки и дивертора в потоках тепла и частиц плазмы, близких по параметрам к ИТЕР. Для проведения на ней экспериментов и получения достоверной информации о физических процессах и параметрах плазмы с учетом решения задач материаловедения предполагается использовать довольно большое количество систем диагностик, близкое по составу к ИТЕР. Одним из самых востребованных видов данных установки будут результаты измерений систем физических диагностик.

Для калибровки физических диагностик в настоящее время создается специальный стенд, включающий в себя ряд электрофизических установок. Полученные экспериментальные данные будут подвергаться обработке, целью которой будет анализ работы физических диагностик и их калибровка. Очевидно, что кроме системы сбора данных, стенд должен быть оснащен программным обеспечением послепусковой визуализации данных, с помощью которого и будет производиться обработка и анализ информации.

Качество анализа данных складывается из многих слагаемых, одним из которых является качество интерфейса программного обеспечения (ПО) визуализации данных. Интерфейс "собирается" из готовых элементов. Однако из одних и тех же элементов можно "построить" интерфейсы различного качества и с различными эргономическими свойствами.

Очень часто технически идеально спроектированная система не оправдывает ожиданий и очень часто это происходит из-за недостаточного учёта человеческого фактора в процессе проектирования и разработки, то есть в результате недостаточного внимания к эргономическим показателям систе-

мы [1]. В современном мире ИТ часто употребляется также понятие «юзабилити» (англ. usability) .

Юзабилити, по сути — это раздел эргономики, посвящённый разработке ПО и интерфейсов. Некоторые исследователи считают, что юзабилити и эргономика - понятия отдельные, поскольку эргономика делает упор на физиологическом удобстве, а юзабилити рассматривает психологические аспекты в большей степени, чем эргономика.

Ныне термин «юзабилити» всё чаще используется как синоним слова «эргономика» в контексте таких продуктов, как бытовая электроника или средства связи. Неформально он также употребляется по отношению к эффективности механических объектов, таких как дверная ручка или элементы управления автомобиля [2].

Целью данной работы являлся анализ существующего ПО визуализации экспериментальных данных токамаков с точки зрения эргономических показателей, выбор из имеющихся систем наиболее удобных и функциональных способов работы с данными и формирование идеологии работы с данными физдиагностик токамака КТМ.

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ИНТЕРФЕЙСОВ

В современном мире ИТ проектирование интерфейсов превратилось в самостоятельную проблему, зачастую превосходящую по сложности проблему разработки кодов программы, и требует, как и процесс проектирования любой сложной системы, соответствующих методов, средств, и, естественно, усилий квалифицированных специалистов. Применяется также термин "человеко-компьютерный интерфейс". Таким образом, делается попытка разработчиков программного обеспечения отделить, по крайней мере, концептуально, функциональное назначение программных продуктов от проблем, связанных с организацией взаимодействия пользователя с этими продуктами. Такое разделение является необходимым условием создания "дружественных"

интерфейсов по отношению к пользователям программных продуктов.

Существует четыре основных критерия качества любого интерфейса [3], а именно:

- скорость работы пользователей - состоит из длительности восприятия исходной информации, длительности интеллектуальной работы (в смысле – пользователь думает, что он должен сделать), длительности физических действий пользователя и длительности реакции системы.
- количество человеческих ошибок;
- скорость обучения - данный критерий складывается из общей «понятности» системы и обучающих материалов.
- субъективное удовлетворение пользователей.

При этом подразумевается, что соответствие интерфейса задачам пользователя является неотъемлемым свойством интерфейса.

Таким образом, видно, что разработка интерфейса представляет собой сложный и трудоемкий процесс, наиболее удачным завершением которого, является интерфейс, который при работе совершенно не ощущается. То есть пользователь получает возможность заниматься решением своих задач, естественно манипулировать элементами управления и данными и не концентрируясь при этом на процессе взаимодействия с системой.

Очевидно, что наиболее высокую результативность можно получить лишь при подобной организации работы.

ПО ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИК

Функциональные требования к ПО

Система физических диагностик КТМ включает в себя ряд диагностик (микроволновые, рентгеновских, МГД, и т.д.), сигналы наиболее «быстрых» из которых могут содержать порядка нескольких миллионов отсчетов (частоты дискретизации порядка МГц при продолжительности сбора данных несколько секунд). Большое количество отсчетов, и является основной особенностью данных физдиагностик КТМ, которую можно отметить на данном этапе.

В процессе работы с ПО визуализации пользователь в основном анализирует данные, для чего ему приходится активно изменять масштабы диаграммы и область отображения, манипулировать состоянием кривых (показывать, прятать их, изменять привязку к осям, и т.д.). При этом его внимание сосредоточено на процессе анализа, а в кратковременной памяти обычно находятся материалы, необходимые для работы [4,5]. Таким образом, любое сознательное манипулирование элементами управления, приводит к сбиванию фокуса внимания, изменению содержимо-

го кратковременной памяти, и как следствие, увеличивает длительность процесса анализа данных и снижает его качество.

Кроме того, по итогам анализа работы измерительных систем чаще всего выпускаются различного рода документы, в состав которых входят полученные в ПО визуализации данных диаграммы.

Таким образом, можно сформулировать следующие основные функциональные требования к ПО:

1. Обеспечение визуализации сигналов измерительных систем в виде диаграмм и таблиц с возможностью изменения масштаба осей, сравнения сигналов.
2. Обеспечение производство различных операций (прореживание, сглаживание, фильтрация) с сигналами.
3. Создание отчетов по проведенным экспериментам с возможностью их последующего редактирования и распечатки.

В ходе выполнения работы были проанализированы интерфейсы доступа к данным нескольких действующих токамаков: «Глобус-М», Т-10 (Россия) и НТ-7 (Китай). (Рассматривалась также система визуализации данных токамака Т-11М [6], однако, несмотря на то, что система достаточно функциональна, ее интерфейс вряд ли стоит подробно изучать, поскольку система функционирует под операционной системой MS-DOS и явно не отвечает требованиям сегодняшнего дня.)

Анализ проводился с точки зрения функциональности и четырех критериев качества интерфейса.

Интерфейс системы токамака НТ-7

Информация о ПО китайского токамака НТ-7, к сожалению, минимальна и сводится к снимку экранов (рисунок 1) и небольшому текстовому описанию [7]. Система интегрирована с базой данных MS SQL Server и разработана в среде Delphi.

Судя по небольшому количеству элементов управления и пунктов меню, можно сделать вывод о том, что функциональность ПО невелика и система содержит лишь минимальный набор инструментов визуализации.

ПО позволяет работать в нескольких режимах, в том числе и в режиме сравнения данных из различных экспериментов. Судя по всему, имеется также возможность отмены предыдущих действий, что, несомненно, является плюсом системы.

Элементы управления стандартны, органично вписываются в мир Windows, о назначении большинства из них можно догадаться по рисункам. Система имеет MDI интерфейс, позволяющий открывать в главном окне приложения несколько окон с данными.

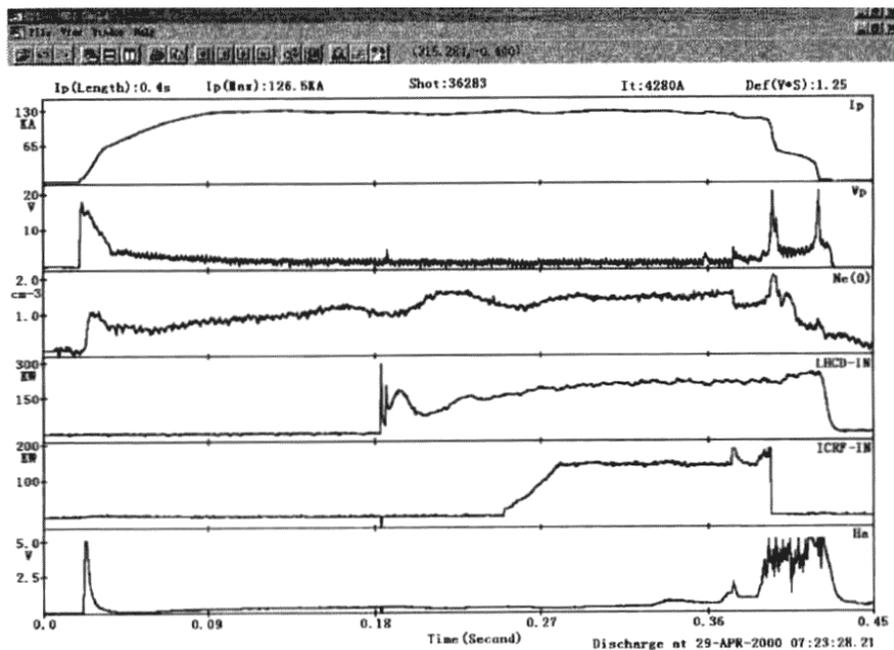


Рисунок 1. Снимок экрана ПО токамака НТ-7

Скорость работы пользователей. Разумеется, этот критерий по снимкам экрана определить вряд ли удастся, остается только предположить, что, создавая стандартные и легко распознаваемые элементы управления, разработчики использовали и оптимальные способы взаимодействия с системой.

Скорость обучения. Стандартность интерфейса, судя по всему, делает возможным использование данного ПО пользователем Windows сразу, без прочтения документации.

Количество ошибок. Система довольно проста, панель инструментов проста и понятна – можно

предположить, что количество пользовательских ошибок невелико.

Субъективное удовлетворение. Автору работы, скорее всего, было бы приятно работать с данной системой.

Интерфейс системы токамака Глобус

ПО с данного токамака можно оценить более точно, так как с ним удалось поработать непосредственно.

В целом интерфейс напоминает только что рассмотренный, однако, более насыщенный элементами управления и с SDI.

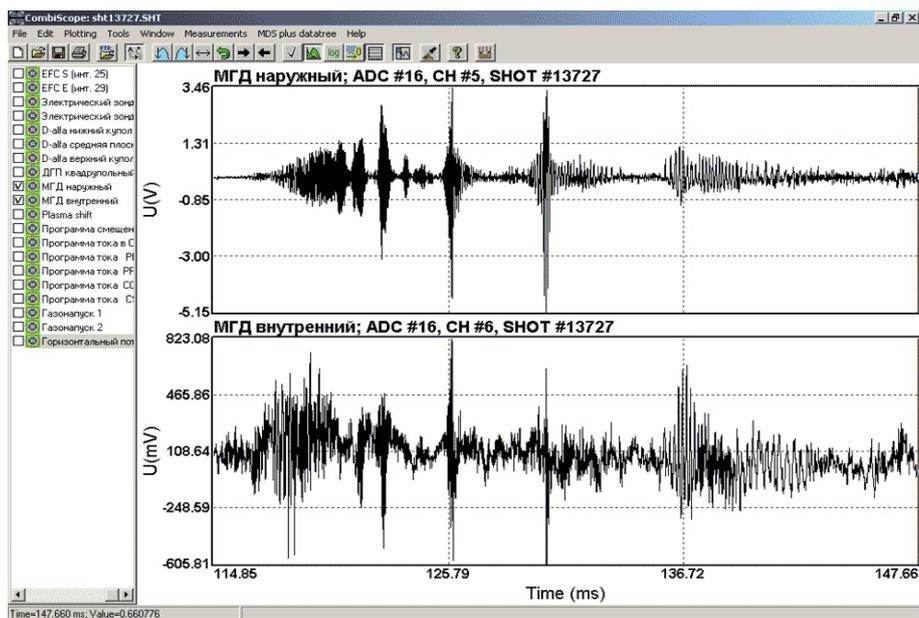


Рисунок 2. Снимок экрана ПО токамака Глобус

Скорость работы с данными средняя. Для изменения масштаба, к примеру, приходится совершить целый ряд действий. С другой стороны очень просто производятся некоторые математические операции.

Обучение не вызвало проблем, при некотором экспериментировании с элементами управления приемлемого опыта можно достичь за считанные минуты.

Количество ошибок. Система довольно понятна, элементы управления достаточно стандартны, так что ошибки совершались только в первое время знакомства с системой.

Субъективное удовлетворение. В целом система вызывает симпатию, работать вполне комфортно, интерфейс хорошо проработан, пункты меню логично сгруппированы, не возникает проблем с их поиском. Несколько, однако, раздражает способ работы с диаграммами, при котором для изменения их масштаба приходится сначала перемещать указатель на диаграмме, указывая один из краев фрагмента, потом вести мышь к панели инструментов, нажимать кнопку, а далее вести мышь обратно, указывать другой край и вновь щелкать по панели. Кроме того, информация в левом углу экрана занимает значительный объем экранного пространства. Никак не структурированы диагностики, что несколько увеличивает время поиска нужной.

Система обладает достаточно высокой функциональностью: встроенные математические функции, возможность экспорта сигналов в виде растрового изображения и текстовых файлов.

Интерфейс системы токамака T-10

Наиболее экзотичный интерфейс из всех рассмотренных, большое количество элементов управления, неожиданное для офисного ПО расположение и нестандартный внешний вид, SDI организация.

Скорость работы с данными оценить достаточно трудно, поскольку автору так и не удалось достичь приемлемого уровня опыта, позволяющего эффективно использовать данное ПО. Таким образом, можно сказать, что для пользователя, не часто работающего с системой, основное время уходит на поиск необходимых инструментов и элементов управления.

Скорость обучения. Элементы управления, как уже было сказано, располжены и выглядят весьма неожиданно до такой степени, что разобраться с системой можно лишь после прочтения сопутствующей документации. Вызывает удивление также факт отсутствия главного меню – основного элемента управления, кроме всего прочего выполняющего и обучающую функцию.

Количество ошибок. При попытках освоения системы ошибки совершались довольно часто. Кроме того, нельзя назвать удачным расположение элементов управления в правом углу окна, там, где находятся кнопки управления самим окном. Окна густо насыщены элементами управления весьма малого размера, что без сомнения увеличивает вероятность моторных ошибок [3].

Субъективное удовлетворение. Наименее приятный из трех рассмотренных интерфейсов. Мелкие кнопки, странное поведение очень функционального и удобного компонента TChart, отсутствие меню, полная нестандартность интерфейса.

Между тем, из документации удалось выяснить, что система весьма функциональна, содержит целый комплекс встроенных математических операций, интегрирована с мощной базой данных и содержит богатые возможности обмена данными с внешними приложениями. По мнению автора, яркий пример высокой функциональности при не очень проработанном интерфейсе, то есть как раз случай, описанный во введении.

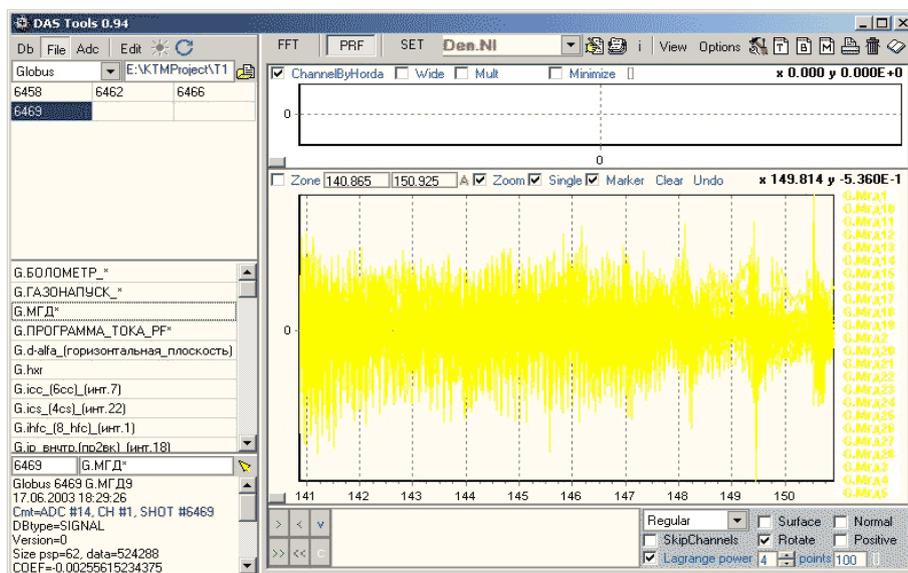


Рисунок 3. Снимок экрана ПО токамака T-10

ИНТЕРФЕЙС ПРИЛОЖЕНИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ CHARTER

Как было показано выше, подходы к организации интерфейса ПО визуализации экспериментальных данных токамаков довольно разнообразны и определяются, вероятнее всего, условиями разработки и использования. Какого-либо сложившегося стандарта на сегодняшний день не существует. Поэтому при разработке интерфейса визуализации результатов калибровок физических диагностик КТМ было решено выбрать наиболее удачные на взгляд авторов интерфейсные решения из рассмотренных выше систем.

За основу системы визуализации результатов калибровок физических диагностик КТМ было взято приложение послепусковой визуализации экспериментальных данных систем измерения параметров жидкого натрия Charter, поскольку оно активно используется сотрудниками отдела при анализе данных и подготовке отчетов.

“Натриевые” диагностики по количеству отчетов сходны с диагностиками КТМ, похожи также условия использования и требования к функциональности ПО.

Технически система хранения и визуализации данных “натриевых” систем состояла из небольшой файл серверной базы данных и отдельно хранящихся файлов с результатами измерений и документацией. Charter же является некой оболочкой централизованной визуализации этих данных. Подробно техническая структура ПО была рассмотрена в работах [8,9].

Было решено развить систему до возможности использования ее при работе с физдиагностиками КТМ: разработать клиент-серверную БД, включающую в себя всю необходимую информацию о проведенных экспериментах, установках и настройках

измерительной аппаратуры и дополнить Charter необходимой функциональностью.

На текущий момент тестируется версия системы, позволяющая работать как с данными физдиагностик КТМ, так и с уже имеющейся информацией “натриевых” систем.

Как уже было отмечено выше, основным видом информации, подлежащей визуализации, являлись сигналы измерительных систем, поэтому Charter ориентирован на работу именно с этим видом данных.

Рассматривать подробно интерфейс Chartera (рисунк 4), являющего обычным Windows-приложением вряд ли имеет смысл, разработчики старались следовать стандартам офисного ПО. Следует остановиться лишь на некоторых особенностях интерфейса, отличающих его от рассмотренных выше систем.

В случае Chartera, в отличие от систем с T-10 и Глобуса была выбрана MDI организация интерфейса. Таким образом, предполагалось расширить возможности анализа и манипуляций с данными, сэкономив при этом экранное пространство. Пользователь сам формирует диаграммы для просмотра: в одном окне один график, график может содержать от одной до тридцати двух кривых.

Информация о доступных в данный момент данных подается в виде дерева, что позволяет структурировать данные и экономить экранное пространство. Причем заполнение узлов данными происходит в момент их раскрытия, таким образом, сокращается время, необходимое на формирование дерева данных. Узлы могут быть, как раскрытыми, так и закрытыми по умолчанию. Изменение настроек осуществляется одной кнопкой, настроенной на режим Check.

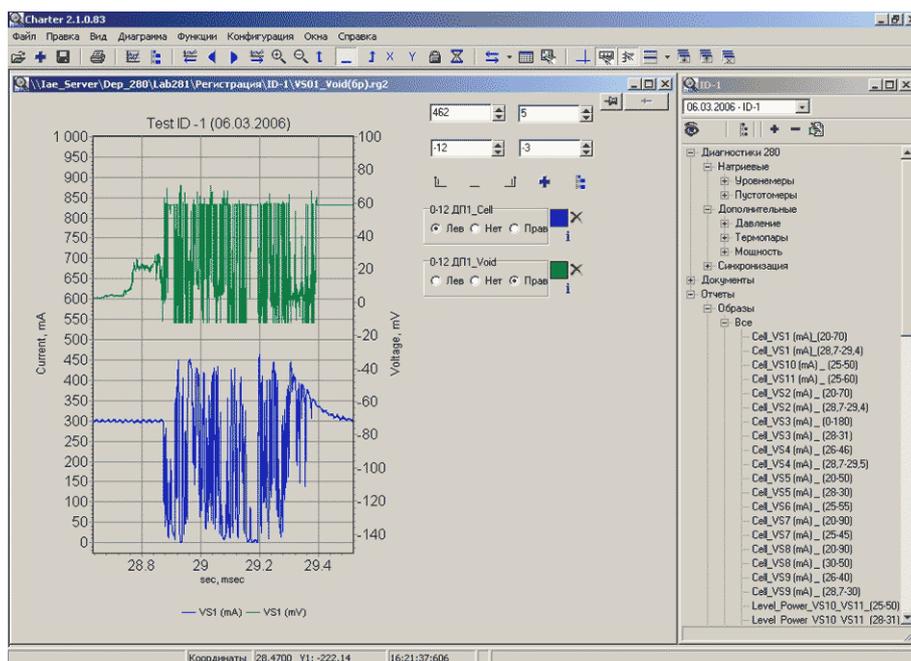


Рисунок 4. Снимок экрана приложения Charter

Основной тип окон в Chartere – окна диаграмм. Основным в них является компонент TChart, богатый функционально и с широкими диапазонами настройки. К плюсам TChart следует также отнести возможность непосредственного манипулирования настройками диаграммы, то есть пользователь может изменять масштаб и область просмотра простыми движениями мыши. Непосредственное манипулирование вообще является весьма эффективным способом производства действий [3]. (Широко используемую в Windows технологию DragAndDrop можно отнести к аналогу непосредственного манипулирования. В Chartere DragAndDrop тоже используется: приложение «умеет» обрабатывать перетаскиваемые на него и на его пиктограмму файлы.)

Для быстрого управления состоянием отображаемых кривых справа от диаграммы находится панель управления, содержащая в основном стандартные элементы управления. Особенно следует отметить лишь несколько необычный способ использования GroupBox. Изменение активного его элемента вызывает немедленное изменение состояний серий диаграммы. Тогда как традиционно GroupBox не должен непосредственно вызывать никаких действий. С одной стороны, подобное использование его чревато нарушением сложившимися у пользователей представлений [3], но с другой из всех рассмотренных вариантов данный – наиболее компромиссный между количеством элементов управления, информативностью и занимаемым экранном пространством (рисунок 4). Таким образом,

пользователь может изменять состояния кривых, добавлять и удалять их из списка просмотра.

Очень часто в процессе работы появляется необходимость обращаться к определенному участку диаграммы с настроенными определенным образом кривыми. Данная возможность реализуется с помощью закладок (рисунок 4, расположены справа от списка кривых). Нажатие на левую кнопку приводит к «запоминанию» фрагмента, а щелчок по правой – к переходу к нему. Информация о настройках закладки дается в виде всплывающей подсказки, изменить настройки можно выбрав пункт из всплывающего меню. Диаграмма может содержать неограниченное количество закладок.

Поскольку неиспользуемые элементы управления фактически являются для пользователя «визуальным шумом» [3], то панель закладок и панель настроек диаграммы могут быть при желании спрятаны с помощью кнопок на панели инструментов, либо двойным щелчком по диаграмме (рисунок 5).

Кроме непосредственного манипулирования настройками диаграммы, изменять область просмотра можно с помощью скролла мыши, а также из главного окна. Для этой цели на главную панель инструментов помещен ряд кнопок, позволяющих изменить масштаб диаграммы, область отображения, синхронизировать оси времени и брать окна графиков «в замок», то есть выбирать такой режим работы, при котором действия по изменению масштаба и области просмотра начинают выполняться в отношении всех открытых окон (рисунок 6).

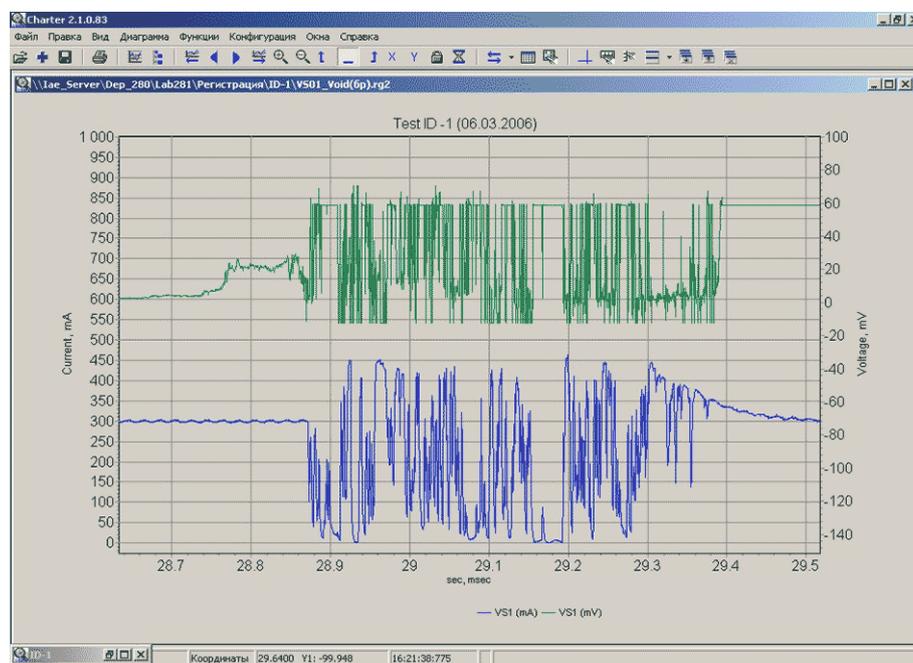


Рисунок 5. Снимок экрана приложения Charter

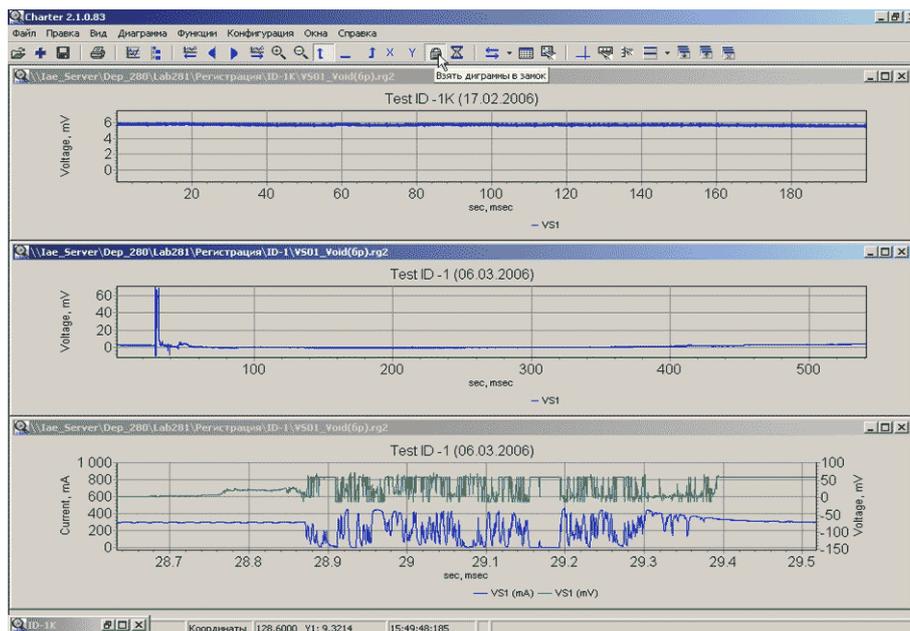


Рисунок 6. Снимок экрана приложения Charter

Для экономии действий пользователя, уменьшения пробега мыши при анализе данных имеется окно, дублирующее кнопки главной панели инструментов. По сути, оно является всплывающим по нажатию на скролл (правая кнопка мыши на TChartе, увы, «занята» - ей включается режим манипулирования графиком) меню, используемым опытными пользователями.

Для облегчения анализа данных имеется курсор, отображаемый одновременно во всех окнах, всплывающие подсказки точного значения сигнала и режим отображения сигналов в табличном виде. Имеется возможность оформления диаграммы.

Часто при работе с данными возникает необходимость повторного использования полученных однажды диаграмм. Для этой цели имеется возможность сохранения графика во внутреннем формате Chartere. Сохраняются и все настройки, включая упомянутые выше закладки. Полученный таким способом «образ» щелчком по кнопке на панели окна доступной информации может быть добавлен к дереву данных для его дальнейшего использования.

Данные могут передаваться в приложения MS Word и MS Excel, сохраняться в виде таблиц и растровых изображений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работ получены следующие результаты:

1. Проведен анализ существующего ПО визуализации экспериментальных данных действующих токамаков, выявлены сильные и слабые его стороны с точки зрения функциональности и эргономичности.
2. Получена идеология визуализации экспериментальных данных физических диагностик КТМ.

3. Разработаны основные инструменты визуализации данных.

4. Получена тестовая версия системы ПО, позволяющей работать как с данными физдиагностик КТМ, так и с информацией результатов измерений параметров жидкого натрия.

Разработанное ПО является неотъемлемой частью системы измерений параметров жидкого натрия и активно используется при обработке и анализе экспериментальных данных, полученных в рамках работ по теме EAGLE.

Очевидно, что на данном этапе невозможно определить все требования к ПО обработки и визуализации экспериментальных данных стенда калировки физдиагностик КТМ, поэтому по завершении тестирования полученной версии работа над ПО визуализации будет продолжена. Система будет дополнена математическими функциями, предполагается усилить интеграцию с офисными приложениями, математическими пакетами. Соответственно будет проводиться параллельная проработка интерфейса системы.

Дальнейшее развитие данной работы позволит моменту проведения физического пуска на КТМ получить качественный, удобный и функциональный набор инструментов для обработки, визуализации, анализа и документирования данных физических диагностик КТМ, ориентированным на работу именно с этим видом данных. Это позволит максимально разгрузить исследователей, высвободить все их ресурсы, направить их решение исследовательских задач и сделать установку КТМ уникальным комплексом – как с точки зрения физики, так и в плане информационных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы проектирования пользовательских интерфейсов SCADA-систем. / П.М. Елизаров, Я.М. Перевалов., Доклад на IV Всероссийской Конференции Разработка АСУТП в системе "Трейс Моуд": задачи и перспективы (<http://www.usability.ru>)
2. Task-Centered User Interface Design. / Lewis & Rieman (<http://www.acm.org>)
3. Дизайн пользовательского интерфейса. Юзабилити. / В.В. Головач (www.uibook.ru)
4. Когнитивная психология. Материалы финско-советского симпозиума. Москва – Москва.: Наука, 1986
5. С.Л. Рубенштейн. Основы общей психологии / С.Л. Рубенштейн. - Питер, 2005. – 355
6. Программа VSBOR для графической визуализации и оперативной обработки экспериментальных данных ИБК Т-11М. / Богданов М.А., Лазарев В. Б., Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в 2002 году. Вып. 2 – Троицк, ОНГИ ГНЦ РФ ТРИНИТИ, 2003.
7. The Distributed Control and Data System in HT-7 Tokamak. / J.R. Luo, H.Z. Wang, Z.S. Ji, L. Zhu, F. Wang, and Yantai Shu, IEEE Transactions on nuclear science, vol. 49, no. 2, 2002
8. База данных измерений температуры кориума с помощью инфракрасных датчиков. / Колокольцов М.В., Шаповалов Г.В., Маринин А.С., Труды конференции-конкурса молодых ученых, г. Курчатова, 2003 г.
9. Разработка программного обеспечения автоматизации быстродействующей системы измерений параметров жидкого натрия на платформе Windows. / Колокольцов М.В., Шаповалов Г.В., Труды конференции-конкурса молодых ученых, г. Курчатова, 2005 г.

КТМ ТОКАМАКТЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ДИАГНОСТИКАНЫҢ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬДЫҚ МӘЛІМЕТТЕРІН ВИЗИРЛЕУДІҢ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ЭРГОНОМИКАСЫ

Колокольцов М.В., Шипилов П.В., Шаповалов Г.В.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатова, Қазақстан

Осы күнгі Қазақстан Республикасында құрылып жатқан заттану КТМ токамагі бірегей физикалық қондырғы, арнайы диагностикалық құралдармен жабдықталған кешен болуы керек. Физикалық диагностиканың экспериментальдық мәліметтерін визирлеу және өңдеу үшін арнайы жабдықтар - мәліметтермен аса жоғарғы тиімділікте жұмыс істеуге мүмкіндік беретін бағдарламалық қамтамасыз ету кешені қажет. Жұмыстың тиімділігі тек қана жүйенің қызметімен ғана емес, сондай-ақ оның эргономикалық көрсеткіштерімен анықталады. Қазіргі күнде дүние жүзінде токамактардың экспериментальдық мәліметтерін визирлеу мен өңдеудің бір қатар жүйелері бар. Олардың барлығы әртүрлі қызметтер мен әртүрлі эргономикалық көрсеткіштерді иеленеді. Мақалада бірнеше ұқсас жүйелердің қолданудың қолайлылығы көз қарасындағы интерфейсдердің талдауы және КТМ токамақтың физикалық диагностикасын үлгілеу нәтижелерінің мәліметтерімен жұмыс істеуге бағытталған интерфейс ұсынылады.

ERGONOMICS OF SOFTWARE OF EXPERIMENTAL DATA VIZUALIZATION OF PHYSICAL DIAGNOSTICS OF TOKAMAK KTM

Kolokoltsov M. V., Shipilov P. V., Shapovalov G. V.

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

At present the material authority tokamak KTM created in Kazakhstan should be unique physical facility equipped by the complex of specific diagnostic devices. Specialized instruments – software complex for more effective operations with data are necessary for processing and visualization of experimental data of physical diagnostics. At that the work efficiency is not determined by only the system functionality, but its ergonomic factors.

At present there is a number of systems of processing and visualization of tokamaks data all over the world. All of them possess the different functionality and different ergonomic factors. In this article the analysis of some similar systems interfaces in accordance with comfortable use are conducted and an interface directed to operations with data of calibrations results of tokamak KTM physical diagnostics is proposed.

УДК 621.039.51

ТЕПЛОВЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ С ЭФФЕКТИВНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЦИКЛОМ**Котов В.М., Котов С.В.***Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Современные тепловые реакторы могут работать на разведанных запасах урана не более 50 лет, в случае если суммарный уровень мощности всех АЭС будет соответствовать уровню потребления человечеством электроэнергии.

Основной путь к атомной энергетике такого масштаба, по мнению многих специалистов в создании быстрых реакторов. Но у таких реакторов есть много недостатков. Основные из них – высокая стоимость и увеличение опасности распространения ядерных оружейных материалов.

В работе показана экономическая эффективность данной технологии. Эффективность заключается в исключении стадии обогащения топлива, значительном уменьшении цены сырьевых топливных компонент. Важным фактором технологии является возможность длительной работы атомной энергетике на существующих запасах дешевого урана. При современных ценах на уран, использование сырья на уровне 5-10% достаточно оправдано. В случае, если суммарный уровень мощности атомных электростанций будет выше 4000 ГВт, то будет желательным увеличение величины использования уранового сырья.

Вклад атомной энергетике в мировое производство энергии будет существенным тогда, когда ее общая мощность будет на уровне современного производства электрической энергии. 70 000 ГВт – это менее половины мощности современного потребления энергии человечеством.

Современная атомная энергетика на тепловых реакторах использует менее одного процента уранового сырья. Разведанных запасов урана с приемлемой стоимостью в этом случае хватит не более чем на 40 лет.

В настоящее время считается, что основным решением проблемы воспроизводства является использование быстрых реакторов.

Особенность быстрых реакторов заключается в высокой концентрации делящихся веществ в их топливе. Следствием этого является необходимость переработки больших масс уранового сырья для первого и второго пуска реактора, когда нет возврата от переработки отработавшего топлива, соответственно высокий уровень затрат на создание реактора.

Современные тенденции создания быстрых реакторов решают проблему аварии на реакторе снижением воспроизводства делящихся веществ до уровня не более 1.05, а избыточными нейтронами предполагают выжигать актиниды.

Однако, эти решения не позволяют снизить затраты на реакторы и их топливный цикл до желательных величин. Большой срок возврата средств заставляет устанавливать большим и срок работы реактора (более 60 лет), что требует вовлечения дополнительных затрат, снижает динамичность развития атомной энергетике и отодвигает время ее возможного широкого внедрения.

Сложности воспроизводства делящихся веществ в тепловых реакторах связаны с малым количеством вторичных нейтронов. Можно отметить два пути совершенствования тепловых реакторов, реализуемых в

современных программах. Первый из них связан с улучшением характеристик работы реактора. Используются выгорающие добавки для компенсации начальной реактивности в кампании, снижения максимума оперативной реактивности. Для повышения длительности кампании увеличивается содержание делящихся веществ в начальном топливе.

Второй путь связан с повышением воспроизводства. Возможность воспроизводства делящихся веществ на основе уранового сырья по мнению многих ученых хорошо представлена в [1]: "...при всех мыслимых усовершенствованиях...выжигание урана... вряд ли достигнет более 1 %". Лучшие перспективы даются реакторам, работающим на ториевом сырье. Например, в работе [2] представлен вариант модернизации реактора CANDU, в котором обеспечивается полное воспроизводство ^{233}U .

О терминологии

1. О воспроизводстве делящихся веществ можно однозначно говорить только в случае, если в начале кампании и на ее заданном этапе имеется одинаковое соотношение делящихся компонент. В противном случае нужно учитывать различие в ценности этих компонент и временную зависимость воспроизводства. Реализуемая величина воспроизводства делящихся веществ в кампании более строго определяет две другие величины – величину использования уранового сырья и степень вовлечения в работу ториевого сырья.

2. О величине использования сырья можно говорить только в отношении уранового топлива. Наличие в природном уране делящейся компоненты - ^{235}U , активно используемой при работе реактора, вызывает появление "бросового" ^{238}U в конце кампании (или на этапе разделения изотопов при подготовке топлива) и, соответственно, неполноту использования всего урана.

Величиной использования уранового сырья будем считать отношение количества выгоревших

нуклидов урановой топливной цепочки к затратам природного урана на работу реактора в кампании

3. В отношении ториевого сырья следует говорить о степени вовлечения тория в ядерную энергетику по рассматриваемой технологии. В идеале достаточно, чтобы отношение мощностей, вырабатываемых на ториевой и урановой компонентах, соответствовало их распространенности в земной коре.

Степенью вовлечения тория в энергетику будем считать отношение энерговыделения в топливных нуклидах ториевой цепочки к полному энерговыделению в кампании реактора.

4. Топливные нуклиды делятся на сырьевые и нессырьевые. К сырьевым относятся ^{238}U , ^{232}Th . К нессырьевым - ^{234}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu . В ходе работы реактора в нем могут находиться две разновидности ^{235}U – сырьевой ^{235}U и вновь образованный в ториевой цепочке топливных нуклидов.

Получить высокое качество реактора на тепловых нейтронах в отношении использования сырья можно в том случае, если в его кампании будет необходимо минимальное количество сырьевого ^{235}U . Такой результат был достигнут в [3] за счет совместного использования следующих решений:

- Реактор работает по технологии суперпозиции зон [4], когда избыточные нейтроны начала кампании используются на расширение воспроизводства делящихся веществ в ее конце.
- Исключаются выгорающие компенсаторы реактивности, интеграл реактивности в кампании близок к нулю.
- Реактор работает в замкнутом топливном цикле с равновесной кампанией по нессырьевым нуклидам, содержание каждого из них в топливе в начале кампании равно его содержанию в конце кампании.
- Обеспечиваются минимально возможные потери нейтронов в конструкционных материалах и на утечку из реактора. Для этого используются материалы с обогащением по изотопам с малыми сечениями захвата нейтронов.

- Используется дополнительный источник нейтронов за счет реакции "n-2n" на бериллиевых вставках в тепловыделяющих сборках.
- Регулирование мощности реактора в установившемся режиме ведется с минимальными потерями нейтронов и минимальным влиянием органов регулирования на распределение энерговыделения в активной зоне.

При выполнении работ по данному направлению использовалась следующая последовательность. Прорабатывалась конструкция активной зоны реактора и его тепловыделяющей сборки. Проводился расчет нейтронно-физических параметров реактора по программе MCNP. По данным этого расчета определялись потери нейтронов в конструкционных материалах и на утечку, а также матрицы приведенных сечений топливных нуклидов для одно групповой модели реактора. Проводился расчет характеристик кампании по одно групповой, точечной программе "Динамика" [5]. В ходе этого расчета находились изменения состава нуклидов топлива и основных поглотителей из числа продуктов деления в кампании, поток нейтронов и их потери в продуктах деления при заданной длительности кампании. Если в ходе расчетов по программе "Динамика" нарушались условие равновесия топливных нуклидов, условие равенства нулю интеграла реактивности, то проводился новый цикл расчетов с новыми исходными условиями. К этим условиям могут относиться, как материальные параметры (например, общее содержание делящихся веществ в топливе, шаг решетки), так и поток нейтронов, длительность кампании. При выполнении всех необходимых требований находились доля использования уранового сырья и степень вовлечения тория в энергетику.

На рисунке 1 приведен эскиз такого реактора с минимальными размерами. В активной зоне каждого реактора установлено 475 каналов. Замедлителем является тяжелая вода. Отражатель в реакторе разделен на две части. Ближняя к активной зоне часть отражателя состоит из тяжелой воды, дальняя по радиусу – из графита.

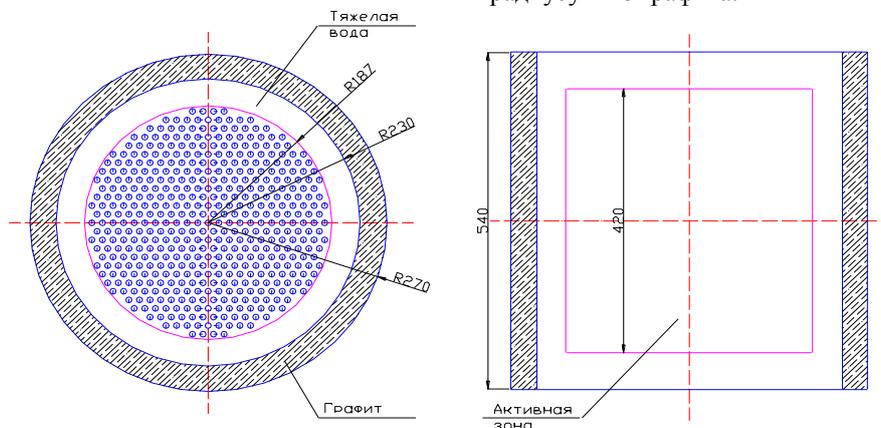


Рисунок 1. Ядерный реактор минимальных габаритов для эффективного топливного цикла.

На рисунке 2 приведена геометрия тепловыделяющей сборки, устанавливаемой в каждый канал реактора. Сборка содержит 20 твэлов с внешним диаметром 10.9 мм. Твэлы расположены в один ряд вблизи корпуса канала. Это обеспечивает равномерность нагружения всех твэлов в сборке. Во внутренней части сборки установлен бериллиевый вытеснитель. Он обеспечивает дополнительный приток нейтронов за счет реакции n-2n на быстрых нейтронах, рожденных в твэлах. Наиболее экономичным в отношении потерь нейтронов является реактор с кипящей тяжелой водой в качестве теплоносителя.

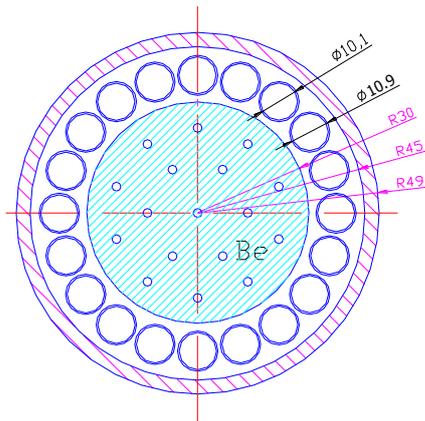


Рисунок 2. Технологический канал реактора с эффективным топливным циклом.

Реактор по приведенным данным не является оптимальным на все случаи его использования. Для оптимизации потребуется провести большой объем расчетных работ. Данный вариант по числу каналов и габаритам зоны является близким к оптимальному для тепловой мощности от 600 до 1500 МВт.

Проведем сравнение характеристик представленного реактора, работающего в замкнутом цикле на равновесном урановом топливе с кипящей тяжелой водой в теплоносителе и, близкого ему по габаритам, аналога реактора CANDU, работающего на природном уране и на обычной воде. Результаты расчетов представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Данные таблицы 1 показывают, что в предлагаемом реакторе достигается большая длительность кампании при работе на большем уровне потока нейтронов в топливе и меньшей начальной доле ²³⁵U в топливе (и делящемся веществе).

Влияние равновесного состава топливных нуклидов показывает рисунок 3. Видно, что конечное количество ²³⁵U в кампании у аналога CANDU незначительно меньше, чем начальное его количество в предлагаемом реакторе.

Таблица 1. Сравнение характеристик предлагаемого реактора и аналога CANDU

Параметр \ Тип цикла	равновесный	CANDU
Начальная концентрация ДВ в топливе, %	0.68	0.712
Начальная доля урана 235 в ДВ, %	0.38	1.00
Поток нейтронов в топливе, см ⁻² с ⁻¹	6.01+13	4.06+13
Длительность кампании реактора, час	25000	15000
Потери нейтронов в конструкционных материалах, %	2.40	10.7
Потери нейтронов в продуктах деления, %	12.02	9.21
Доля выгорания топливных нуклидов, %	2.98	0.90
Использование уранового сырья, %	5.75	0.90

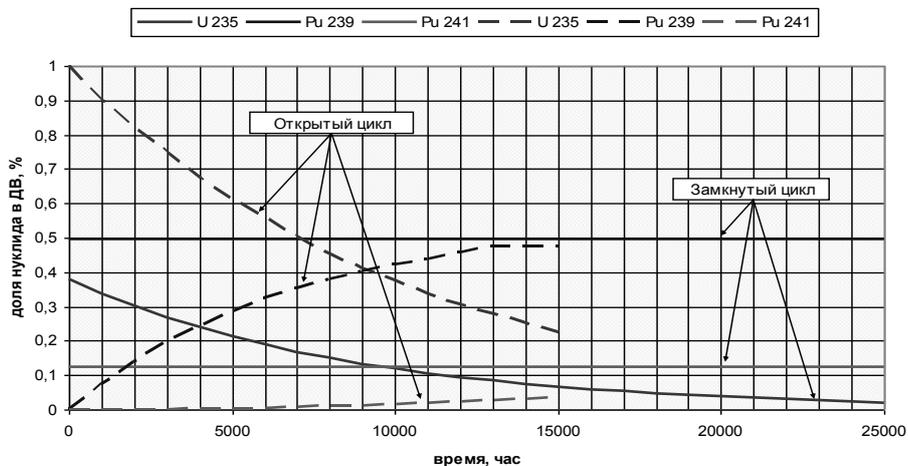


Рисунок 3. Изменение состава делящихся нуклидов топлива в кампании реактора с замкнутым циклом и равновесием основных нуклидов и с открытым циклом.

Содержание ^{239}Pu и, особенно, ^{241}Pu в предлагаемом реакторе в среднем за кампанию больше, чем у аналога CANDU. Содержание ^{239}Pu у аналога только приближается к стационарному уровню. Рост содержания ^{241}Pu только начнется после выхода содержания ^{239}Pu на стационарный уровень и накопления промежуточного ^{240}Pu . Соответственно, в предлагаемом реакторе выше число вторичных нейтронов на деление. Разница в числе вторичных нейтронов превышает 4 % относительно числа вторичных нейтронов у основного делящегося материала в открытом цикле ^{235}U .

Для приведенного реактора с кипящей тяжелой водой доля паразитного поглощения нейтронов обеспечивается на уровне 2.4 %. Это позволяет получить качественно новый результат в отношении использования урана в кампании и ряда ее технических характеристик. Так, использование урана в кампании достигает 5.75 %, что намного выше, чем указанный в [1] его предел.

Важным является то, что при работе данного реактора не требуется проведения работ по обогаще-

нию урана. Выгорание в кампании в 3.3 раза больше, чем в аналоге тяжеловодного реактора CANDU, работающем на природном уране и приближается к значению выгорания, достигаемому в реакторе РБМК с обогащением 1.8 %.

Топливные нуклиды урановой и ториевой цепочки имеют значительные различия в своих нейтронно-физических характеристиках. Основной делящийся нуклид ториевой цепочки - ^{233}U имеет наибольший выход вторичных нейтронов среди нуклидов, делящихся на тепловых нейтронах. Однако, ториевому топливу присущи недостатки, появляющиеся за счет большого периода полураспада предшественника ^{233}U - ^{232}Th [6]. Поэтому важно знать как меняются свойства топлива в зависимости от соотношения тория и урана в его сырьевых компонентах. На рисунке 4 представлены зависимости изменений достижимого выгорания, использования уранового сырья и вовлечения ториевого сырья в работу в кампании реактора от содержания тория в топливе.

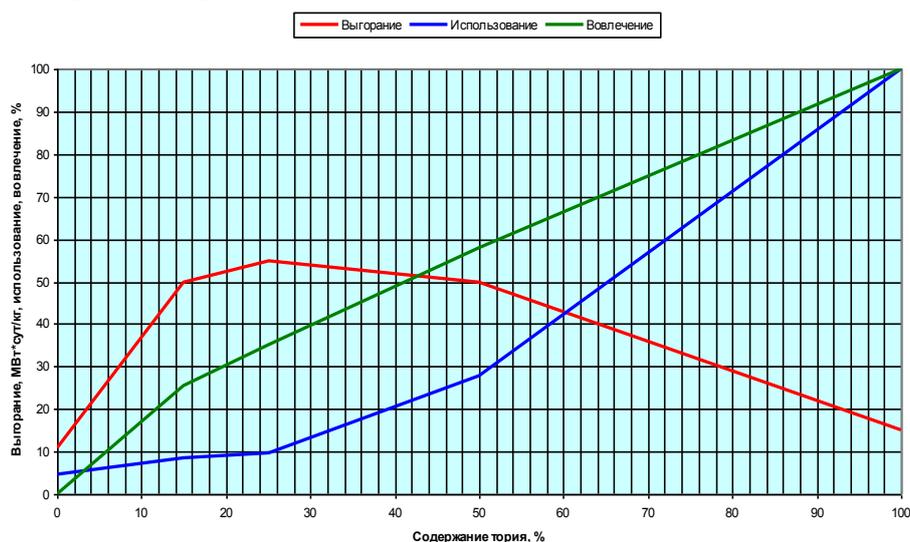


Рисунок 4. Зависимость изменений достижимого выгорания, использования уранового сырья и вовлечения ториевого сырья в работу в кампании реактора от содержания тория в топливе

Видно, что максимальная величина выгорания получается при использовании смешанного топлива. С точностью до 10 % (относительных) максимум выгорания располагается в области содержания тория в топливе от 15 до 50 %.

При современных ценах на сырье определяющей будет величина выгорания. Чем она больше, тем меньшей будет стоимость работ по переработке отработавшего топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отсутствие работ по обогащению урана, уменьшение затрат на сырье, безопасность работ с топливом на всех этапах его переработки делают предлагаемую технологию топливного цикла экономически более эффективной, чем существующие ее виды на тепловых и быстрых нейтронах. Срок окупаемости АЭС предлагаемого типа может быть снижен до величины минимальной среди существующих в настоящее время реакторов и реакторов считающихся перспективными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петросьянц, А.М. Атомная энергетика / Петросьянц А.М. - М. : Наука, 1976. - 318 с.
2. Режим самообеспечения топливом (^{235}U) для тяжеловодного энергетического реактора типа CANDU / Б.Р. Бергельсон [и др.] - Атомная энергия, т.97 вып.4 октябрь 2004. – С. 269-275.
3. Котов, В.М. Полное использование уранового сырья в тепловых каналных реакторах / Котов В.М. - Вестник НЯЦ РК, 2005. выпуск 3, С. 10–17.
4. Котов, В.М. Возможность создания теплового реактора с полным использованием уранового и ториевого сырья / В.М. Котов, С.В. Котов, Л.Н. Тихомиров - Атомная энергия, 2003., т. 95, вып.5, С. 338–346.
5. 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, РГП НЯЦ РК. Курчатов. 2002. Инв. № 50.
6. Liquid-salt channel-type reactor with dynamic loading and core superposition / V.M. Kotov [et al]. - Plasma Devices and Operations. – 2005. - vol. 13, № 3, p. 213-221.

ЖЫЛЫ ЯДРОЛЫҚ РЕАКТОРЛАР НӘТИЖЕЛІ ЖАСАРМАЙЛЫҚ ЦИКЛМЕН

Котов В.М., Котов С.В.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Егер барлық АЭСтердің жиынтық қуаттылығының деңгейі адамзатымен электрэнергияны тұтыну деңгейіне сай болса, замандас жылы реакторлар барлауған уран қорларында 50 жылдан аспай ғана жұмыс істей алады.

Көптеген мамандардың пікірі бойынша сондай масштабтық атомдық энергетигіне ең басты жол жылдам реакторларды жасауда. Бірақ сондай реакторларда жетіспеушіліктері көп. Негізгілер – қымбат бағасы және ядролық мылтық материалдардың қауіптілік тарату артуы .

Бұл жұмыста тап осы технологияның экономикалық нәтижелілігі көрсетілген. Нәтижелілік отын байыту сатылары шығаруда, шикізаттық жағармайлық компоненттердің бағасы маңызды азаюында болады. Технологияның маңызды факторы атомдық энергетика бар арзан уран қорларында ұзақ жұмыс істеудің мүмкіншілігі. Уранға замандас бағалар жанында шикізатты 5-10% деңгейде қолдану жеткілікті ақталған. Оқиғада, егер атомдық электрстациялардың жиынтық деңгей қуаттылығы 4000 ГВттаң жоғарырақ болса, онда урандық шикізат қолдану мөлшері артуы қажет болады.

THERMAL NUCLEAR REACTORS WITH EFFECTIVE FUEL CYCLE

V.M. Kotov, S.V. Kotov

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The modern thermal nuclear reactors can operate on the explored reserves up to 50 years, if their power will be on the level of the human electrical energy requirements.

The main terminal to the atomic energy industry of this scale, by the opinion of many specialists, is creation of fast neutron reactors. But such reactors have a lot of drawbacks. The main drawbacks are high cost of these reactors and increasing danger of the weapon materials proliferation.

The economy of current technology is shown. The source of the profit is exception of the fuel enrichment, multiple decreasing of the cost of raw fuel components. The important factor of the technology is the duration of atomic energy activity on the explored reserves of the cheap uranium. At the modern prices of the uranium the usage of the 5-10% of the natural uranium is enough ample. In case of world power engineering development more than 4000 GW the increasing of raw materials usage is desired.

УДК 519.876.5:004.942

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Клименко А.С., Кривцов П.Ю.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

В данной работе описывается опыт применения методов имитационного моделирования при разработке автоматизированных систем управления технологическим процессом. В работе выделяются стадии анализа технологического процесса, формирования математического описания и разработки алгоритмов моделирования.

Использование имитационного моделирования позволяет проводить разработку системы управления технологическим процессом независимо от степени готовности объекта автоматизации, проводить анализ возможных аварийных ситуаций, обучение и тренаж операторов системы управления.

Для имитационного комплекса используются технические средства фирмы National Instruments® (США): комплект устройств ввода-вывода и контроллер реального времени. Для разработки программного обеспечения использован специализированный пакет LabVIEW®.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ведутся работы по созданию технологического комплекса – установки переработки натриевого теплоносителя из контуров реакторной установки БН-350 в городе Актау.

Одной из основных систем УПН является автоматизированная система управления и контроля технологического процесса переработки натрия. Данная система предназначена для сбора, обработки и представления технологической информации, а также для реализации функций управления технологическим процессом.

При разработке системы управления технологическим процессом, особенно в случае разработки нового производственного процесса, наиболее актуальным является вопрос изучения и исследования поведения элементов системы в различных ситуациях и анализ реакции системы на управляющие воздействия.

Для решения данной задачи используются средства моделирования. Модели по своей природе могут быть физическими, абстрактными, математическими, либо имитационными. Однако, независимо от типа разрабатываемой модели, её назначением является замена сложного объекта-оригинала и как можно более точное отражение его основных свойств, которые интересны для исследователя.

Для разработки имитационного комплекса используются современные программные и технические средства имитационного моделирования, алгоритмы цифровой обработки сигналов, численные алгоритмы реализации математического описания технологического процесса и методы многомерной аппроксимации табличных функций.

Данные разработки проводятся впервые, результаты работы используются при настройке, отладке и тестировании ПО АСУиК. Доводка и отладка моде-

ли технологического процесса производится с использованием технических средств АСУиК.

В данном отчёте раскрываются некоторые аспекты разработки и реализации имитационных моделей, в частности таких моделей, которые заменяют объект-оригинал на уровне его входных и выходных сигналов: сигналов управления элементами технологического оборудования и сигналов датчиков, отражающих изменение параметров технологического процесса.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЕ

Основное назначение разрабатываемой системы – имитация изменения технологических параметров основных систем УПН при изменении управляющих воздействий со стороны системы управления (АСУиК ТП УПН).

1.1 Математическое описание технологического процесса

Подсистема имитации строится на основе математического описания, отражающего основные характеристики объекта и процесса. Для реализации математического описания технологического объекта, необходимо учитывать конфигурацию и состав оборудования, свойства материалов и рабочих сред, природу протекающих в системе процессов и их взаимосвязь.

Для упрощения процесса разработки, реализации, отладки и тестирования математической модели, все технологические системы УПН разделены на 5 групп:

1. система подачи азота;
2. система подачи натрия;
3. система подачи воды;
4. система охлаждения;
5. система получения щёлочи.

Структурная схема модели ТП УПН представлена на рисунке 1.

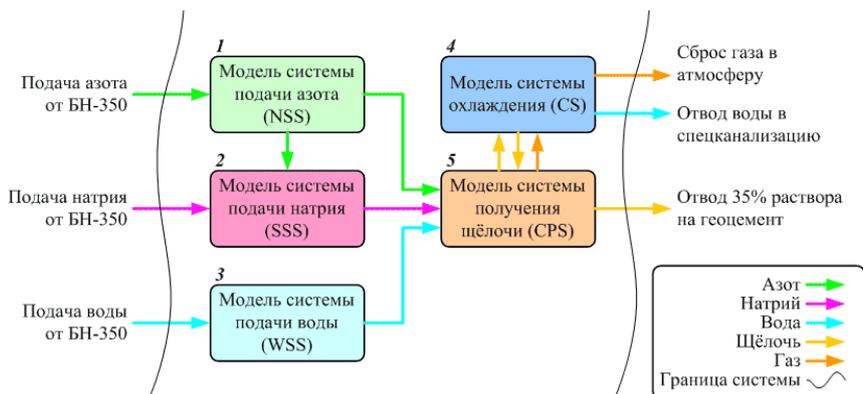


Рисунок 1. Структурная схема и взаимосвязь подсистем УПН

На этой структуре взаимодействие подсистем происходит на уровне обмена рабочими средами: азотом, натрием, водой, щёлочью и газовой смесью (водяной пар, азот, водород).

Для всех подсистем, моделируются следующие процессы:

- химическая реакция натрия с водой в растворе гидроксида в химическом реакторе;
- химическая реакция при разбавлении 50% щёлочи в ёмкости разбавления;
- термодинамические процессы нагрева оборудования и рабочих сред (жидких и газовых);
- термодинамические процессы охлаждения в теплообменниках;
- гидродинамические процессы течения жидкостей, изменение уровня в ёмкостях;
- изменение объёма газов и жидкостей при изменении температуры и плотности;
- потоки газов с учётом конфигурации оборудования и физических параметров.

Кроме этого, используются отдельные модели для технологического оборудования УПН, запорной и регулирующей арматуры, насосов, нагревателей и датчиков.

Детальное описание моделей системы получения щёлочи приведено в отчёте о НИР [1] и в технической справке [2].

Структура оборудования и систем УПН приведена на функциональной схеме автоматизации [3].

1.2 Используемый программно-технический комплекс имитации

Модельный комплекс представляет собой набор программно-технических средств фирмы National Instruments (NI). Аппаратная часть построена на архитектуре PXI и включает в свой состав шасси, контроллер реального времени и набор плат аналогового и дискретного ввода-вывода.

Программная часть разработана с использованием пакета LabVIEW, позволяющего создавать распределённые системы моделирования, работающие на ядре реального времени, либо под управления ОС Windows.

Для разработки ПО моделирования, а также для настройки и конфигурации модельного комплекса, для загрузки ПО, используется персональная ЭВМ. Подключение ЭВМ к модельному комплексу осуществляется посредством сети Ethernet.

К платам ввода-вывода, подключаются клеммные блоки, на которых производится разводка входных и выходных сигналов.

Общая структура имитационного комплекса во взаимосвязи с оборудованием системы управления технологическим процессом приведена на рисунке 2.

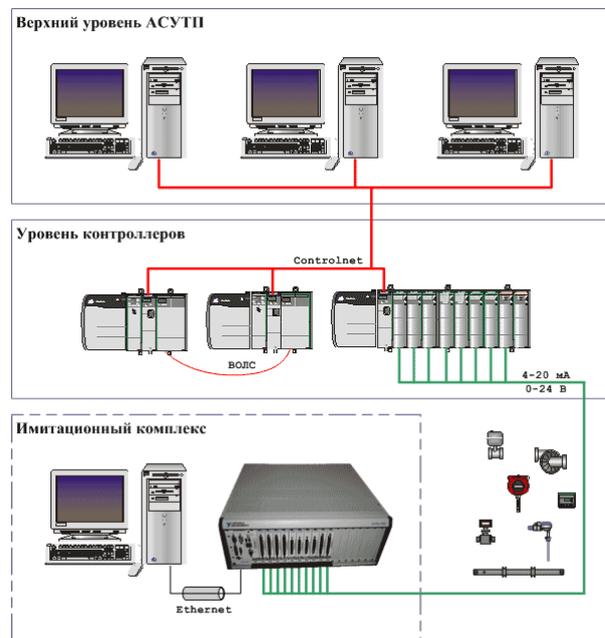


Рисунок 2. Схема подключения имитационного комплекса к системе АСУТП

2 РАЗРАБОТКА ПО ИМИТАЦИИ

Программное обеспечение имитационного комплекса предназначено для решения следующих задач:

- организация ввода и обработки аналоговых и дискретных сигналов;
- расчёт изменения во времени технологических параметров УПН;

- нормировка текущих физических значений технологических параметров в заданном диапазоне выходных сигналов;
- организация вывода аналоговых и дискретных сигналов, отражающих состояние УПН.

2.1 Постановка задачи

Имитационный комплекс предназначен для моделирования изменения технологических параметров в определённых пределах:

- Масштаб модельного времени от 1X до 60X (моделирование 1 минуты работы УПН за 1 с реального времени);
- Рабочая температура – 20÷200°C;
- Рабочая концентрация раствора гидроксида – 0÷50% по весу;
- Рабочие давления газа до 500 КПа;
- Производительность по переработке натрия – до 200 л/ч;
- Жидкие рабочие среды – натрий, вода, раствор гидроксида натрия;
- Газообразные рабочие среды – водород, пар, азот;
- Материал конструкций – нержавеющая сталь X12Н10Т, никель;

В системе производится моделирование показаний следующих типов датчиков:

- датчиков температуры;
- датчиков давления;
- датчиков уровня;
- датчиков расхода;
- датчиков плотности;
- конечных выключателей запорной арматуры;
- служебных сигналов системы управления насосами.

Обрабатываются следующие сигналы управления:

- нагревателями;
- регулирующей и запорной арматурой;
- насосами.

Кроме этого, моделируются такие сложные физико-химические процессы как:

- получение 50% раствора гидроксида натрия в химическом реакторе;
- подача натрия в химический реактор с использованием системы трубопровода и двух ёмкостей;
- разбавление 50% раствора до 35% по весу гидроксида натрия;
- охлаждение газов (с осаждением жидкой фазы);
- охлаждение жидких сред;
- нагрев конструктивных элементов УПН по тепловым зонам.

ИК обеспечивает моделирование показаний 200 датчиков и обработку 90 сигналов управления.

2.2 Структура программного обеспечения модели

Для удобства разработки, тестирования и отладки, вся модель технологического процесса иерархически структурирована. Все структурные элементы модели отражают технологическое оборудование УПН, либо физический процесс.

На верхнем уровне производится разделение на следующие подпрограммы:

1. ввод сигналов;
2. вывод сигналов;
3. таймер;
4. система подачи азота;
5. система подачи воды;
6. система подачи натрия;
7. система охлаждения;
8. щелочная система.

Структура программы приведена на рисунке 3.

Набор аналоговых и дискретных сигналов управления от оборудования АСУиК поступает на вход плат ввода. Набор полученных сигналов в цифровой форме обрабатывается и разделяется на группы в модуле 1. Далее, сигналы управления подаются на входы подпрограмм 4÷8 модели УПН.

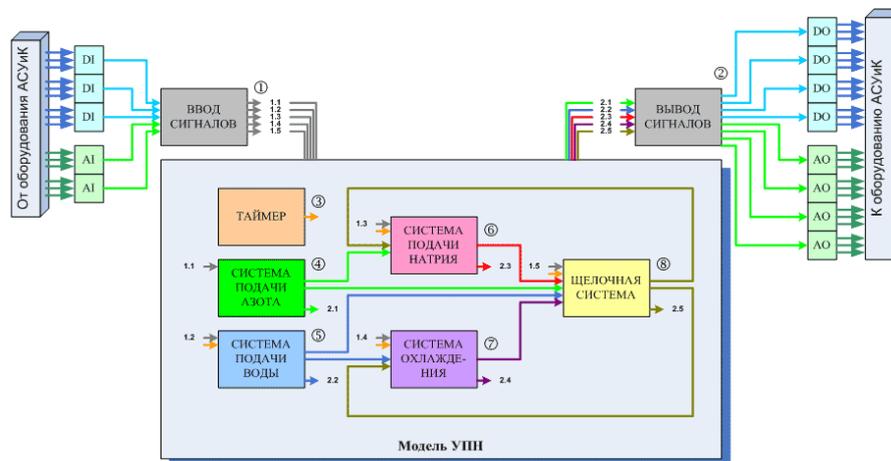


Рисунок 3. Структурная схема ПО моделирования УПН

С учётом управляющих воздействий, производятся модельные расчёты изменения технологических параметров УПН. Затем, полученные значения физических величин нормируются, разделяются на группы в модуле 2 и выводятся в виде сигналов датчиков с использованием плат аналогового и дискретного вывода. Эти сигналы передаются на вход системы АСУиК.

Для привязки модельных расчётов к временной оси, в модели используется таймер 3. При этом, привязка ко времени может быть как жёсткой, так и с определённым коэффициентом масштабирования. Максимальное ускорение модельного времени может составлять 60 раз, т.е. 1 секунда модельного времени соответствует 1 минуте реального.

В системе подачи натрия 4 моделируется изменение давления и массового расхода азота в линиях подачи. Также моделируется состояние запорной и регулирующей арматуры и её отклик на управление от системы АСУиК.

В системе подачи воды 5 моделируется расход и давление воды в линиях подачи, а также состояние и отклик запорной, регулирующей арматуры и насосов.

В системе подачи натрия 6 моделируется запорная и регулирующая арматура, трубопровод натрия и суточные расходные баки (СРБ). Для трубопровода натрия производится расчёт расхода натрия в зависимости от состояния запорной и регулирующей арматуры, а также от давления на концах трубопровода. Для суточных расходных баков моделируется уровень натрия, давление газа в баках и расход отходящих газов. Также, для всей системы натрия, в полном объёме реализована модель нагрева технологического оборудования по тепловым зонам, как для трубопровода, так и для СРБ.

Под системой охлаждения 7 понимается контур циркуляции охлаждающей воды и комплекс теплообменников. В этой системе моделируется состояние и отклик на управляющее воздействие запорной, регулирующей арматуры и насосов. Моделируется массовый расход и давление воды в трубопроводе, уровень в баке охлаждающей воды. Для каждого теплообменника используется отдельная модель: модель газо-водяного теплообменника, щелочь-водяного теплообменника и водо-водяного теплообменника. Для всех теплообменников используются их физические размеры и реальные свойства материалов и рабочих сред. Основными выходными параметрами для данной системы является температура отходящих газов, температура охлаждённой щёлочи и температура воды в контуре охлаждения.

Ключевым элементом модели УПН является щелочная система 8. Она включает в себя модели химического реактора, ёмкости хранения щёлочи, ёмкости разбавления щёлочи, трубопровода щёлочи, насосов, регулирующей и запорной арматуры.

Для химического реактора (ХР), производятся расчёты изменения технологических параметров во всех режимах: как во время переработки натрия, так и без подачи натрия. Также, для ХР реализована модель нагрева с использованием свойств выбранных нагревателей. Перечень основных расчётных параметров модели ХР:

- концентрация щёлочи;
- температура щёлочи;
- уровень раствора;
- плотность раствора с учётом газовых включений;
- состав отходящих газов;
- расход отходящих газов;
- давление газа в ХР;
- гидростатическое давление на разных уровнях ХР.

Для ёмкостей хранения и разбавления щёлочи производится расчёт уровня и температуры раствора. Для ёмкости разбавления также реализована модель изменения температуры, концентрации и плотности щёлочи при добавлении воды в раствор.

Для трубопровода щёлочи также реализована модель нагрева с использованием физических свойств выбранных нагревателей.

Основные связи подсистем модели приведены на рисунке 3. Из рисунка также видно, что между подсистемами существуют не только прямая, но и обратная связь.

2.3 Реализация модели УПН

Разработка программного обеспечения модели УПН проводилась с использованием графического языка программирования G, используемого в пакете разработки специализированного программного обеспечения LabVIEW фирмы National Instruments.

Язык G – это графический язык программирования. В LabVIEW программы составляются из готовых компонентов, представляющих собой определённые функции в виде диаграмм. Каждый элемент программы имеет входные и выходные сигналы. Соединяя последовательно элементы, мы, таким образом, представляем потоки информации между блоками системы.

В качестве наглядного примера рассмотрим процесс разработки подсистемы подачи натрия.

В состав системы входит следующее технологическое оборудование:

- суточные расходные баки (СРБ);
- трубопровод;
- запорная и регулирующая арматура;
- нагреватели;
- датчики расхода;
- датчики уровня;
- датчики температуры.

Структурная технологическая схема системы подачи натрия приведена на рисунке 4.

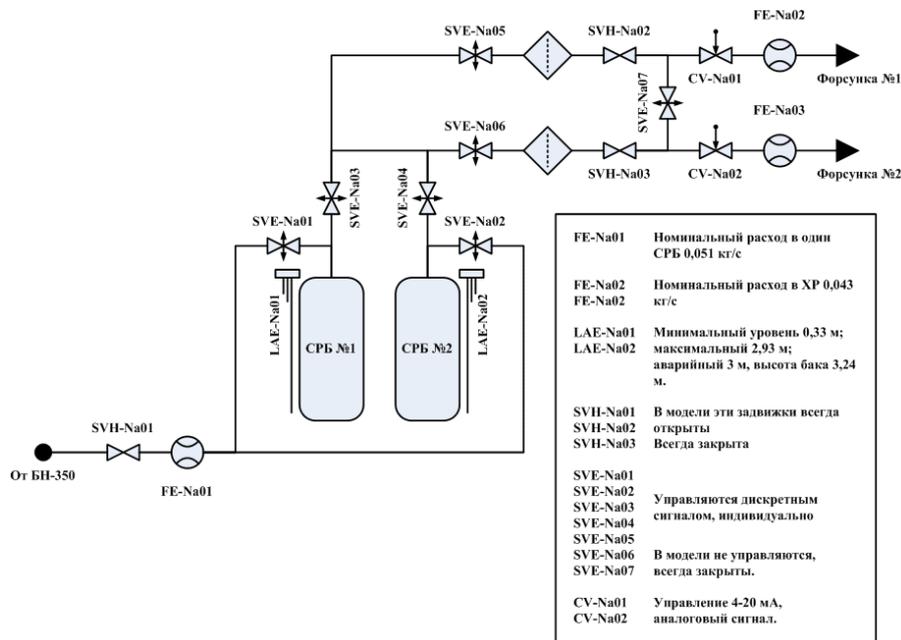


Рисунок 4. Технологическая схема система подачи натрия

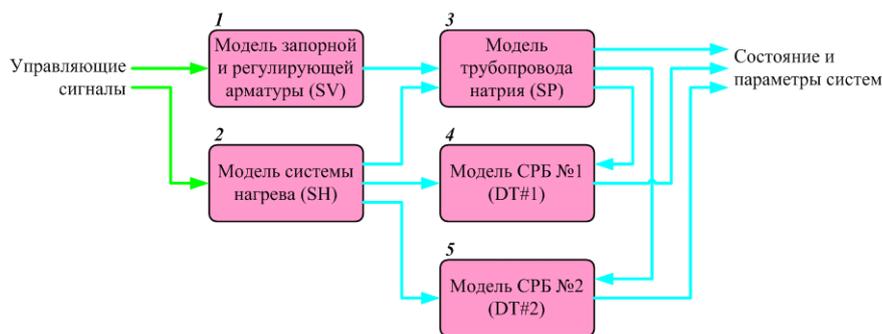


Рисунок 5. Структура модели системы подачи натрия

Для реализации математического описания системы подачи натрия, модель разделяется на 5 самостоятельных фрагментов, отражающих свойства технологического оборудования по группам. Структурная схема подсистем модели приведены на рисунке 5.

Практическая реализация графического интерфейса пользователя и верхнего уровня подсистемы моделирования приведены на рисунке 6.

Подобным образом реализованы и другие подпрограммы имитационного комплекса.

3 Состав и характеристики технического комплекса имитации

В состав технического комплекса имитации входит рабочая станция управления и шасси с контроллером реального времени производства фирмы National Instruments.

Для размещения оборудования NI используется 14-слотовое шасси NI PXI-1044.

В шасси размещается следующее оборудование:

- контроллер реального времени NI PXI-8186 RT (слот 1);

- четыре 32-канальные платы аналогового вывода NI PXI-6704 (слот 2÷5);
- четыре 64-канальные платы дискретного ввода-вывода NI PXI-6515 (слот 6÷9);
- две 16-канальные платы аналогового ввода NI PXI-6025E (слот 10, 11).

3.1 Рабочие характеристики

Аппаратная часть модельного комплекса позволяет осуществлять ввод и вывод аналоговых и дискретных сигналов.

При моделировании задействовано следующее количество каналов:

- 96 аналогового вывода;
- 55 аналогового ввода;
- 88 дискретного вывода;
- 56 дискретного ввода.

Время цикла преобразования входных сигналов, модельных расчётов и генерации выходных сигналов не превышает 100 мс.

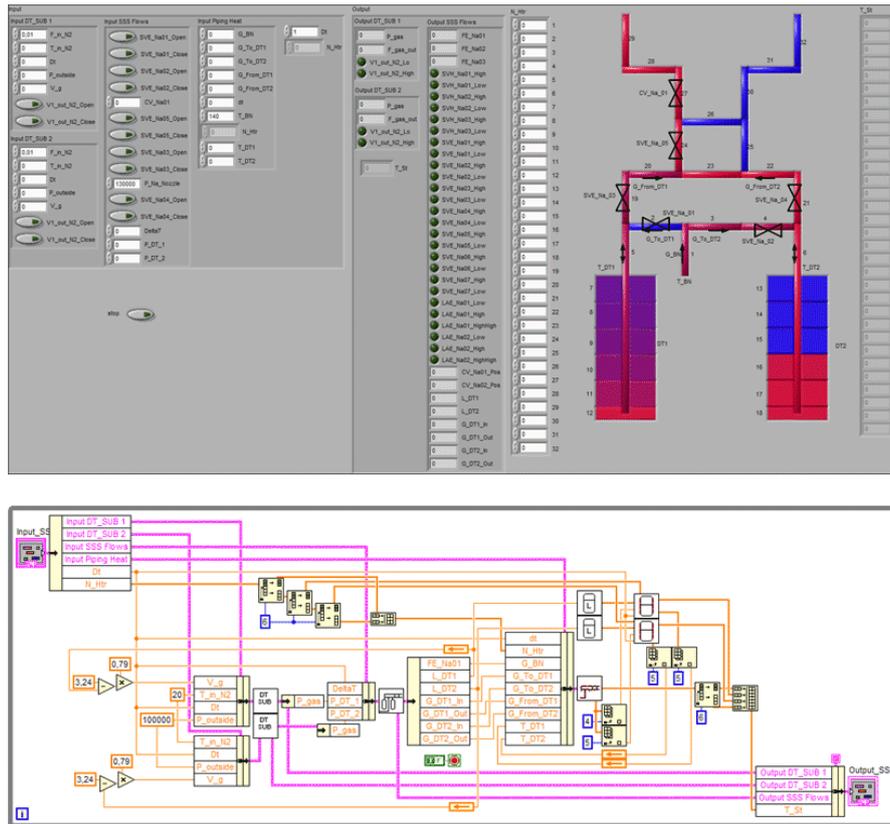


Рисунок 6. Программная реализация модели системы подачи натрия

3.2 Функциональные возможности

Использование модельного комплекса позволяет имитировать работу УПН как в реальном времени, так и в ускоренном режиме.

Модельный комплекс моделирует все технологические процессы. Не моделируются только резервные параметры и агрегаты (например, вторая линия подачи натрия в ХР через резервную форсунку, паровая система).

Такой объём моделирования позволяет:

- производить в полном объёме настройку и отладку алгоритмов управления;
- выполнять анализ возможного протекания аварийных процессов;
- проводить обучение и тренаж операторов УПН;
- производить отладку и тестирование ПО АСУиК;
- производить отладку, настройку и тестирование ПО архивации.

Использование технических средств с возможностью ввода и вывода аналоговых и дискретных сигналов позволяет подключать модельный комплекс непосредственно к контроллерному оборудованию и производить тестирование и настройку измерительных и управляющих каналов АСУиК.

4 ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ, МОДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

4.1 Погрешность моделирования

Для моделирования технологических процессов УПН, использовались табличные данные по свойствам различных материалов и газов:

- натрий;
- водный раствор гидроксида натрия;
- вода и водяной пар;
- азот;
- водород;
- никель;
- нержавеющая сталь 12X18Н10Т.

Источником данных по термодинамическим свойствам газов и жидкостей служил интернет-ресурс [4].

Для расчёта химических реакций, использовались стандартные таблицы энтальпии чистых веществ и соединений.

Основным источником по свойствам водного раствора гидроксида натрия служила книга [5].

Погрешность аппроксимации табличных данных не превышает 1%.

Прогнозируемая максимальная погрешность моделирования составляет не более 5%.

При разработке математического описания наиболее сложных технологических элементов, таких как химический реактор, производилось сравнение расчётных значений технологических параметров со значениями, полученными на реальной установке Аргоннской национальной лаборатории, США.

Результаты сравнения показали достаточно хорошее совпадение по наиболее важным характеристикам, следовательно разработанная модель вполне может использоваться при настройке системы управления и отработке основных технических решений.

4.2 Модельные эксперименты

Для проверки работы модели, была проведена серия экспериментов. Регистрация данных и представление результатов производились с помощью специально разработанного программного обеспечения АСУиК.

На рисунке 7 представлено изменение основных параметров химического реактора при запуске переработки натрия.

На графике приведены следующие параметры:

- температура раствора в реакторе;
- показания нижнего дифференциального манометра ХР;
- показания верхнего дифференциального манометра ХР;
- показания расходомера технологической воды в ХР;
- показания расхода натрия в ХР.

На рисунке 8 приведены графики изменения температуры в тепловых зонах трубопровода натрия

при его разогреве. Данный рисунок отражает последовательное включение разогрева тепловых зон и длительность фазового перехода при плавлении натрия. Заключение

Результатами выполнения НИР являются:

- разработка математического описания технологического процесса УПН,
- разработка программного обеспечения имитации,
- проведение отладки и тестирования имитационного комплекса в целом,
- проведение серии модельных экспериментов.

Полномасштабная разносторонняя реализация имитационного моделирования элементов технологического процесса и оборудования УПН с использованием реальных свойств конструкционных материалов и рабочих сред позволяет с уверенностью сказать, что данная система может быть использована для отработки ключевых технических и технологических решений при автоматизации УПН. Также данную систему можно использовать для обучения персонала, моделирования и проведения анализа аварийных ситуаций, прогнозирования поведения системы при выходе из строя части оборудования УПН, отработки регламента работ УПН.

При сравнении результатов модельных экспериментов с изменением технологических параметров при эксплуатации действующей УПН Аргоннской национальной лаборатории, США получена высокая оценка достоверности моделирования.

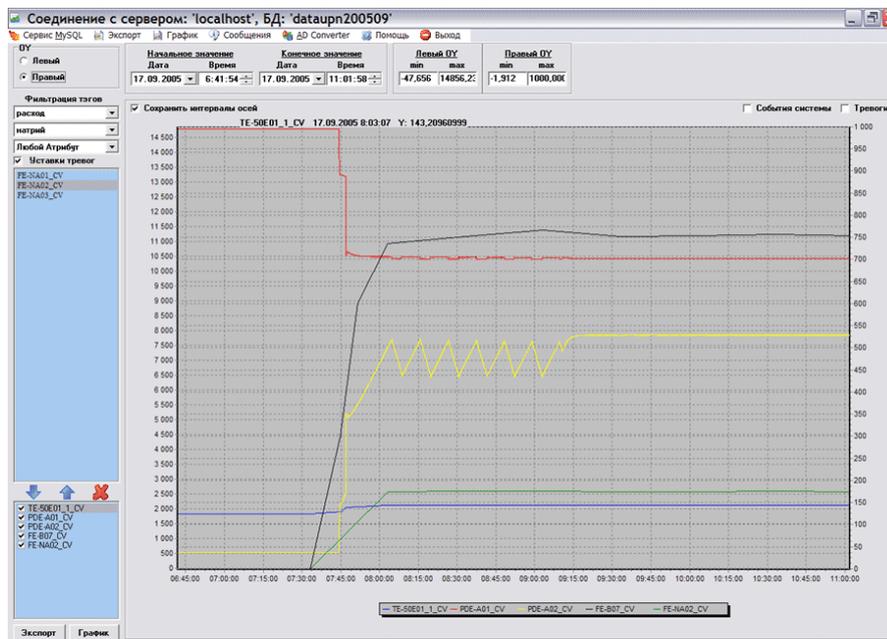


Рисунок 7. Диаграмма запуска процесса переработки натрия

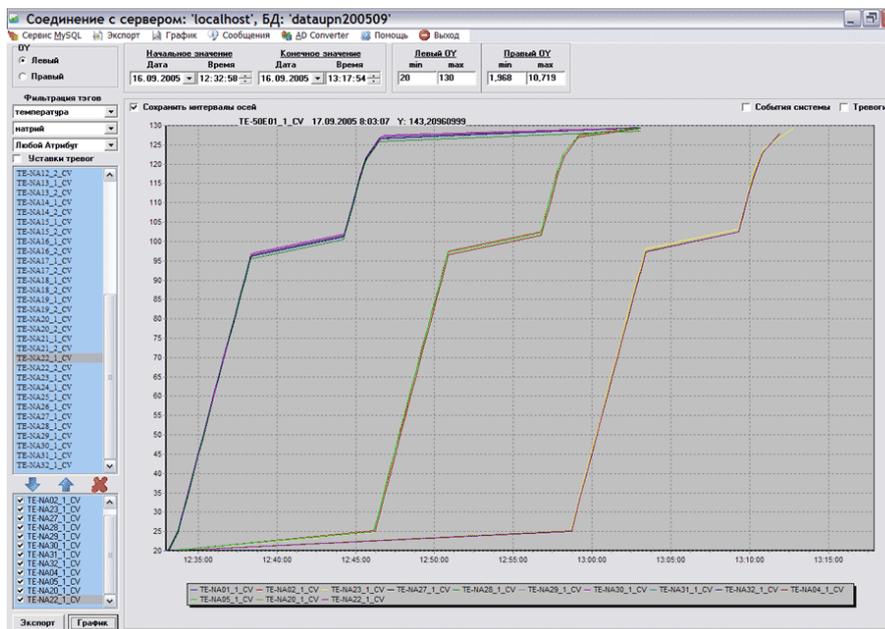


Рисунок 8. Диаграмма нагрева трубопровода с натрием

Впервые методы и средства имитационного моделирования были использованы при разработке автоматизированной системы управления переработкой жидкометаллического натрия.

Проданная работа в полной мере соответствует поставленной задаче, а также реализует некоторые дополнительные функции и может быть использована в дальнейшем.

Технический комплекс имитации, после завершения работ в комплексе с АСУиК ТП УПН, может быть в дальнейшем использован для решения сходных задач, отработки технических решений по реализации информационных и измерительных систем на базе оборудования National Instruments, отработ-

ки алгоритмов цифровой обработки измерительной информации.

Программное обеспечение, при незначительной доработке, будет использоваться в дальнейшем на УПН в целях обучения персонала, отработки регламентных работ и аварийных ситуаций.

Использование комплекса для имитации технологического процесса УПН позволило значительно сократить сроки и затраты по разработке АСУиК ТП УПН.

Данная работа выполнена на высоком научном и техническом уровне, с использованием современных технологий и оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Модельные исследования технологического процесса установки переработки натрия : отчёт о НИР / Республиканское государственное предприятие «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (РГП «НЯЦ РК»); рук. О. А. Горбаненко. – Курчатов, 2002. – 49 стр.
2. Оценочный расчет режима работы участка разбавления гидроксида натрия : техническая справка / Республиканское государственное предприятие «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (РГП «НЯЦ РК»); А. С. Клименко, О. А. Горбаненко. – Курчатов, 2003.
3. Автоматизированная система управления и контроля (АСУиК) установки по переработки натрия (УПН) Функциональная схема автоматизации / Республиканское государственное предприятие «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (РГП «НЯЦ РК»); А. С. Клименко. – Курчатов, 2005. – АК.20952.18.150 Э2
4. NIST Chemistry WebBook. 2005. NIST Standard Reference Database Number 69, June 2005 Release // Internet. – <http://webbook.nist.gov/chemistry/>
5. Occidental Chemical Corporation, 2000. Caustic Soda Handbook. //Internet. – <http://www.oxychem.com/>

**НАТРИЙ ЖЫЛУ ТАСЫМАЛДАҒЫШЫН ҚАЙТА ӨНДЕУДІҢ
ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҮДЕРІСІН ҮЛГІЛЕУ ЖҮЙЕЛЕРІН ӘЗІРЛЕУ**

Клименко А.С., Кривцов П.Ю.

Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Курчатов

Бұл жұмыста технологиялық үдерісті басқарудың автоматтандырылған жүйелерін әзірлеу кезінде еліктете үлгілеу әдістерін қолдану тәжірибесі сипатталған. Жұмыста технологиялық үдерістің математикалық сипаттауды қалыптастыру және алгоритмдер әзірлеу, талдау сатылары ерекшелене көрсетіледі.

Еліктете үлгілеуді қолдану технологиялық үдерісті басқару жүйелерін әзірлеуді автоматтандыру объектісінің дайындық дәрежесіне қарамастан жүргізуге, болуы мүмкін апатты жағдайларға талдау жасауға, басқару жүйелері операторларының тренажы мен оқытылуына мүмкіндік береді.

Еліктету кешені үшін National Instruments® (АҚШ): фирмасының техникалық құралдары қолданылуда: енгізу-шығару құрылғысы жиынтығы мен іс жүзіндегі уақыт қадағалаушы. Бағдарламалық қамтамасыздаудың әзірленуі үшін LabVIEW® арнайыландырылған пакеті қолданылды.

DESIGN OF THE MODELING SYSTEM FOR SODIUM COOLANT PROCESSING TECHNOLOGY.

A.S. Klimenko, P.Ju. Krivtsov.

National Nuclear Centre of the Republic of Kazakstan, Kurchatov

Present Paper Describes the Experience of Implementation of Simulation Method in Control System Design. This Work Consists of Three Stages: Technological Process Analysis, Mathematical Formulation Design and Modeling Algorithms Design.

The Implementation of Simulation Method Allows to Do the Design Works for the Control System Independently from the Degree of Readiness of Automation Object. Also This Approach Allow to Analyze of Possibility of Appearing of Emergency Conditions and to Do Training of Control System Operators.

For Simulation Purposes the National Instruments® Hardware and LabVIEW® Software were Used.

УДК 66.02-52:621.039.7

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Кривцов П.Ю., Клименко А.С., Горбаненко О.А.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

В данной статье описывается опыт разработки автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) переработки натрия, построенной на базе программно-технического комплекса.

Целью работы является проведение инженерно-технических работ, связанных с определением функциональной структуры, выбором оборудования, принятием решений по организационному и информационному обеспечению системы, разработка прикладного программного обеспечения и рабочей документации.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для решения комплекса задач связанных с управлением сложными технологическими процессами используются различные программные и технические средства, надежность и качество которых позволяют обеспечить требуемую безопасность объекта управления. Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) предусматривает расширенную функциональность системы управления, в котором помимо традиционных функций (системы измерения, дистанционного управления арматурой и исполнительными механизмами, технологическими защитами, автоматическим регулированием) решаются задачи автоматизированного логического функционально-группового управления технологическим объектом и информационно-вычислительные функции, оказывающие помощь обслуживающему персоналу в управлении технологическим процессом.

Совместная американо-казахстанская программа вывода реактора БН-350 из эксплуатации, затрагивает широкий комплекс проблем, которые необходимо решить в процессе ее реализации. Наиболее трудоемким и опасным процессом в плане выполнения этого проекта, является процесс переработки натриевого теплоносителя в химически нейтральное вещество, которое может быть в дальнейшем захоронено в специально оборудованных для этого местах. Важным этапом для реализации задач переработки натрия является отработка технологии переработки, которая включает в себя решение задач, связанных с разработкой оптимальных алгоритмов управления технологическим процессом, информационным обеспечением, анализом аварийных ситуаций и обучением оперативного персонала методам безаварийного управления установкой. Решить этот комплекс задач возможно только при использовании современных АСУТП ввиду того, что процесс переработки относится к взрыво – и пожароопасной категории работ и имеет вредные факторы, влияющие на здоровье персонала и окружающей

среды. Учитывая, что процесс переработки натрия является достаточно опасным видом производства, так как является очень активным веществом и непосредственное соприкосновение даже с влажным воздухом может привести к его возгоранию, следовательно, меры предосторожности при работе с большими объемами этого вещества должны быть максимальными.

В данной работе представлена общая концепция построения АСУТП установки по переработке натрия (УПН), этапы разработки системы, приведено описание структуры, функций и назначение программных и технических средств, количественные и качественные характеристики, определяющие класс системы.

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ

Состав и содержание работ выполняемых на стадии разработки системы управления регламентируются ГОСТ 24.602-86 [1] и ОРММ-3 АСУТП [2]. Согласно требованиям нормативных документов, в процессе разработки АСУТП УПН были пройдены этапы от анализа технологии и характеристик объекта управления, до выпуска рабочей документации. Основные виды работ, выполняемые на каждом этапе, представлены на рисунке 1.

Заключительным этапом разработки системы, является «Ввод в действие», на данный момент ведутся работы по подготовке системы к передаче в опытно-промышленную эксплуатацию.

ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Под объектом автоматизации понимается технологическая часть УПН, к которой относятся элементы и конструкции основного и вспомогательного технологического оборудования установки, непосредственно или косвенно задействованного в реализации процесса переработки натрия.

В соответствии с технологией переработки натрия [3], структура технологической части УПН как объекта автоматизации имеет вид, представленный на рисунке 2.

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**



Рисунок 1. Этапы разработки АСУТП УПП

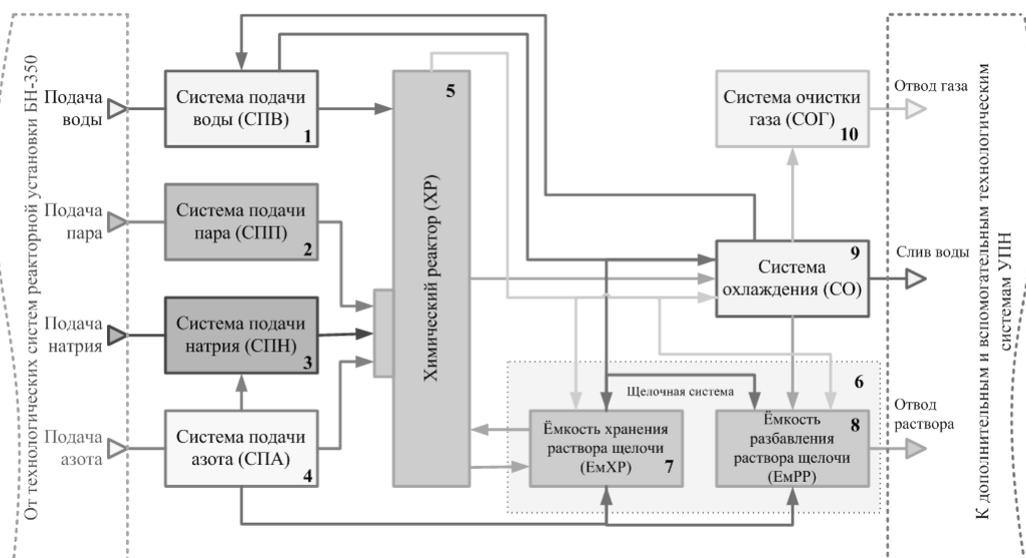


Рисунок 2. Структура технологической части УПП

Объект автоматизации (технологическая часть УПП) состоит из: системы – 1 подачи воды, системы – 2 подачи пара, системы – 3 подачи натрия, системы – 4 подачи азота, химического реактора – 5, щелочной системы – 6, состоящей из емкости – 7 хранения раствора щелочи и емкости – 8 разбавления раствора щелочи, системы – 9 охлаждения и системы – 10 очистки отходящих газов.

ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ

Основным назначением АСУТП УПП является реализация режимов работы объекта автоматизации в

соответствии с требованиями технического задания. На этапе анализа объекта управления и технологии переработки натрия, определен общий алгоритм управления технологическим процессом, представленный на рисунке 3. Автоматизированное управление процессом выполняется в соответствии со следующими основными режимами работы установки:

- первый запуск;
- подготовка к пуску;
- переработка натрия;

- плановый или аварийный останов технологического процесса.

Согласно требованиям технического задания, на всех режимах работы установки, АСУТП УПН выполняет следующие функции:

- измерение, регистрацию и отображение измеряемых технологических параметров, к которым относятся температура, давление, расход, уровень жидкости, концентрация раствора щелочи;
- обработку измерительной информации;
- текущий и оперативный контроль отклонений технологических параметров относительно заданных значений (уставок);
- обеспечение цветовой индикации и звуковой сигнализации отклонений технологических параметров от допустимых и предельных значений;

- контроль положения и состояния исполнительных механизмов и устройств;
- управление исполнительными устройствами (задвижка, клапан, насос), в соответствии с заданным алгоритмом управления;
- автоматическое регулирование температуры элементов технологической части УПН, к которым относятся трубопроводы подачи натрия, щелочи, воды, пара и азота, емкости с натрием и щелочью.
- автоматическое регулирование подачи (расхода) натрия в химический реактор;
- автоматическое регулирование концентрации щелочи в химическом реакторе и емкости разбавления щелочи.

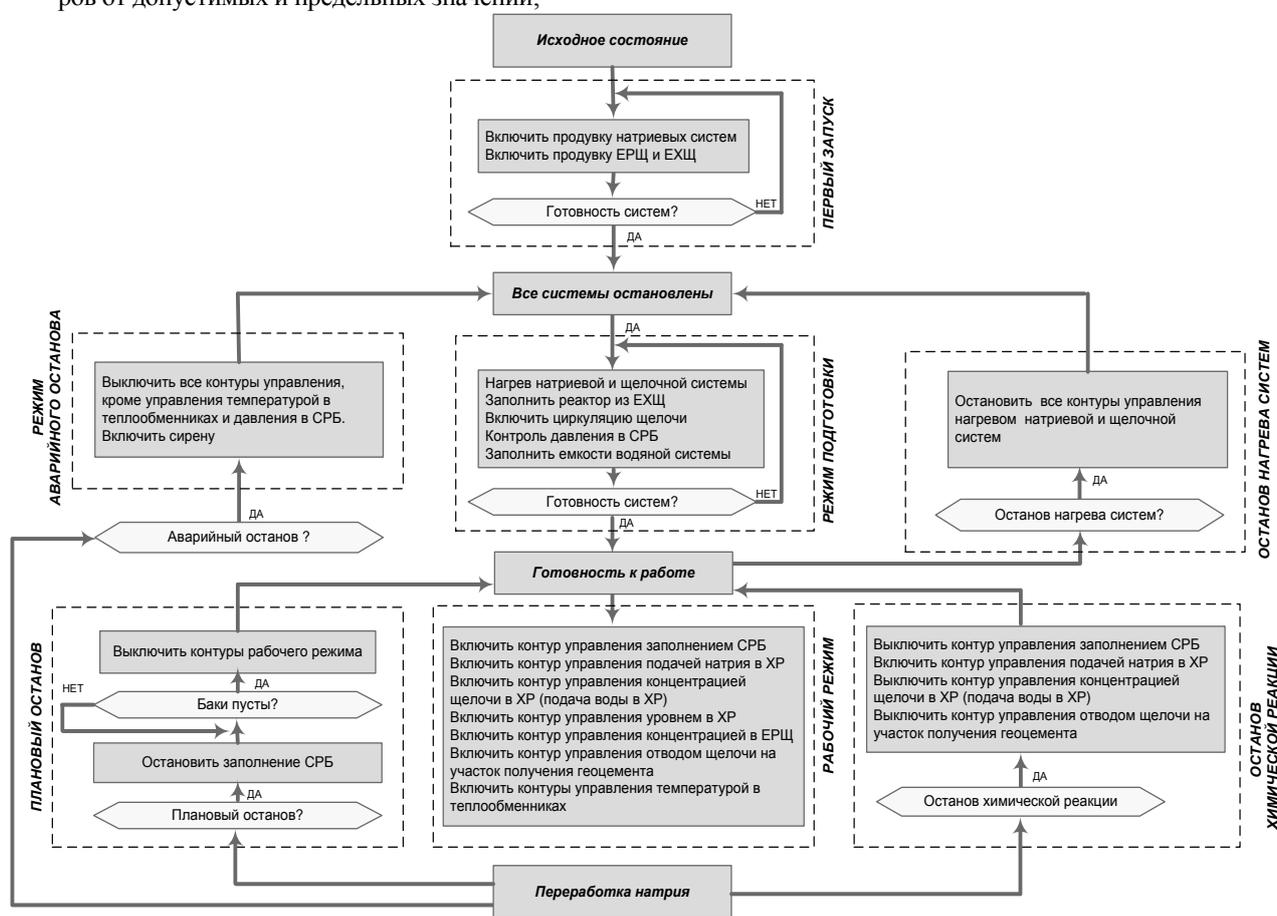


Рисунок 3. Общий алгоритм управления технологическим процессом

ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Модульные программируемые логические контроллеры (ПЛК) являются наиболее предпочтительным выбором при решении задач управления сложными процессами, характеризующимися множеством контролируемых и управляемых величин и их физической распределённостью в пространстве, с повышенными требованиями к надежности системы управления. Модульность системы позволяет выбрать

оптимальную конфигурацию оборудования, обеспечить удобство обслуживания, использовать возможность наращивания информационной емкости.

Наличие специализированного системного программного обеспечения ПЛК предоставляет мощные средства отладки прикладного программного обеспечения (ПО), загрузки и конфигурирования задач контроллера, а также позволяет выполнять комплексную диагностику всего оборудования АСУТП. Несмотря на относительно высокую стоимость систем на базе ПЛК,

в определенных технологических процессах стоимость простоя или аварии может быть несопоставима со стоимостью технических решений, которые могут предотвратить эти нештатные ситуации.

Многообразие существующих контроллеров, отличающихся производительностью, числом каналов ввода/вывода переменных, коммуникационными возможностями, инструментальными средствами программирования, наличием встроенного программного обеспечения, поддержкой различных SCADA(Supervisory for Control And Data Acquisition) систем и другими показателями зачастую затрудняют правильный выбор техники и программных продуктов предназначенных для реализации задач управления технологическими процессами [4].

Для принятия рационального решения по выбору варианта реализации системы, с учетом специфики объекта управления, необходимо решить следующие задачи:

- изучение современного рынка программно-технических средств;
- комплексная оценка возможных вариантов системы;
- исследование потребительских, технических и ресурсных характеристик выбранных вариантов.

В ходе анализа рынка программно-технических средств автоматизации технологических процессов, из нескольких десятков аппаратных платформ и примерно такого же количества программных пакетов для комплексной оценки были выбраны следующие программно-технические комплексы:

- «Круг 2000» НПФ «Круг» Россия [5];
- «DeltaV» Emerson Process Management, США [6];
- комплекс на базе платформы «ControlLogix» и SCADA системы «RSView32» Rockwell Automation, США [7].

Для оценки функциональности всего комплекса технических и программных средств оборудования АСУТП ключевыми можно считать следующие характеристики, определяющие класс системы:

- функциональность программного обеспечения;
- надежность технических средств;
- удобство разработки алгоритмов управления;
- достаточность технических средств для решения задач управления процессом;
- вычислительная мощность;
- сопроводительная документация;
- стоимость.

По результатам анализа характеристик технических средств и возможностей демонстрационных версий программного обеспечения, а также изучения технико-коммерческих предложений поставщиков оборудования, была сформирована сравнительная таблица, которая позволила вывести субъективную оценку для каждого комплекса программно-технических средств. Общие результаты сравнения представлены в виде диаграмм на рисунке 4.

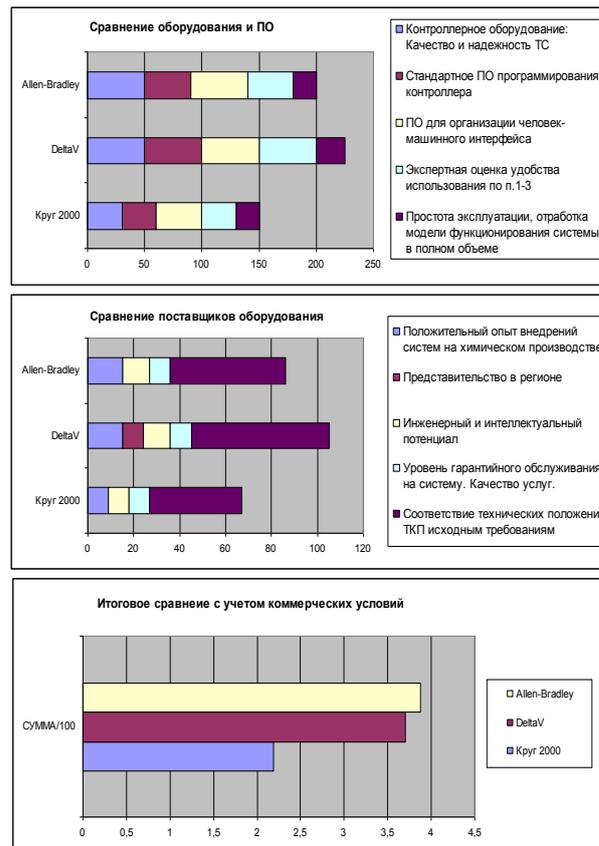


Рисунок 4. Сравнительный анализ ПТК

Детальный анализ основных технических характеристик инструментальных систем перечисленных выше производителей, позволил определить, что большинство предлагаемых решений сопоставимы и удовлетворяют техническим требованиям, позволяя создать относительно равные по потребительским свойствам АСУТП. Оптимальным вариантом решения поставленной задачи, ввиду лучшего соотношения цена/качество, явилась платформа ControlLogix производства компании Allen-Bradley [8].

СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Структурное и функциональное построение автоматизированных систем управления, как правило, основывается на использовании принципа иерархии, суть которого заключается в делении структуры системы на уровни, подчиненные один другому. Такое построение имеет ряд преимуществ, одним из которых является формализация структурно-функционального содержания уровней системы при сохранении взаимосвязей между ними. Структура АСУТП УПН представленная на рисунке 5 содержит три уровня иерархии.

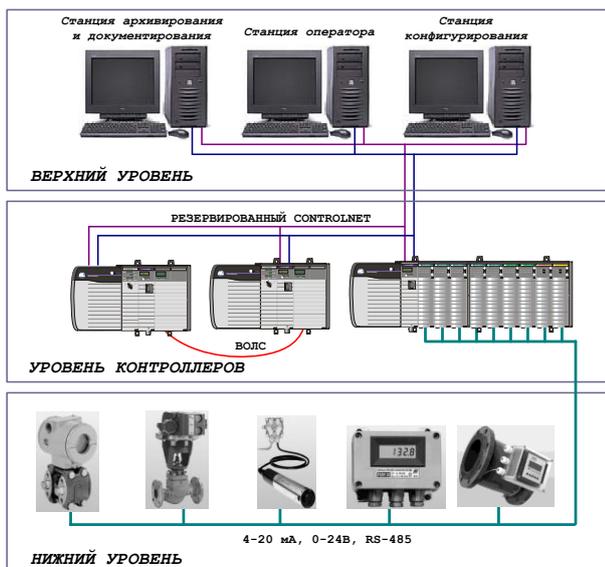


Рисунок 5. Структурная схема АСУТП УПН

Нижним уровнем системы являются средства измерения технологических параметров, запорная и регулирующая арматура, тиристорные регуляторы мощности и другие исполнительные элементы. Оборудование нижнего уровня позволяет реализовать управление технологическим процессом, посредством приводов органов регулирования, и при этом обеспечивает передачу измерительной информации на верхние уровни.

Средний уровень (уровень контроллеров) содержит микропроцессорные устройства – контроллеры, модули дискретного и аналогового ввода/вывода, которые предназначены для автоматического сбора и первичной обработки измеряемых параметров, выполнения функций автоматического регулирования, дистанционного управления исполнительными элементами технологической установки.

Учитывая то, что на весь период работы установки необходимо обеспечить высокий уровень готовности системы к контролю за непрерывным технологическим процессом, выполнению защит и блокировок в случае возникновения опасных ситуаций, при разработке архитектуры АСУТП УПН, принято решение о дублировании контроллера и коммуникационных линий. Это решение позволяет повысить отказоустойчивость системы и обеспечить «горячее» резервирование контроллера сбора данных и управления.

Верхним уровнем системы управления являются средства для обработки информации, ее регистрации, архивирования, отображения, документирования и средства диалога с системой обеспечивающие воздействие оператором-технологом на регуляторы и исполнительные элементы технологического объекта. Для решения задач управления технологическим процессом переработки натрия в АСУТП УПН

предусмотрено использование трех рабочих станций: оператора, конфигурирования, и станция архивирования и документирования.

ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Для разработки прикладного программного обеспечения рабочих станций верхнего уровня АСУТП, используется SCADA система RSVIEW32 [9], которая представляет собой инструмент для решения следующих задач:

- графическое представление в цифровой, символической или иной форме информации о ходе технологического процесса [10];
- обнаружение, сигнализация и регистрация отклонений параметров от установленных границ;
- выполнение вычислительных задач;
- архивирование технологических данных;
- формирование сводок, журналов и отчетных документов;

Структура технологических экранов (мнемосхем) ГИ АСУТП УПН представлена на рисунке 6.

По функциональному признаку мнемосхемы разделяются на следующие группы:

- технологические. Предназначены для визуализации параметров технологического процесса, предупредительной и аварийной сигнализации об отклонении технологических параметров от установленных значений;
- управления. Оператор обеспечивается возможностью передавать управляющие команды контроллеру сбора данных и управления и тем самым, вносить изменения в технологический процесс;
- просмотра архивных данных. Предоставляют возможности просмотра событий системы, тревожных сообщений и генерации отчетов о работе установки;
- контроля за оборудованием АСУТП. Предназначены для отображения данных диагностики о состоянии модулей ввода/вывода и оборудования электрической сети.

Обеспечение надежного управления и оперативного вмешательства - основные задачи персонала, осуществляющего контроль и управление оборудованием и технологическим процессом. Информация, поступающая от контрольных устройств, должна отвечать потребностям операторов, контролирующих и управляющих находящимся в работе оборудованием. Органы управления и контрольные устройства (датчики), используемые операторами, имеют соответствующую маркировку и обозначения, выбранные в зависимости от применяемых видов сигналов и установленных правил их кодирования. При этом учитываются требования безопасности и эргономики.

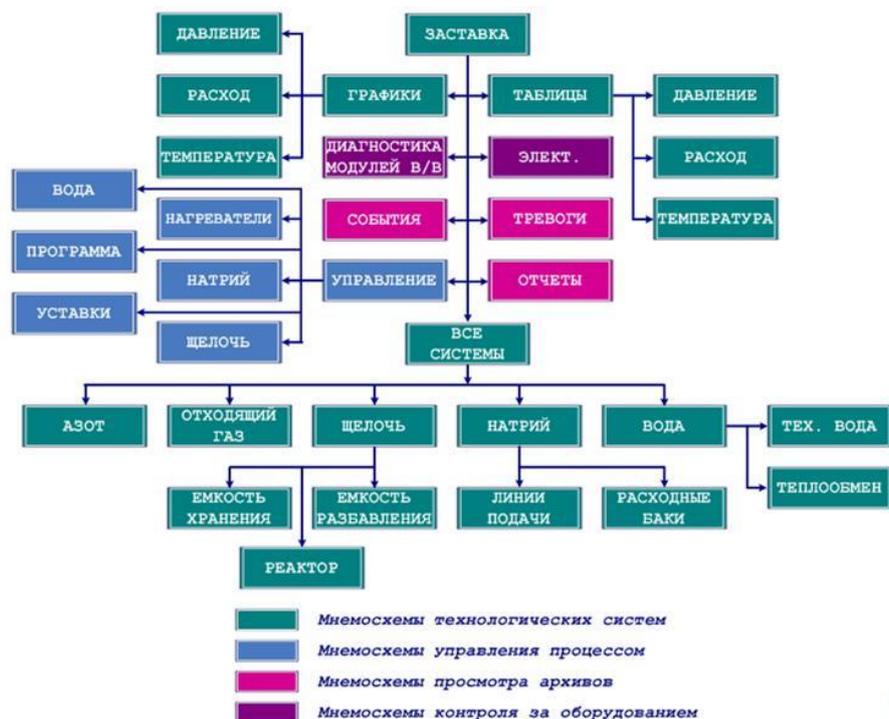


Рисунок 6. Структура технологических экранов

Основным элементом управления технологическим процессом переработки натрия является программируемый логический контроллер (ПЛК), который предназначен для сбора, преобразования и обработки информации, а также выработки команд управления. Прародителями ПЛК были релейные схемы автоматики. Это "родство" до сих пор проявляется в виде жесткой цикличности выполнения программы и своеобразного языка программирования, языка "релейно-контактных схем" или "лестничной логики". Принципиальное отличие ПЛК от релейных схем заключается в том, что все его функции реализованы программно. Разработка программ управления технологическим процессом для АСУТП УПН выполнялась при помощи среды программирования RSLogix 5000 [11], которая позволяет обеспечить решение следующих задач:

- разработка алгоритмов управления технологическим процессом;
- планирование и настройка сетевого обмена между контроллерами и модулями ввода/вывода;
- проведение расширенной диагностики контроллера и модулей ввода/вывода.

Фрагмент программы управления температурой верхней тепловой зоны суточного расходного бака (СРБ) представлен на рисунке 7. Основным элементом программы является блок PID регулятора, который обеспечивает формирование сигнала управления для тиристорного регулятора мощности. Входными параметрами блока является уставка

температуры в тепловой зоне, значения пропорционального и интегрально коэффициентов, а также текущие показания датчика температуры.

Учитывая, что процесс переработки натрия является достаточно опасным видом производства, решение большинства задач связанных с отладкой оборудования и программного обеспечения, предварительной настройкой контуров управления, анализом аварийных ситуаций, обучением и тренажем операторов установки на технологическом оборудовании представляется достаточно небезопасным и дорогостоящим делом. Одним из решений данной проблемы является применение методов полунатурного имитационного моделирования. Суть метода заключается в том, что для получения точных и достоверных результатов в состав имитационной системы включается реальное оборудование, выполняющее функции управления технологическими параметрами, сбором, обработкой и отображением информации. При этом нижний уровень АСУТП заменяется на ПЛК, на котором в режиме реального времени при помощи математической модели УПН выполняется расчет текущего состояния физических параметров технологического процесса. При помощи модулей дискретного и аналогового ввода, контроллер имитации принимает команды управления, изменяет состояние исполнительных элементов и возвращает информацию о текущих показаниях средств измерения в виде токовых сигналов, используя модули аналогового вывода.

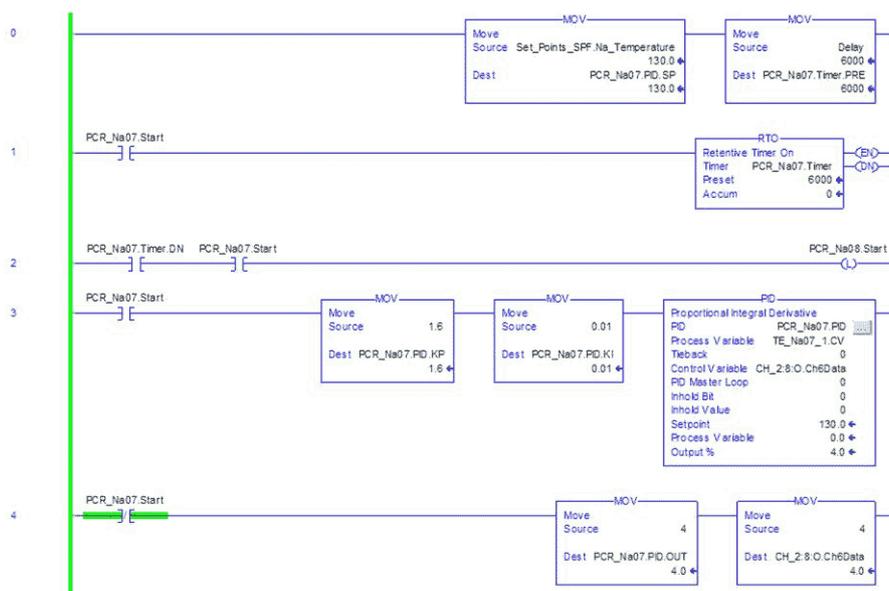


Рисунок 7. Управление температурой СРБ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе создания автоматизированной системы управления технологическим процессом переработки натриевого теплоносителя реактора БН-350 решен комплекс определенных технических проблем. К ним относятся:

- выбор оборудования и программного обеспечения;
- синтез и отладка алгоритмов управления технологическим процессом;
- разработка алгоритмов обработки и представления технологической информации;
- разработка и отладка программного обеспечения управления архивными данными;
- модельные исследования и анализ аварийных ситуаций.

Комплексный подход к автоматизации процесса переработки натрия позволил создать систему с расширенными функциональными возможностями. Наличие развитой диагностики, дублирования и

резервирования, реконфигурации системы, а также реализация горячей замены компонентов без отключения отдельных узлов, позволяет значительно повысить надежность работы средств автоматизации и сократить время и расходы на текущий ремонт и обслуживание программно-технического комплекса.

Разработанная система автоматизированного управления технологическим процессом переработки натрия, позволяет в полном объеме выполнить требования технического задания и обеспечить безопасную эксплуатацию установки. Опыт и знания, полученные в процессе решения задач в контексте данного проекта, будут полезны при решении задач ядерной энергетики Казахстана. К этим задачам в частности относятся вопросы разработки эффективных, надежных систем управления, обеспечивающих безопасное управление технологическими процессами любой сложности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24.602-86 Состав и содержание работ по стадиям создания.
2. Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию и применению автоматизированных систем управления технологическими процессами. ОРММ-3., 1986г.
3. Установка переработки натриевого теплоносителя первого контура реакторной установки БН-350. Техническое задание на разработку. Инв. № 40166, 2003.
4. Анашкин А.С. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления. Санкт-Петербург, 2004. - 370с.
5. Программно технический комплекс КРУГ 2000 для решения задач АСУТП. // Internet- <http://www.krug2000.ru/asutp.phtml>
6. Масштабируемая система управления DeltaV. Общее описание системы. // Internet- <http://www.emersonprocess.com/russia/default.asp>
7. Оборудование для автоматизации технологических процессов // Internet- <http://www.rockwellautomation.com>
8. ControlLogix Общее описание системы. Технический проспект. Rockwell Automation Inc., 1999. -59с.
9. Руководство по эксплуатации RSView32. Rockwell Automation. Технический проспект. Rockwell Automation Inc., 1999. -680с.

10. ГОСТ Р МЭК 60447-2000 Интерфейс человеко-машинный. Принципы приведения в действие
11. Руководство по применению RSLogix 5000. Rockwell Automation. Технический проспект. Rockwell Automation Inc., 1999. -150с.

НАТРИЙ ЖЫЛУ ТАСЫМАЛДАҒЫШЫН ҚАЙТА ӨНДЕУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҮДЕРІСІН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ТҮРДЕ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Кривцов П.Ю., Клименко А.С., Горбаненко О.А.

Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Курчатов

«Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» Республикалық мемлекеттік кәсіпорнының (ҚР ҰЯО РМК) Ақпараттық технологиялар және реактор қондырғыларының зерттеулерін автоматтандыру бөлімі, Курчатов қ-сы, Қазақстан

Бұл мақалада бағдарламалық-техникалық кешен базасында құрылған натрий өңдеудің технологиялық үдерісін басқарудың автоматтандырылған жүйесін (ТҮБАЖ) әзірлеу тәжірибесі сипатталған. Жұмыстың мақсаты функциялық құрылымды анықтау, жабдық таңдау, жүйені ұйымдастыру және ақпараттық қамтамасыз ету бойынша шешім қабылдаумен байланысты инженерлік-техникалық жұмыстар жүргізу, қолданбалы бағдарламалық қамтамасыз ету мен қызметтік құжаттама әзірлеу болып табылады.

DEVELOPMENT OF COMPUTER-AIDED MONITORING SYSTEM FOR SODIUM COOLANT PROCESSING WORKFLOW

P.Y. Krivtsov, A.S. Klimenko, O.A. Gorbanenko

National Nuclear Centre of the Republic of Kazakstan, Kurchatov

The report describes the development of computer-aided monitoring system for sodium processing workflow constructed on the basis of software-technical system.

The purpose of the effort is to perform engineer-technical operations associated with determination of functional structure, selection of equipment, decision making for organizational and information support, development of applied software and work documentation.

УДК 38.63:58.91.37

ГРУНТЫ И ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ В г. КУРЧАТОВЕ

Генова С.В.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведена краткая характеристика грунтов и природных вод, полученная при инженерно-геологических исследованиях площадки строительства обогатительной фабрики флюоритовой руды в г. Курчатов, с целью определения степени пригодности площадки под строительство, а также с целью оценки возможности загрязнения окружающей среды. Характеристики грунтов и водных горизонтов, полученные до начала строительства и ввода в эксплуатацию обогатительной фабрики, представляют фактическую основу для разработки технологии будущего мониторинга и прогнозирования изменений, возможных под влиянием техногенных факторов.

ВВЕДЕНИЕ

Ульбинский металлургический завод начал строительство обогатительной фабрики в г. Курчатове по обогащению флюоритовой руды Караджальского месторождения, расположенного на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

Обогатительная фабрика спроектирована в пределах городской черты, в непосредственной близости от р. Иртыш. Несмотря на то, что контроль вывозимой руды на содержание радионуклидов осуществляется на самом месторождении, необходимо предопределить вероятные пути миграции при попадании на незагрязненные территории. Также система экологического мониторинга необходима в процессе эксплуатации фабрики, как любого промышленного предприятия, с целью предупреждения вероятной опасности загрязнения окружающей среды.

При прогнозировании путей миграции вероятного загрязнения, помимо геологического строения были учтены такие факторы как рельеф поверхности, климат, характер растительности, почвенного покрова и др.

Район исследований расположен на левом берегу, в верхнем участке долины реки Иртыш. Рельеф поверхности относительно ровный с незначительным уклоном в северном направлении.

Растительность района типична для степной зоны. Она представлена травами степных и полупустынных видов, среди которых преобладают ковыль и полынь, в пойме рек встречаются заросли малорослого кустарника: тальника, шиповника, камыша, осоки, карагача.

Зима в районе продолжительная, ветреная, мало-снежная, лето – теплое, весна и осень – прохладные.

Годовое количество осадков в среднем за многолетний период составляет 301,7мм, в холодный период (ноябрь - март) – 59,7мм, в теплый период (апрель - октябрь) – 154,8мм.

Месячный максимум осадков по многолетним данным наблюдается в июле и составляет в среднем 35,9мм, минимальное месячное количество осадков приходится на январь и составляет в среднем 9,7мм.



Рисунок 1. Район изысканий (снимок 2001 года)

Резко континентальный климат с небольшим количеством осадков и интенсивным испарением создаёт почти для всей территории условия, неблагоприятные для питания подземных вод. Небольшая часть выпадающих здесь атмосферных осадков уходит на инфильтрацию, основная часть выпавшей влаги испаряется, что затрудняет продвижение поверхностных загрязнений к грунтовым водам.

ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПЛОЩАДКИ

Миграционная способность радионуклидов и токсичных соединений в ландшафте определяется условиями не только формирования несущего потока, но и вовлечения мигрирующих веществ в несущий поток. Среди них такие факторы как кислотно-щелочные условия и поглощательная способность почвы, включая содержание гумуса, а также ландшафтно-геохимические барьеры [1].

Миграции водорастворимых соединений в зоне препятствует преобладающая щелочная реакция светло-каштановых почв. Гумусированность почв не превышает 1,2%.

В разрезе исследуемой площадки присутствуют сорбционные геохимические барьеры, каковыми являются суглинки и глины. У глин и глинистых суглинков наиболее интенсивно проявляются сорбционные свойства и низкая фильтрующая способность.

Делювиальные отложения, залегающие, на аллювиальных накоплениях надпойменных террас, в разрезе площадки представлены супесями, реже суглинками и песками. Супеси и суглинки твердые, имеют желтовато-серую окраску.

Под делювиально-пролювиальными отложениями залегают аллювиальные. Они представлены песками и крупнообломочными грунтами. Пески светло-серого, коричневого цветов, мелкие, средней крупности, крупные и гравелистые.

Под аллювиальными отложениями залегают элювиальные образования. Они представлены выветрелыми песчаниками, дресвяно-щебенистыми грунтами, песками, суглинками и глинами. Элювиальные пески серые, светло-серые, почти белого цвета, мелкие, средней крупности и крупные с включением дресвы и щебня, иногда с прослоями некрепких песчаников, мощностью до 1,0 метра. Мощность песков – до 5 метров.

В песках и крупнообломочных грунтах наблюдается наиболее высокий уровень миграции, так как это несвязные грунты, практически не обладающие сорбционными свойствами. Загрязняющие компоненты, попадая в грунт, быстро перемещаются в этих слоях за счет инфильтрации или с грунтовыми водами. Именно на этих участках складываются наиболее благоприятные условия для вертикальной миграции, не контролируемой ландшафтно-геохимическими барьерами.

Элювиальные образования залегают ниже уровня грунтовых вод на глубинах от 0,4 до 8,0 метров от поверхности земли.

Элювиальные глины и суглинки распространены повсеместно под аллювиальными отложениями. Суглинки и глины желтые, светло-серые, пестроцветные, ожелезненные, с включением щебня и дресвы.

В разрезе площадки выделено восемь инженерно-геологических горизонтов (классификация по Государственному стандарту в строительстве РК СТ РК 25100-2002 «Грунты. Классификация»).

- горизонт 1. Супесь, суглинок, четвертичные, делювиально-пролювиальные, залегающие с поверхности;
- горизонт 2. Песок средней крупности, четвертичного возраста, аллювиальный, залегающий выше уровня подземных вод;
- горизонт 2а. Песок средней крупности, четвертичного возраста, аллювиальный, залегающий ниже уровня подземных вод
- горизонт 3. Песок гравелистый, четвертичного возраста, аллювиальный, залегающий выше уровня подземных вод;
- горизонт 3а. Песок гравелистый, четвертичного возраста, аллювиальный, залегающий ниже уровня подземных вод
- горизонт 4. Гравийный грунт, четвертичного возраста, аллювиальный, залегающий выше уровня подземных вод;
- горизонт 4а. Гравийный грунт, четвертичного возраста, аллювиальный, залегающий ниже уровня подземных вод
- горизонт 5а. Глина, реже суглинок, мезозойско-кайнозойского возраста, элювиальная, залегающая, в основном, ниже уровня подземных вод.

Все выделенные горизонты относятся к классу природных дисперсных грунтов с водноколлоидными и механическими структурными связями. По происхождению - к подгруппе осадочных грунтов. По вещественному составу к типу минеральных, полиминеральных грунтов.

По характеру структурных связей грунты делятся на связные и несвязные.

В группе несвязных грунтов выделено 2 вида грунтов, относящихся к подгруппе осадочных, по типу к минеральным, полиминеральным:

- аллювиальные пески;
- крупнообломочные грунты.

Связные грунты присутствуют в 2 горизонтах:

- горизонт 1 – Супеси поверхностные.
- горизонт 5а – Глина элювиальная, залегающая, в основном, ниже уровня грунтовых вод [2].

Грунты классифицируются как глины и лишь в отдельных интервалах - как суглинки. Число пластичности изменяется от 12 до 34 и в среднем равно 22. Содержание песчаной фракции в среднем составляет 21%.

В разрезе площадки выявлено повсеместное чередование грунтов с высокой и низкой сорбционной способностью.

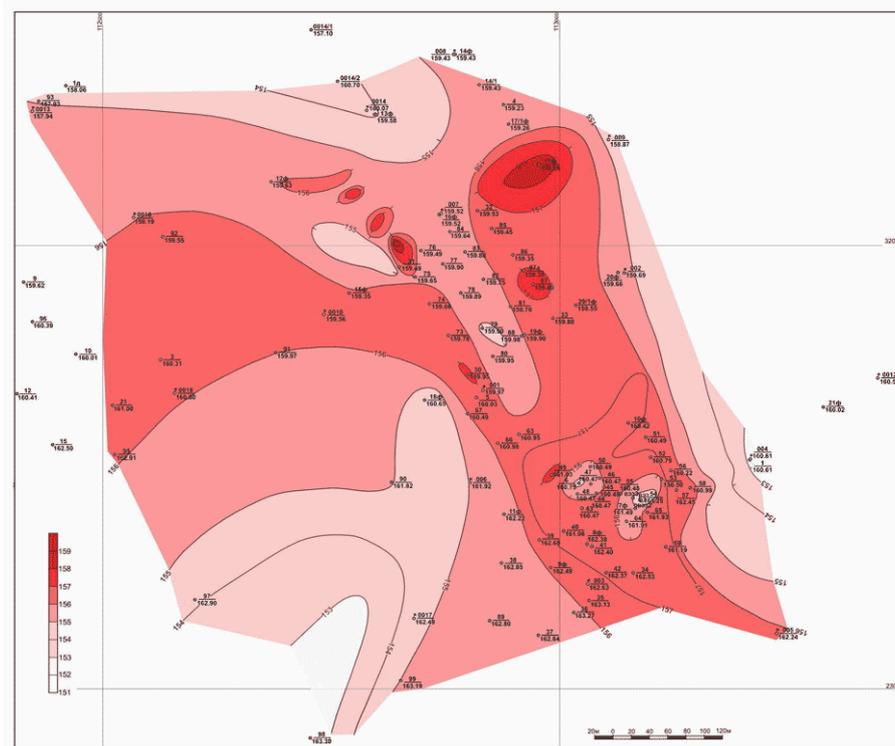


Рисунок 2. Карта кровли глин

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И СОЕДИНЕНИЙ В ГРУНТАХ

В водных вытяжках грунтов площадки были определены концентрации сульфатов, хлоридов, нитратов, ионов железа. Их содержание не превышает ПДК. В грунтах нескольких горизонтов наблюдается повышенное содержание ионов хлора, по сравнению с фоновыми значениями, возможно, техногенного происхождения.

Наиболее засоленным является горизонт 5а, в первую очередь это связано с разновидностью грунтов, слагающих горизонт, элювиальные глины обладают высокой сорбционной способностью.

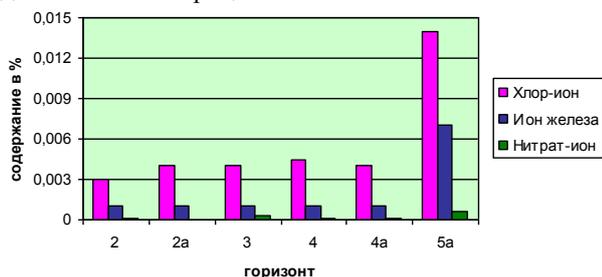


Рисунок 3. Содержание некоторых химических элементов и соединений в грунтах площадки

В пробах песчаных грунтов был выполнен анализ минерального состава.

Пески всех горизонтов бурно реагируют с 5% соляной кислотой, а 10% раствор хлорного железа, при взаимодействии, интенсивно окрашивается в красно-бурый цвет, что свидетельствует о наличии в

песках карбонатных пород зерен кальцита (или арагонита).

По данным анализов, около 65 % грунта не растворимы в соляной кислоте. Содержание радионуклидов в грунтах площадки не превышает фоновых.

Коррозионная агрессивность среды оценена по данным лабораторных определений показателей коррозионной агрессивности грунтов и подземных вод, а также определением удельного электрического сопротивления грунта в полевых и лабораторных условиях. Коррозионная агрессивность грунтов по отношению свинцу классифицируется как низкая и средняя по содержанию нитрат-иона, к алюминию как высокая по содержанию хлор-иона. Агрессивность грунтовых вод высокая по общей жесткости и содержанию хлор-иона.

Коррозионная агрессивность грунтов по отношению к стали, характеризуется значениями удельного электрического сопротивления грунта, определяемого в полевых и лабораторных условиях.

На площадках грунты до глубины 4,0 метра характеризуются низкой, средней и высокой коррозионной агрессивностью по отношению к углеродистой и низколегированной стали.

Глинистые грунты обладают высокой коррозионной агрессивностью по отношению к стали.

Значения водородного показателя в среднем равно 7,0, в редких случаях достигает 7,6. Содержание органических соединений в грунтах невелико и в среднем составляет 0,005% от массы.

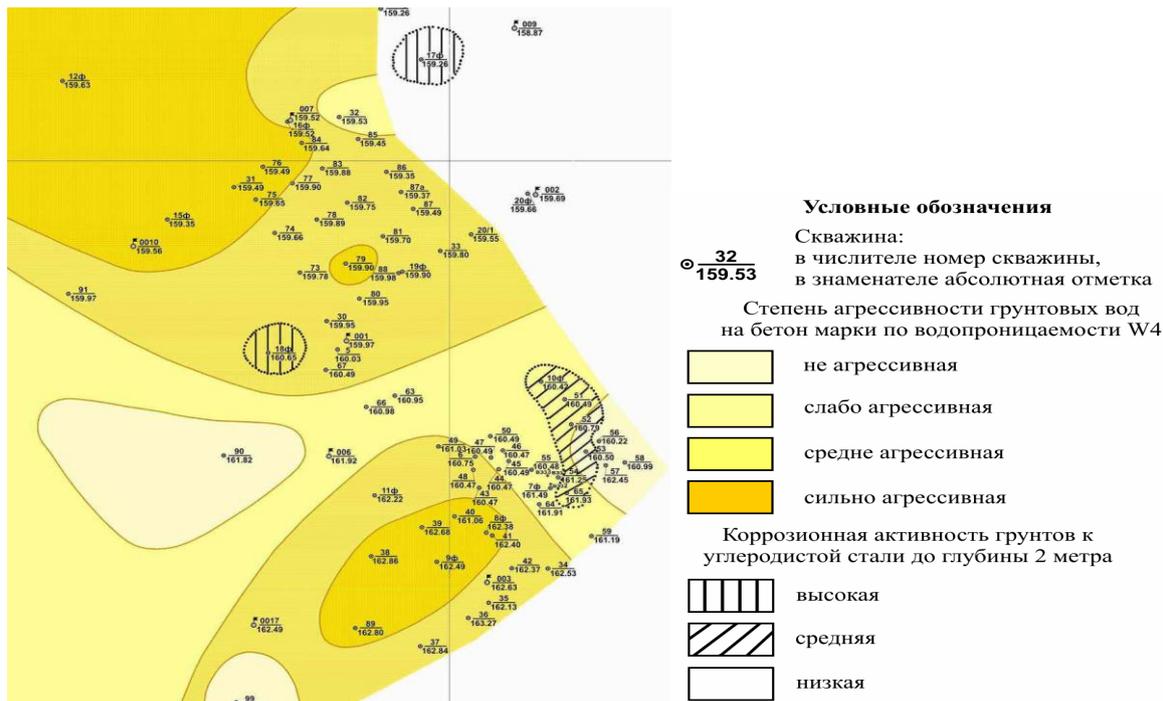


Рисунок 4. Карта степени агрессивности подземных вод к бетону и грунтов к углеродистой стали

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПЛОЩАДКИ

В пределах площадки обогатительной фабрики грунтовые воды отличаются разнообразием состава. На сорбционные свойства пород влияют гидрохимические особенности подземных вод. В частности, большое значение имеет концентрация основных катионов в воде (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+). Установлено, что чем выше концентрация кальция или суммы $\text{Ca}^{++}\text{Na}^+\text{Mg}^{++}\text{K}^+$ в воде, тем выше миграционная способность радионуклидов.

По химическому составу воды площадки в большей части хлоридно-сульфатные, реже сульфатные и гидрокарбонатно-сульфатные натриевые и кальциево-натриевые. Содержание кальция колеблется от $0,02\text{ г/дм}^3$ до $0,3\text{ г/дм}^3$, магния - от $0,01\text{ дм}^3$ до $0,15\text{ дм}^3$, натрия и калия - от $0,2\text{ дм}^3$ до $0,8\text{ дм}^3$.

Минерализация подземных вод в целом по участку работ, изменяется от $0,6\text{ г/дм}^3$ (скважины №№ 56; 58; 99) до 57 г/дм^3 в скважине №93. На участках, где водообмен более интенсивный, значения минерализации изменяются в пределах от 1,3 до $5,4\text{ г/дм}^3$.

В разрезе площадки выделяется два водоносных горизонта:

Первый водоносный горизонт - безнапорные грунтовые воды, находящийся в четвертичных водовмещающих породах, представляющих собой мелкозернистые сильно пылеватые пески, с редкими прослоями иловатых суглинков. Минимальная глубина залегания воды (пойма реки) - 6 м. от поверхности земли, максимальная глубина залегания (первая надпойменная терраса) - 22м. Мощность этого горизонта составляет от 4 до 16 метров. Область

питания водного горизонта - атмосферные осадки. Область разгрузки - река и залив.

В связи с подобным направлением стока, воды горизонта 1 являются одним из основных путей предполагаемого транспорта загрязняющих компонентов с поверхности. Препятствием в данном случае служит присутствие суглинков в водовмещающих породах, но они не имеют повсеместного распространения в разрезе горизонта.

Первый водоносный горизонт приурочены к зоне интенсивного водообмена, которая активно участвует в водообмене с поверхностной гидросферой и представляет собой интерес для изучения.

Второй водоносный горизонт - напорные межпластовые воды, представляющие собой белые мелкозернистые пески с редкими прослоями кремнистых песчаников. Верхний водоупор состоит из неогеновых отложений в виде плотной глины. Нижний водоупор состоит из силурийских отложений в виде плотного мергеля. Минимальная глубина залегания воды под поймой реки - 41м от поверхности земли, а максимальная глубина под поймой реки - 59м. Мощность этого водоносного горизонта составляет от 9 до 16 метров. Область питания и область разгрузки этого водоносного горизонта находится за пределами района исследований. Воды второго водоносного горизонта являются относительно изолированной системой и не должны оказывать существенного влияния на степень миграции. Однако трещинные воды взаимосвязаны друг с другом и образуют единую гидродинамическую систему.

Расстояния между линиями тока для водоносного горизонта на всей территории одинакова, что

говорит о равномерном потоке подземных вод. Часть поймы и второй надпойменной террасы до 10% от застраиваемой территории на правом берегу реки относятся к зоне, где будут подтоплены средние и тяжелые сооружения. Здесь залегание подземных вод достигает от 5 до 10 метров.

Оставшиеся часть поймы, первой и второй надпойменной террасы на правом берегу реки (до 70% от застраиваемой территории) к зоне, где не будут подтапливаться сооружения.

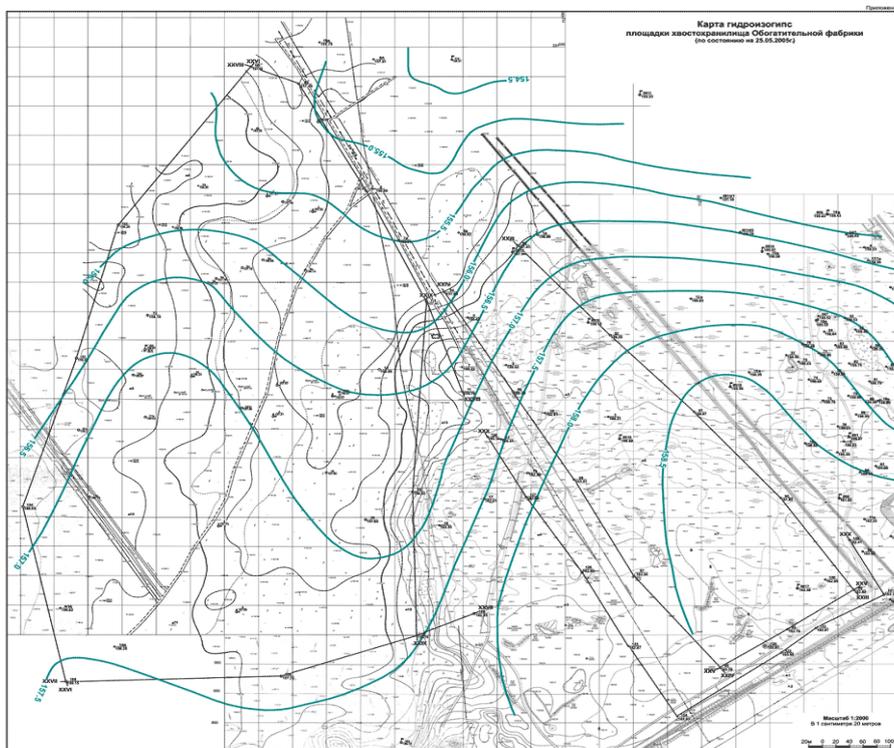


Рисунок 5. Карта гидроизогипс горизонта I

Прямой смыв загрязняющих веществ с поверхности может стать реальным источником их поступления в р. Иртыш во время высоких паводков. Однако, высокая степень защищенности пойменных ландшафтов сорбционными ландшафтно-геохимическими барьерами будет препятствовать развитию процессов вертикальной миграции веществ, предрасположенных к сорбции на минеральной и органической частях почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дан предварительный прогноз путей вероятной миграции загрязняющих веществ, что является первым этапом исследований.

В разрезе площадки выделено два водоносных горизонта. Воды верхнего горизонта являются одним из основных путей предполагаемого транспорта загрязняющих компонентов с поверхности.

Небольшое количество осадков и интенсивное испарение затруднит вертикальную миграцию с поверхности.

Серьезным препятствием к распространению загрязняющих компонентов будет служить повсе-

местное присутствие в разрезе площадки ландшафтно-геохимических барьеров. Геохимические барьеры обладают наибольшей степенью сорбции химических соединений по сравнению с остальными грунтами, поэтому именно здесь необходимо проводить мониторинг содержания в грунтах загрязняющих веществ в процессе эксплуатации предприятия.

С точки зрения химического состава не способствует миграции элементов и соединений щелочная реакция и низкая гумусированность почв.

С другой стороны, в разрезе исследуемых площадок развиты хорошо проницаемые грунты – пески и крупнообломочные грунты, в которых наблюдается наиболее высокий уровень миграции, так как это несвязные грунты, практически не обладающие сорбционными свойствами. Именно на этих участках складываются наиболее благоприятные условия для вертикальной миграции. Однако песчаные грунты относительно небольшой мощности, в пределах площадки имеется ряд бугров на кровле водоупорных глин, что создает определенные трудности для подземного стока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасов, В. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России / В. Протасов. - М.: Наука, 2000. - 200 с.
2. Заключение о результатах предварительного инженерного изучения площадки проектирования обогатительной фабрики: отчет (промежуточ.) / Институт геофизических исследований НЯЦ РК; рук. В.Н. Демин. – К. 2003. – Инв. № 137.

КУРЧАТОВ Қ. БАЙЫТУ ФАБРИКАСЫН ҚҰРУ АЛАҢЫНЫҢ ГРУНТТАРЫ МЕН ТАБИҒИ СУЛАРЫ

Генова С.В.

ҚР ҰАО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Курчатов қ. флюорит кенің байыту фабрикасын құру алаңын инженерлік-геологиялық зерттеулерінде алаңның құрылыс өткізуіне жарамдылығының дәрежесін анықтау мақсатымен, сондай-ақ қоршаған ортаның ластану мүмкіндігін бағалау мақсатымен, грунттар мен табиғи суларының алынған қысқаша сипаттамалары келтірілген. Байыту фабрикасын құру және пайдалануына енгізілу алдында алынған грунттар мен сулы қабаттарының сипаттамалары, келешектегі мониторинг технологиясын әзірлеу және техногенды факторларының әсерінде болу мүмкін өзгерістерінің болжамы үшін нақты негізі болып көрінеді.

**SOIL AND NATURAL WATER WITHIN
THE CONSTRUCTION SITE OF THE PROCESSING PLANT IN KURCHATOV**

S. Genova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Brief characteristics of soil and natural water, obtained during engineer-geology survey activities within the construction site of the processing plant for fluorite ore in Kurchatov, were given to determine the degree of construction site sustainability and to evaluate possible contamination of environment. Soil and water peculiarities, obtained before and after the plant startup, present essential basis for development of technologies for further monitoring and prediction of possible changes under impact of man-made factors.

УДК 550.34(574.2):504.064.36(9)

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ БОЛЬШЕБАЗОВОЙ СИСТЕМЫ ГРУППИРОВАНИЯ «БОРОВОЕ»

Локштанов С.С., Комаров И.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В настоящее время по поручению Главы государства ведётся работа по подготовке Государственной программы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на 2007 – 2015 гг. Одной из задач данной программы является «...обеспечение модернизации, технического развития, программно-математической и информационной поддержки республиканской системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений». В НЯЦ РК подготовлены и переданы предложения, одним из которых предусмотрена модернизация построенной в советское время сейсмической группы «Боровое». Настоящая работа связана с подготовкой Проекта на модернизацию сейсмической группы «Боровое» и посвящена вопросам обоснования необходимости её модернизации.

ВВЕДЕНИЕ

В составе Национального ядерного центра Республики Казахстан создается современная сеть сейсмических и инфразвуковых станций, которые входят в систему контроля за ядерными испытаниями, разрабатываемую мировым сообществом по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), а также по ряду других международных соглашений, ратифицированных Казахстаном. На начало 2006г. круглосуточный мониторинг ядерных испытаний ведут в Казахстане четыре 10-элементные сейсмические группы (PS23 – Маканчи, 2000; AS057 – Боровое, 2002; Каратау, 2001; Акбулак, 2004), 5-ть трехкомпонентных станций (AS059 – Актюбинск, IRIS/IDA-Боровое, IRIS/IDA-Курчатов, REFTEK-Подгорное, REFTEK-KNDC), одна 8-элементная инфразвуковая группа IS31- Актюбинск (2002). Функционируют каналы связи Центра данных (ЦСОСЦИ), созданного в г.Алматы, с 4 казахстанскими станциями, входящими в Международную систему мониторинга и с 7 станциями, входящими в другие системы. В результате основная часть данных поступает в ЦСОСЦИ в режиме реального времени, что обеспечивает оперативность и высокое качество информации, передаваемой после обработки в международные центры, службы геофизического контроля. Одновременно данные сейсмического мониторинга передаются в Институт сейсмологии МОН РК для оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений, поскольку станции этого Института, в отличие от станций НЯЦ РК, сконцентрированы только в южной части Казахстана.

Вопросы сейсмического мониторинга в Казахстане, сейсмической опасности и прогноза землетрясений стали темой обсуждения во время посещения Главой государства Института сейсмологии МОН РК в ноябре 2005г. По результатам которого начата разработка Государственной программы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на 2007 – 2015 гг. с привлечением широкого круга

ведомств и организаций. В перечень поручений Главы государства вошли работы по «...обеспечению модернизации, технического развития, программно-математической и информационной поддержки республиканской системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений». В НЯЦ РК подготовлены и переданы предложения, одним из которых предусмотрена модернизация сейсмической группы Боровое. Созданная в советское время, расположенная в уникальных геологических условиях, обеспечивающих высокую чувствительность регистрации сейсмических событий, модернизированная станция не только повысит действенность системы сейсмического мониторинга в целом, но и позволит проводить эффективный мониторинг сейсмичности столичного региона.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ [1-4]

ГО «Боровое», центр большебазовой сейсмической группы, находится в Щучинском районе Акмолинской области Республики Казахстан и располагается в 15км к северу от г. Щучинска, в 2км от поселка Боровое. В геологическом отношении группа размещена в пределах жесткого блока Кокшетауского антиклинория, который обладает естественной повышенной эффективностью регистрации сейсмических событий.

Первые изыскательские работы в Зерендинско-Боровской зоне гранитных массивов и первые эксперименты по регистрации ядерных взрывов относятся к летнему периоду 1951-1952 гг. Решение о создании сейсмической станции «Боровое» было принято в 1960г., а уже начиная с 1963г. сейсмостанция, стала работать как стационарная. В 1965г. организуется экспедиция № 4 Спецсектора Института физики Земли АН СССР (бывший Геофизический Институт), основным назначением которой являлась разработка комплекса геофизических методов контроля за проведением ядерных взрывов в различных средах. С этого времени начинается отчет исторической деятельности геофизической об-

серватории «Боровое». Большинство сейсмических экспериментов этого периода проводилось с целью изучения феномена повышенной магнитудной чувствительности сейсмической станции «Боровое» к сигналам отдаленного Невадского испытательного полигона, а также с целью поиска новых пунктов с повышенной чувствительностью. Были организованы временные наблюдения и на выносных пунктах: «Жукей» (26км от станции Боровое), «Бармашино» (11км.), «Зеренда» (86км.), «Чкалово» (72км.), «Восточный» (60км.). По результатам этих экспериментов для развития наблюдательной сети ГО «Боровое» были отобраны три последних пункта.

В начале 70-х годов для ГО «Боровое» проектируются системы группового приема сейсмических сигналов «Крест» и «Треугольник», основное направление которых – повысить в большей мере эффективность регистрации ядерных взрывов с известных испытательных полигонов. Таким образом, применение оптимальных методов частотной, поляризационной и пространственно-временной фильтрации к материалам регистрации большебазовой системы группирования позволило обеспечить уверенное обнаружение и определение основных параметров взрывов, прежде всего на Невадском полигоне.

Система сейсмических наблюдений и сейсмические каналы. Систему пространственных сейсмических наблюдений составляли четыре группы, три из которых располагаются в углах, а одна – в центре примерно равностороннего треугольника (рисунок 1).

Центральной группой системы (BRVK) являлась геофизическая обсерватория Боровое. Группы на периферии располагались рядом с населенными пунктами: пос. Зеренда, пос. Чкалово, совхоз Восточный и представляли так называемые «малые ожерелья» – Восточный (VOS), Чкалово (CHK), Зе-

ренда (ZRN). Вместе все группы составляют большое ожерелье, которое относится к классу большебазовых, так как её апертура превышает 100км. Каждое из малых ожерелий – это сейсмический комплекс, состоящий из шести однокомпонентных вертикальных сейсмометров, расположенных по окружности диаметром 6км и одной трехкомпонентной станцией в центре.

На выносных пунктах использовалась аппаратура ПЦС (передвижная цифровая станция) [1], в обсерватории Боровое – цифровая станция СЦР-ТСГ [2]. Все станции ПЦС были оснащены трехкомпонентными короткопериодными каналами на базе сейсмометров КСМ и длиннопериодными сейсмометрами типа ДС, размещенными в камерах шахты приборного сооружения. Сейсмометры устанавливались на выходах коренных пород. Погрешность ориентирования горизонтальных сейсмометров не превышала 0.5°. Пороговая чувствительность каналов типа КСМ составляла 0,13 нм (диапазон частот 0,65 – 8,7 Гц), каналов типа ДС – 7,8 нм (диапазон частот 0,04 – 0,61 Гц).

Информация от сейсмометров передавалась в приборное сооружение по кабелю. Пороговая чувствительность каналов СБУ-В составляла 0,3 нм (в полосе пропускания 0,73 – 3,5 Гц). Информация всех каналов непрерывно передавалась в центральный пункт по радиорелейным линиям связи в виде частотно-модулированных сигналов звукового диапазона. Привязка всей сейсмической информации к эталонным сигналам времени осуществлялась с погрешностью, не более 0.01 сек. Регистрация данных велась в форме семнадцатиразрядного двоичного кода на магнитную ленту шириной 35мм. В таблице 1 приведены данные о размещении сейсмоприемников в приборных сооружениях (скважины и шахты).

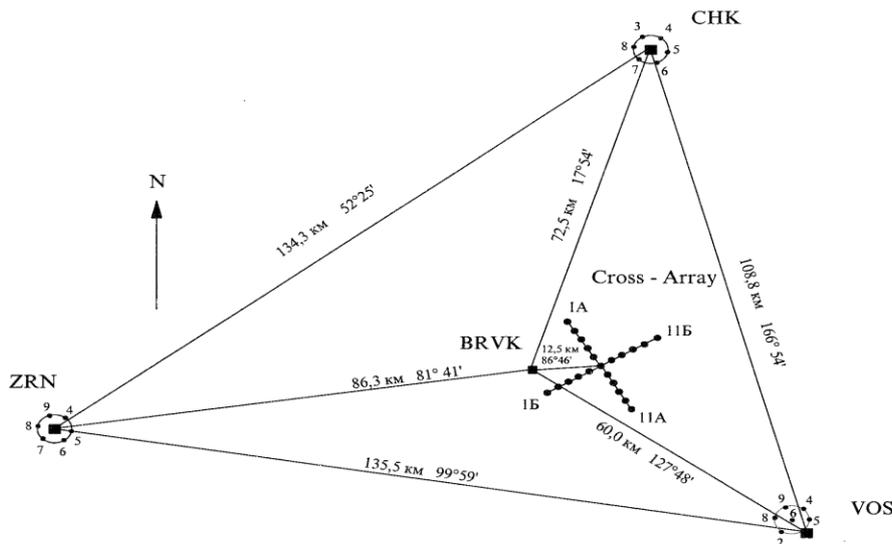


Рисунок 1. Схема большебазовой системы Боровое

Таблица 1. Глубины размещения сейсмометров в группах

Восточное ((VOS)		Чкалово (СНК)		Зеренда (ZRN)		ГО «Боровое»	
элемент	глубина, м	элемент	глубина, м	элемент	глубина, м	элемент	глубина, м
4	55	4	42	4	26	4	-
5	55	5	21	5	29	5	-
6	55	6	20	6	21	6	-
7	46	7	38	7	81	7	-
8	60	8	87	8	76	8	-
9	36	9	53	9	72	9	-
шахта	42	шахта	22	шахта	18	шахта	20

Результативность работы системы группирования в советское время. На большебазовой группе «Боровое» получено тысячи регистрограмм, заархивировано более 7000 бобин с записями сейсмических сигналов на магнитную ленту. Группа регистрировала сейсмические события, начиная с магнитуды 4,0 – 4,5 практически из любого района мира. Зарегистрировано около 700 подземных ядерных взрывов, произведенных Англией, КНР, СССР, США, Францией. На рисунке 2 показано по годам, как значительна доля зарегистрированных большебазовой группой «Боровое» ядерных взрывов, произведенных в США. Всего за период с 15 сентября 1961г. по 23 сентября 1992г. станция «Боровое» зарегистрировала 484 подземных ядерных взрыва, произведенных на территории США, из них 56 – являлись заранее не объявленными.

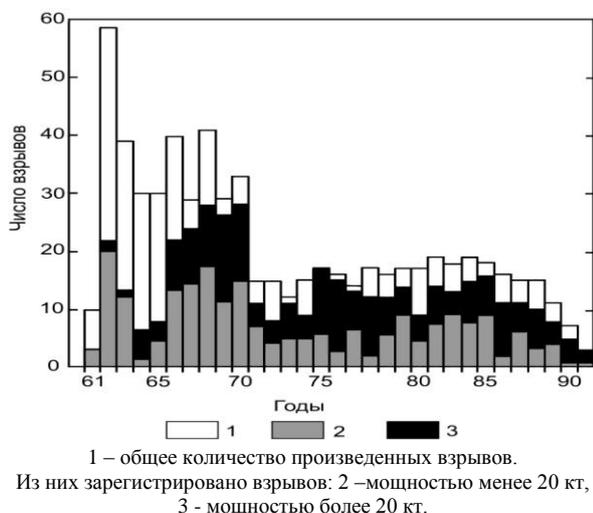


Рисунок 2. Подземные ядерные взрывы на территории США, зарегистрированные сейсмической группой Боровое [3]

Сейсмическая группа являлась самой чувствительной из всех станций бывшего СССР по регистрации ядерных взрывов и землетрясений. Методическими причинами, объясняющими это свойство, являются невысокий уровень микросейсм (1 -10 нм в короткопериодном диапазоне, 100 – 200 нм в длиннопериодном диапазоне [2]) и повышенная эффективность регистрации продольных сейсмических волн (волна Р) из ряда сейсмоактивных районов: на 0,2 – 0,3 единицы - для Камчатки, Японии, Северо-Атлантического хребта и др. и, особенно, на 0,7

единиц – для Невадского испытательного полигона [3]. Эффективные свойства сейсмической группы связывают, с одной стороны, с выбором ее местоположения, с другой стороны, с типом и конфигурацией разработанной системы сейсмического группирования. В «Боровом» реализована система группирования как способ повышения статистической представительности регистрируемых данных и как способ, обеспечивающий определение направления прихода сейсмических волн. Также следует отметить, что станция ведет непрерывную цифровую регистрацию с 1966г. Это единственная сейсмическая станция в мире, имеющая опыт столь длительных цифровых наблюдений.

Передача в состав НЯЦ РК. В 1994г., после вывода с территории Республики Казахстан войсковых частей, управлявших работой станций мониторинга, сейсмическая группа «Боровое» вместе с сейсмической группой «Курчатов» и сейсмическими станциями «Актюбинск» и «Маканчи» были переданы Национальному ядерному центру Республики Казахстан. К сожалению, распад СССР и последующее за этим прекращение финансирования привели к тому, что часть комплексов была утрачена.

Предшествующие модернизации. С лета 1994г. в рамках Соглашения по вопросам сотрудничества в области мониторинга подземных ядерных испытаний между Консорциумом университетов IRIS начала действовать Совместная сейсмическая программа (JSP) по модернизации сети наблюдений Казахстана. На 4-х пунктах большебазовой группы «Боровое» были установлены широкополосные трехкомпонентные сейсмические станции. Они были оснащены сейсмометрами STS-2 и системами сбора данных типа IRIS/PASSCAL на базе DAS REFTEK. С 1997г. по 1999г. регистрация велась сейсмическими станциями REFTEK 72 (АЦП 24 бит) с широкополосными сейсмометрами STS-2 (шахта) и станциями REFTEK 72 (АЦП 16 бит), подключенными к скважинным датчикам К-213-СМ1. Накопление информации в режиме непрерывной регистрации производилось на диски. Основным недостатком данного оборудования являлось отсутствие системы первичной обработки и системы передачи данных в режиме реального времени. В течение 1997г. сотрудники LDEO осуществили поиск и подбор датчиков и регистрирующего оборудования, удовлетворяющего требованиям Междуна-

родной системы мониторинга в рамках проекта К-63 МНТЦ. В процессе выполнения проекта был осуществлен переход на новые сейсмические станции «Quanterra», что стало естественным эволюционным шагом развития ГО «Боровое». В октябре 1998г. компания «Quanterra» поставила 4-е широкополосных сейсмометра STS-2 и 4-е 12-канальных цифровых регистратора Q680. В 1999г. станции REFTEK 72 были заменены сейсмическими комплексами Quanterra 680. Накопление данных в данном комплексе происходит на 4-х мм стриммерную ленту. Поддержка протокола TCP/IP позволило подключить станцию к сети Интернет и организовать централизованный сбор данных в режиме реального времени. При этом передача данных производится с помощью радиомодемов Long Ranger 2030. На каждый периферийный пункт был выделен отдельный канал связи с последующим поступлением данных на маршрутизатор, а далее через локальную сеть на компьютер SUN с установленным программным обеспечением для сбора и первичной обработки данных. Для этих целей в сентябре 1998г. сотрудниками ИГИ НЯЦ РК совместно с инженерами LDEO и ИВТАН РАН были выполнены натуральные испы-

тания радиотелеметрического оборудования. Дополнительно в октябре 1999г. компанией «ОТС» были проведены работы по расчету радиомодемных линий связи. В 2000г. был впервые установлен спутниковый канал связи между ГО «Боровое» и Центром сбора и обработки специальной сейсмической информации (г.Алматы). В результате данных модернизаций вышеперечисленное оборудование работает до настоящего времени.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БОЛЬШЕБАЗОВОЙ ГРУППЫ БОРОВОЕ

В 2005г. проведено специальное обследование технического состояния комплексов и систем большебазовой системы группирования. В данной работе на примере данных комплексов и систем даётся обоснование необходимости проведения модернизации, и приводятся варианты модернизации.

Комплекс сейсмологического оборудования. На периферийных группах установлены однокомпонентные вертикальные сейсмометры К-213 – СМ1 и трехкомпонентные широкополосные сейсмометры STS-2 (таблица 2).

Таблица 2. Характеристики сейсмических датчиков

Характеристика датчика	STS-2	К-213 СМ1
Тип станции	трехкомпонентный	однокомпонентный
Частотный диапазон	0,008-45Гц	0,5-15Гц
Динамический диапазон	140дБ	80дБ

Недостатком датчиков однокомпонентной группы является их узкополосный частотный диапазон 0,5-15Гц., тогда как для регистрации, как микросейсм, так и сильных сигналов от землетрясений требуется использование широкополосных датчиков (частотный диапазон 0,02-50Гц). Оснащение данным типом датчиков повлечёт за собой необходимость создание унифицированного ядра (комплекса) по сбору и обработке информации, который должен включать в себя соответствующую регистрирующую аппаратуру с необходимым программным обеспечением.

Система сбора и передачи данных. Передача сейсмической информации с периферийных групп на базовую станцию ГО «Боровое» осуществляется по радиотелеметрическим каналам с использованием радиомодемов типа LongRanger 2030/900H (фирмы «Utilicom Inc.). Обеспечивают работу радиоканалов два ретранслятора, установленных на г. Синюха и на территории ГО «Боровое». Режим работы всех каналов – Point-to-Point. К роутеру Cisco 2509 подключены все 3 модема. Роутер по SLIP протоколу принимает данные от удаленных групп и через порт Ethernet данные подаются в локальную сеть центрального пункта сбора. Программа «Comserv» производит сбор данных со станций Q680, а программный комплекс «Antilope» производит сбор и обработку данных в режиме реального

времени. И далее информация по спутниковому каналу поступает в ЦСиОССИ г.Алматы.

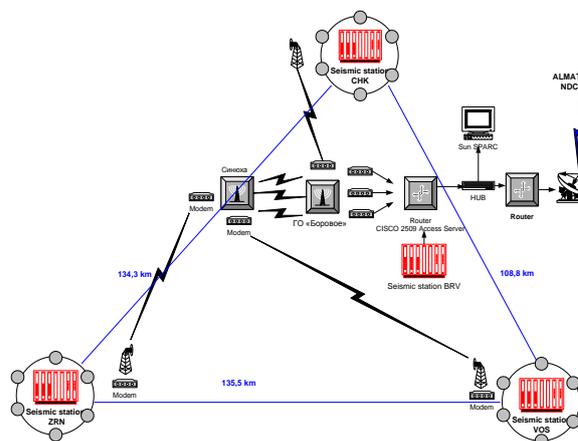


Рисунок 3. Существующая система сбора и передачи данных

К недостаткам существующей системы сбора и передачи данных следует отнести следующее: передача сигнала от сейсмометров в центральный пункт групп осуществляется по кабельным линиям связи в аналоговом виде; оцифровка данных на центральном пункте производит 12-канальной Quanterra680 с записью информации на 4-х мм. стриммерную ленту; система передачи данных от удаленных групп в

ГО «Боровое», осуществляемая посредством радиометрии, не обеспечивает достаточную надёжность и качество передаваемых данных; обслуживание ретранслятора на г.Синюха сопряжено с техническими сложностями ведения работ на вершине горы (высота порядка 1000м), особенно в зимнее время; питание радиомодемов (г. Синюха) от солнечной панели с аккумуляторной батареей в буфере и, как следствие, перебои в работе радиоканалов в холодный период года и в периоды с большим количеством пасмурных дней.

Комплекс приборных и технических сооружений. К основным сооружениям удаленных групп относятся: технические здания, приборные сооружения, шахты, антенные мачты. Техническое здание станций представляет собой проектное строительное сооружение, площадью застройки 91,4м². Наружные стены и перегородки выполнены из силикатного кирпича. Покрытие выполнено из сборных железобетонных панелей с круглыми пустотами. Существенным недостатком функциональности здания является тот факт, что системы водоснабжения, канализация и отопления технического здания сейсмических станций проектом не были предусмотрены. Здания требуют проведения внутренней и наружной отделки, ремонта кровли. Шахты конструктивно состоят из металлического ствола диаметром 3м и двух камер. В камерах установлены бетонные постаменты для размещения сейсмометров. Сооружения приборных скважин представлены заглубленными сооружениями, конструктивно представляющими собой горизонтально-размещенную металлическую цистерну (диаметром 2,4м) со сферическими днищами заводского изготовления. Внос аппаратуры и вход персонала осуществляется через горловину. Для защиты входного люка от атмосферных осадков и удобства эксплуатации данного сооружения наземная его часть закрыта металлическим павильоном размером 3×3×2 м.

При оценке технического состояния шахт и сооружений приборных скважин выявлены следующие недостатки: повсеместная коррозия металлических элементов конструкций требует проведения работ по восстановлению защитного лакокрасочного покрытия; вентиляционная система шахт не функционирует; отсутствует основное и аварийное освещение шахт; разрушение наземной гидроизоляции павильонов; сооружения приборных скважин размещены в грунте в заглубленном варианте, что обуславливает возможность затопления их паводковыми водами; 8-мь приборных скважин затоплено водой, что в свою очередь требует проведения работ по их осушения или переборке в случае необходимости.

Система безопасности. Система безопасности включает в себя защитное ограждение технических площадок и наземных сооружений шахт, сигнализацию открытия дверей наземных павильонов и люков. Защитное ограждение выполнено бетонными столбами, заглубленными в землю и натянутыми

рядами колючей проволоки. Сигнализация открытия дверей наземных павильонов представлена самодельным сигнальным устройством, оснащённым световой и звуковой системой оповещения дежурного персонала. Исполнительным элементом данного устройства является концевой выключатель, установленный в проёме дверей наземных павильонов и люках приборных сооружений. Питание сигнализации дверей наземных павильонов скважин и люка шахты осуществляется по кабельным линиям связи соответствующих сооружений.

К недостаткам существующей системы безопасности следует отнести: отсутствие защитного ограждения на элементах групп; существующее защитное ограждение технической площадки требует восстановления и реконструкции; отсутствие прямой связи оператора станции с центром сейсмической группы.

Система электроснабжения. Электроснабжение удаленных групп осуществляется от воздушной коммерческой ЛЭП-10 кВ. На территории технических площадок расположены трансформаторные подстанции ТП-10/0.4кВ. Все сооружения связаны силовыми кабельными линиями, проложенными в грунте. В качестве бесперебойного источника питания используются 4 группы аккумуляторных батарей типа 5НК-125. Резервным источником питания служит бензоагрегат типа АБ-1-0/230 «чабанская станция», мощностью 1 кВт. В целях обеспечения антикоррозионной защиты кабельных линии имеется автоматическая контрольно-осушительная установка «АКОУ», размещенная в техническом здании и предназначенная для поддержания избыточного давления в кабелях связи. Источником давления для АКОУ являлся автомобильный компрессор.

К недостаткам существующей системы электроснабжения, характеризующим техническое состояние системы как неудовлетворительное, относится следующее: вследствие длительного срока эксплуатации и высокой агрессивности грунтов характеристики кабельных линий не соответствуют электротехническим нормам, что оказывает серьёзное влияние на надёжность работы групп и качество передаваемых данных, так как по данным кабельным линиям осуществляется как питание сейсмометров, так и передача аналогового сигнала от сейсмометра в центральный пункт группы; резервные источники питания не обладают достаточной выходной мощностью и его запуск осуществляется в ручном режиме; никель- кадмиевые аккумуляторные батареи 1979-1984г. выпуска и, как следствие, имеют низкую зарядную емкость.

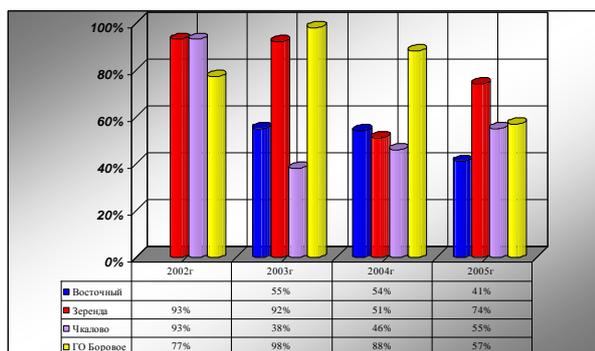
Как видно из рисунка 4 (а) годовой объем полученных данных ЦСОССИ в период с 2002 по 2005гг. снижается от 88% до 56%, а по некоторым группам составлял 38%. В 2005 году ни одной станцией не было передано данных в объеме 80%, что соответствует минимальным требованиям, предъявляемым к станции

ям международной системы мониторинга. Рисунок 4 (б) отражает картину работы радиоканальной системы передачи данных станций Восточный и Зеренда в холодный и теплый периоды 2003-2005гг. Таким образом, исходя из того, что объем данных, получаемых в реальном режиме времени, является одним из основных показателей надежности и эффективности работа сейсмической станции, вышеперечисленная информация характеризует неудовлетворительную работу сейсмической группы в целом.

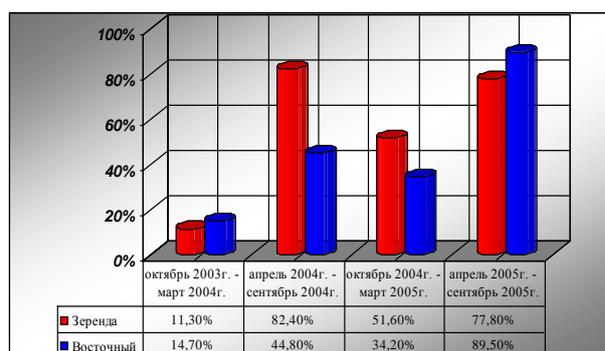
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ

Комплекс сейсмологического оборудования. В целях перехода от датчиков с узкополосными характеристиками к высочувствительным широкополосным

приборам, а также создания регистрирующего комплекса, собранного на основе качественно новых компонентов электронной и компьютерной технологии, который в значительной степени повысит надежность работы группы в целом и обеспечит мониторинг событий, как на телесеismicких, так и на региональных расстояниях, группу предлагается оснастить одно- и трехкомпонентными широкополосными сейсмометрами EP-300 и EP-300-1 соответственно (таблица 3). Цифровые регистраторы DR-4000 и DR-4000с будут принимать аналоговый сигнал от датчиков, преобразовывать его в цифровой сигнал с временной, окружающей, аутентичной информацией и передавать его во внешние коммуникации.



а – годовой объем данных, переданных в реальном режиме времени за 2002 – 2005 гг.



б – объем данных станций Зеренда, Восточный в теплый и холодный периоды года

Рисунок 4. Результативность работы большебазовой группы «Боровое»

Таблица 3. Характеристики сейсмических датчиков для замены

Характеристика датчика	EP-300	EP-300-1
Тип станции	однокомпонентный	трехкомпонентный
Частотный диапазон	0,0167-50Гц	0,0167-50Гц
Динамический диапазон	130дБ	130дБ

Система сбора и передачи данных. Учитывая значительные расстояния между группами и центром сбора, особенности рельефа местности и опыт эксплуатации радиоканальной системы передачи данных, представляется предпочтительнее создание сети передачи данных с использованием спутниковых технологий (рис.5). Для этих целей могут быть использованы PES станции скоростной передачи данных. Принцип доступа к спутниковому сегменту в этом случае – TDMA (Time Division Multiple Access – многофункциональный доступ с временным разделением). Станция PES может осуществлять передачу данных со скоростью до 64 Кбит/с от удаленной станции на центральную станцию и до 128 Кбит/с в обратном направлении. Структуру сети предлагается осуществить по принципу «звезда» - каждый с каждым. Для организации системы, помимо инсталляции непосредственно спутникового оборудования на каждой станции и в центре сбора данных, необходимо будет установить маршрутизатор Cisco 831, который будет осуществлять маршрутизацию и отвечать за сбор и передачу данных. Для

передачи данных в ЦСиОССИ г. Алматы планируется использовать существующий канал связи. Таким образом, информация с 3-х сейсмических станций системы группирования будет собираться в центре сбора данных и далее по существующему спутниковому каналу связи передаваться в ЦСОССИ.

Передачу оцифрованных сейсмических данных с элементов групп на центральный пункт (техническая площадка) предлагается осуществить, используя радиоканалы передачи данных. Радиомодем центрального пункта предлагается разместить на антенной мачте технической площадки. В центре сбора данных необходимо установить рабочую станцию SUN Ultra 20, оснащенную программным обеспечением Solaris 10 и устройствами для накопления и записи данных на DVD-диски. Полученная сейсмическая информация через коммутатор будет поступать на рабочую станцию для первичной обработки и далее во внешние коммуникации.

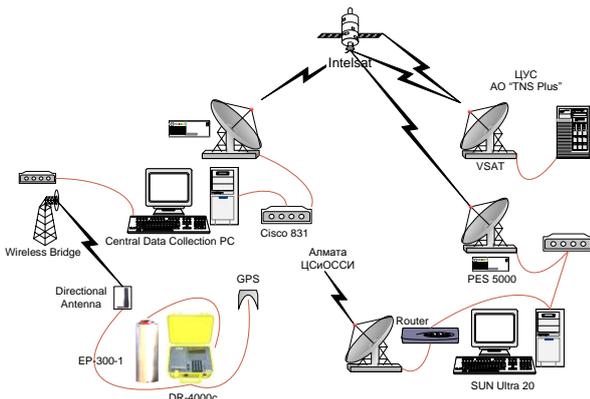


Рисунок 5. Модернизированная система сбора и передачи сейсмических данных

Комплекс приборных и технических сооружений. Модернизация системы группирования также должна включать комплекс ремонтно-восстановительных работ по реконструкции технических и приборных сооружений удаленных групп и приборного сооружения ГО «Боровое». Необходимо будет выполнить незначительную перепланировку помещений технических зданий, капитальный ремонт приборных сооружений и восстановление вспомогательных систем.

Система безопасности. Данная система требует проведения работ по устройству защитного ограждения элементов групп и реконструкции имеющегося ограждения. Сигнализация открытия дверей наземного павильона и люков приборных сооружений может быть обеспечена свободным сигнальным каналом цифрового регистратора и существующим исполнительным механизмом. Сигнал будет подаваться на компьютер центрального пункта. Необходимо предусмотреть оптимальные средства связи дежурного оператора с персоналом ГО «Боровое».

Система электроснабжения. Учитывая, что надежность работы станции в значительной степени зависит от надежности системы электроснабжения, для полноценного управления и качественной её ра-

боты необходимо провести полную модернизацию этой системы. При этом должны быть выполнены следующие требования: станция должна иметь надежный первичный источник питания; питание элементов оборудования станции, выход из строя которых по причине сбоя работы первичного источника приведет к нарушению процесса работы всей станции, должно осуществляться от бесперебойного источника питания; электроснабжение сейсмологического оборудования элементов станции и центрального пункта должно осуществляться с двухступенчатым резервированием; система электроснабжения сейсмической станции должна иметь надежную систему защиты от перенапряжений.

Система электроснабжения сейсмологического оборудования с двухступенчатым резервированием предполагает, что первая ступень необходима для резервирования по основному источнику питания 0.4 кВ. В качестве резервного источника питания предлагается использовать дизельную электростанцию К-8-1 «F.G.WILSON». Запуск дизель-генератора при исчезновении напряжения на питающей ЛЭП должен производиться автоматически, посредством контрольной системы автоматического отключения (панели АТТ) электросети. Вторая ступень необходима для резервирования питания основного оборудования сейсмической станции, выход из строя которых приведет к нарушению процесса работы всей станции. В качестве резервного источника питания для основного оборудования центрального пункта предлагается использовать устройства бесперебойного питания «UPS», устанавливаемые в техническом здании, а для оборудования элементов станции - аккумуляторные батареи, совместно с модулем SunSaver SS-10L, устанавливаемые в сооружениях приборных скважин и камерах шахты.

Схема организации электроснабжения оборудования элементов группы, учитывающая требования обеспечения надёжной его работы, представлена на рисунке 6.

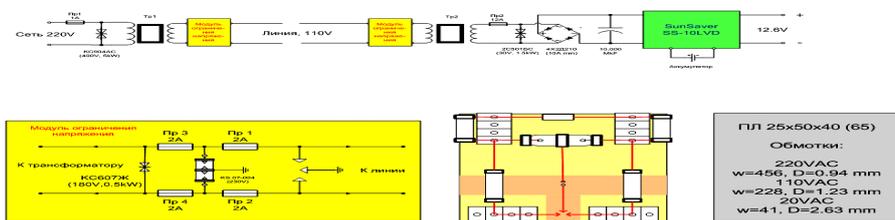


Рисунок 6. Схема организации системы электроснабжения

Конструктивно схема состоит из двух основных модулей: модуля защиты от перенапряжений и силового модуля. Модули защиты от перенапряжений устанавливаются на входах линии, их основной задачей является защита рабочих схем от высокого напряжения, включая «импульсное». Силовые узлы обеспечивают питание рабочих схем и зарядку бу-

ферного аккумулятора. Входное напряжение подается на изолирующие трансформаторы специальной конструкции. В состав схемы также входит стандартный модуль заряда-регулировки напряжения на аккумуляторе/нагрузке SunSaver SS-10L. Основной задачей модуля является организация совместной работы аккумулятора с первичным источником пи-

тания, а также регулировка выходного тока и напряжения в зависимости от типа используемых аккумуляторов. При использовании данной схемы обеспечивается: питание узлов в которых хранится информация, гальваническая развязка модулей, быстрое восстановление системы пассивной защиты путём замены сгоревших предохранителей, защита кабельных входов от перенапряжений, выравнивание потенциалов точек заземления. Силовые кабельные линии предлагается выполнить бронированным кабелем, марки КВВб 5х4.

Учитывая высокую грозовую активность в районе расположения системы группирования, сейсмологическое оборудование необходимо защитить от ударов молнии и обеспечить устранение паразитных контуров с заземлением через землю. Для этого необходимо: предусмотреть заземление нулевой линии трансформатора; для силовых кабельных линий предусмотреть заземление брони и проложить грозозащитный трос в одной траншее с кабелем; для сооружений приборных скважин предусмотреть дополнительные заземляющие устройства, для воздушной высоковольтной линии использовать разрядники РЛНД-10, установленные с каждой стороны линии; для технического здания необходимо разделить контуры заземления на «защитное» и «рабочее».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модернизированная сейсмическая группа, расположенная в уникальных геологических условиях,

обеспечивающих высокую чувствительность регистрации сейсмических событий, позволит:

- повысить действенность системы мониторинга в целом и проводить эффективный мониторинг сейсмичности столичного региона;
- получать данные в интересах мирового сообщества по контролю выполнения Договора о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний;
- получать данные более однородные по точности и энергетической представительности для территории Казахстана;
- повысить чувствительность регистрации сейсмических событий (магнитуда 2-2,5, вместо 4-4,5);
- получать данные, которые могут быть использованы для создания новой карты сейсмического районирования Казахстана, входящей в Строительные Нормы и Правила РК;
- проведение мониторинга промышленных взрывов и техногенной сейсмичности в районах активной добычи полезных ископаемых (Центральный Казахстан, Восточный Казахстан, Северный Казахстан);
- проводить научно-исследовательские работы по различным темам (разработка методик и аппаратуры для измерения характеристик нелинейности сейсмических приборов, собственного шума измерительных каналов и др.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин, В.В. Некоторые особенности сейсмических волновых полей, наблюдаемые на территории Кокшетауского антиклинория / В.В. Адушкин, В.А. Ан. – М. : ИДГ РАН, 1995. – 32 с.
2. Адушкин, В.В. Сейсмические наблюдения и контроль за подземными ядерными взрывами на геофизической обсерватории Боровое / В.В. Адушкин, В.А. Ан // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. – 1990. - № 12. – С. 47-59.
3. Адушкин, В.В. Опыт применения малобазовых сейсмических групп для регистрации подземных ядерных взрывов и землетрясений/Динамические процессы во внутренних и внешних оболочках Земли/ Геофизика сильных возмущений / В.В. Адушкин, В.А. Ан, В.К. Лапмей. – М. : ИДГ РАН, 1995. – 288 с.
4. Васильев, А.П. Рожденная атомным веком / А.П. Васильев – М. : ССК, 2002. – ч. 1,3

«БУРАБАЙ» ҮЛКЕНБАЗАЛЫҚ ТОПТАСТЫРУ ЖҮЙЕСІН ЖЕТІЛДІРУІН НЕГІЗДЕУІ

Локштанов С.С., Комаров И.И.

ҚР ҰҰО Геофизикалық зерттеулер институты, Қурчатов, Қазақстан

Қазіргі уақытта Мемлекет басшысының тапсырмасы бойынша 2007-2015 ж.ж. төтенше жағдайлардың алдын алу және жою мемлекеттік бағдарламасы жөнінде жұмыс өткізілуде. Осы бағдарламасы жұмыстарының тізбесіне «...сейсмологиялық бақылау және жерсілкінулерін болжау республикалық жүйесін жетілдіруін, техникалық дамытуын, программалық-математикалық және ақпаратты қолдауын қамтамасыз етуі» кіреді. ҚР ҰҰО-да даярланып ұсыныстар берілген, олардың біреу болып табылатыны - кеңес уақытында құрылған бірегей Бурабай сейсмикалық тобын жетілдіру. Осы жұмыс, «Бурабай» сейсмикалық тобын жетілдіруіне Жобасын дайындау бойынша жұмыстарымен байланысты және оны жетілдіру қажеттілігін негіздеу мәселелеріне арналған.

JUSTIFICATION OF LARGE-APERTURE “BOROVOYE” ARRAY

S. Lokshtanov, I. Komarov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Currently on demand of the Chief of the State, activities based on the State Project on prediction and liquidation of emergency situations for the period 2007-2015 are being carried out. These activities include “upgrade procedure, technical development, software and information support of the Republican seismologic observation system and earthquake prediction”. One of the Proposals from NNC RK, which have been prepared and given, was upgrade of a unique seismic array Borovoye, built at Soviet times. This work is related to the realized activity on Project preparation for “Borovoye” upgrade and designed for justification issues for its upgrade necessity.

СПИСОК АВТОРОВ

- Абишев Т.Б., 40
Акаев А.С., 70
Аксенова Т.И., 5
Алейников Ю.В., 21
Аргынов А.Б., 15
Баранов С.А., 33
Барсукова С.А., 27
Березин С.А., 33
Букенов К.Д., 5
Генова С.В., 125
Горбаненко О.А., 117
Горлачев И.Д., 40
Гусев М.Н., 52
Дроздов А.В., 86
Жотабаев Ж.Р., 5
Жубаев А.К., 15
Зверев В.В., 70
Инков А.Ф., 76
Кадыржанов К.К., 15
Казаков Е.Н., 62
Квочкина Т.Н., 40
Кимолаев Ж.Б., 21
Клименко А.С., 108, 117
Князев Б.Б., 40
Колокольцов М.В., 95
Комаров И.И., 131
Коровиков А.Г., 57
Котляр Е.В., 57
Котов В.М., 103
Котов С.В., 103
Красовицкий П.М., 11
Кривцов П.Ю., 108, 117
Ларионова Н.В., 27
Локштанов С.С., 131
Лукашенко С.Н., 40
Максимкин О.П., 47, 52
Морговская М.К., 62
Мульгин С.И., 40
Мунасбаева К.К., 5
Неделков А.И., 62
Нугуманов Д.К., 70
Осипов И.С., 52
Пеньков Ф.М., 11
Поломошнова Л.В., 57
Попов Ю.А., 21
Прозорова И.В., 21
Русаков В.С., 15
Русакова А.В., 47
Садвакасов М.О., 33
Соколова И.Н., 62
Стрильчук Ю.Г., 27
Султанова Б.М., 27
Султанова Г.С., 62
Фролов З.Н., 86
Хромушин И.В., 5
Цай Е.Е., 76
Цай К.В., 47
Черемнов Д.Н., 76
Чернядьев В.В., 57
Шаповалов Г.В., 95
Шипилов П.В., 95
Ястребков Д.И., 76
Ястребкова Н.В., 27

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в виде электронной (на гибком диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

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 подписанных 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.

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, города и страны местонахождения организации, 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, *.psx, *.dxf 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. М.К. Мукушева
тел. (095) 745-54-04, (322-51) 2-33-35, E-mail: MUKUSHEVA@NNC.KZ

Технический редактор А.Г. Кислухин
тел. (322-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 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. Ленина, 6.

