

## К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ГАРАНТИЙ СОХРАННОСТИ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

**А. В. Анисин, А. А. Анищенко, И. А. Давыдов, П. В. Ермаков, С. С. Жихарев, К. В. Задорожный, К. В. Иванов, Н. М. Микийчук, Е. Е. Санталова, А. И. Сайфуллин**

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 607188, г. Саров Нижегородской обл.

Представлены обобщенная физическая и компьютерная модель, описывающая основные черты типового предприятия по переработке ядерных материалов. В качестве примера модели процесса переработки выбран так называемый PUREX-процесс. Представлены методики по измерениям количества ядерных материалов на типовом предприятии. Создана гибкая, расширяемая компьютерная модель, не требующая больших усилий для настройки на особенности конкретных предприятий. Реализованы дополнительные меры по защите и сохранности обрабатываемой информации в компьютерной модели предприятия. Разработан план тестирования созданной модели и проведено тестирование на макетных данных.

*Ключевые слова:* переработка ядерных материалов, учет ядерных материалов, компьютерная модель переработки ядерных материалов на предприятии.

Одной из важнейших практических задач ядерных государств является обеспечение надежных гарантий ядерных материалов (ЯМ) при переработке ядерного топлива. Это гарантии сохранности ядерных материалов в процессе технологии переработки ЯМ, постоянный мониторинг процесса, проведение отбора образцов из окружающей среды, реализация дополнительных мер, таких как политика сдерживания, надзор и выполнение требований системы Государственного учета и контроля ЯМ, изложенных в федеральных и отраслевых нормативных документах.

Гарантии должны обеспечиваться системой Государственного учета, контроля и физической защиты ЯМ, в рамках которых должны быть обеспечены:

- оперативное (в большинстве моментов незамедлительное) предоставление ядерной установкой объективной и полной информации по ядерным материалам в процессе их переработки;
- мониторинг процесса переработки;
- автоматизация процесса учета ядерных материалов в ключевых точках ядерной установки и уменьшение влияния человеческого фактора при этом;

- аппаратный контроль выхода ядерных материалов за пределы ядерной установки;
- мониторинг окружающей среды;
- постоянные усилия по совершенствованию физической защиты ядерной установки;
- постоянная работа с персоналом ядерной установки в целях повышения гарантий сохранности ЯМ.

Одно из генеральных направлений повышения гарантий сохранности – компьютеризация ЯМ в процессе их обращения и переработки.

Представленный выше комплекс вопросов является общим для всех предприятий, имеющих в своем обращении ЯМ. В данной статье рассматривается в качестве конкретного примера предприятие по переработке ядерного топлива – типичная перерабатывающая установка, работа которой базируется на применяемом на многих действующих предприятиях PUREX процессе. Нет принципиальных отличий в подходе при рассмотрении других методов разделения, таких как COEX, UREX или сухой, при рассмотрении других типов предприятий ядерно-топливного цикла.

Компьютеризация учета ЯМ в процессе их обращения требует с неизбежностью построения

компьютерной модели технологии переработки ядерного топлива, сопряженной с моделью учета ЯМ. Соответственно необходимы математическое описание основных процессов переработки, введение в программный комплекс характеристик и результатов конкретных измерений в ключевых точках измерений, обеспечение максимально точного и оперативного учета количества и изотопного состава ЯМ в целом на установке и в составных ее частях. Поскольку комплекс строится на сочетании учета потока массы и модели неопределенности измерений для типового перерабатывающего завода, предусматривается выявление аномалии в учете ЯМ. При этом программный комплекс должен обеспечить защиту и целостность обрабатываемой информации по обращению ЯМ. Естественно, модель должна быть гибкой, расширяемой и не требующей больших усилий для настройки на особенности конкретных предприятий.

При создании комплекса были учтены разработки по программному обеспечению, включающему датчики неразрушающего анализа в автоматизированных системах, по анализу работоспособности системы сбора информации в автоматизированных системах учета и контроля (СУиК), по обеспечению защиты информации.

### Краткое описание и математическая модель PUREX-процесса

Кратко опишем основные операции PUREX-процесса.<sup>1</sup> Облученные топливные блоки растворяются в азотной кислоте. Полученный раствор содержит в основном растворимые нитраты урана-238 с малыми количествами нитратов урана-235, плутония и продуктов деления. Разделение урана, плутония и продуктов деления в PUREX-процессе осуществляется путем селективной экстракции определенного вида ионов органическим (30 % раствор трибутилфосфата в керосине) и водным растворителем. Для этого исходный раствор пропускают через ряд экстракционных колонн в которых производится отделение компонентов друг от друга (рис. 1).

У первого цикла экстракции две функции: отделение смеси Pu и U от продуктов деления и химических примесей и разделение Pu и U в индивидуальные потоки для дальнейшей обработки. Пер-

вый цикл состоит из экстракционных колонн 1А, 1В, 1С и дополнительного технологического оборудования (отстойники, сборники, приемники).

Плутоний, который был отделен от урана в первом цикле, в дальнейшем отделяется от остальных примесей и концентрируется во втором цикле селективной экстракции плутония. Этот цикл состоит из экстракционных колонн 2А, 2В, далее раствор передается для получения диоксида плутония.

Уран, из первого цикла экстракции передается на второй цикл селективной экстракции, где очищается от примесей в экстракционных колоннах 1D и 1E, и передается для получения UO<sub>2</sub>.

Математическая балансовая модель жидкостной экстракции, протекающей в экстракционных колоннах (см. рис. 1) 1А, 1В, 2А, 2В, 1С, 1D, 1E, в виде уравнений материального баланса для процессов жидкостной экстракции описана в работе [1]. Мы воспользовались уравнениями [1] применительно к процессу PUREX. Для простоты принято, что экстракция протекает не в потоковом, а в циклическом режиме, когда равновесные концентрации устанавливаются в некоторой гипотетической колонне при подаче в нее полных объемов исходного раствора, экстрагента, промывочной жидкости и др.

Для унификации введем одинаковое количество «потоков» реагентов для каждой колонны, равное 10. В понятие «поток» включены перемещаемые в установке объемы органической и водной фазы, а также объемы материала, которые невозможно изъять из колонн без остановки технологического процесса (так называемые закладки в оборудование). Используем индекс  $i = 0 \div 9$  для нумерации этих потоков в каждой из 7 колонн. При этом индексами  $i = 0 \div 4$  обозначим потоки органической фазы, индексами  $i = 5 \div 9$  – потоки водной фазы. Для всех колонн будем обозначать индексом  $i = 0$  выходящий из колонны поток органической фазы, индексом  $i = 9$  – выходящий поток водной фазы. Тогда в некий произвольный момент времени (в момент измерений) суммарная масса контролируемого материала (например, плутония) в каждой  $k$ -й колонне определяется как сумма контрольного материала во входящих «потоках» и закладках:

$$m_k^{\Sigma} = \sum_{i=1}^8 V_{i,k} \cdot C_{i,k},$$

где  $V_{i,k}$  – объем  $i$ -го потока,  $C_{i,k}$  – концентрация контролируемого материала в  $i$ -м потоке.

<sup>1</sup> При подготовке описания PUREX-процесса использованы материалы с <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/5220059-59qE14/5220059.pdf>

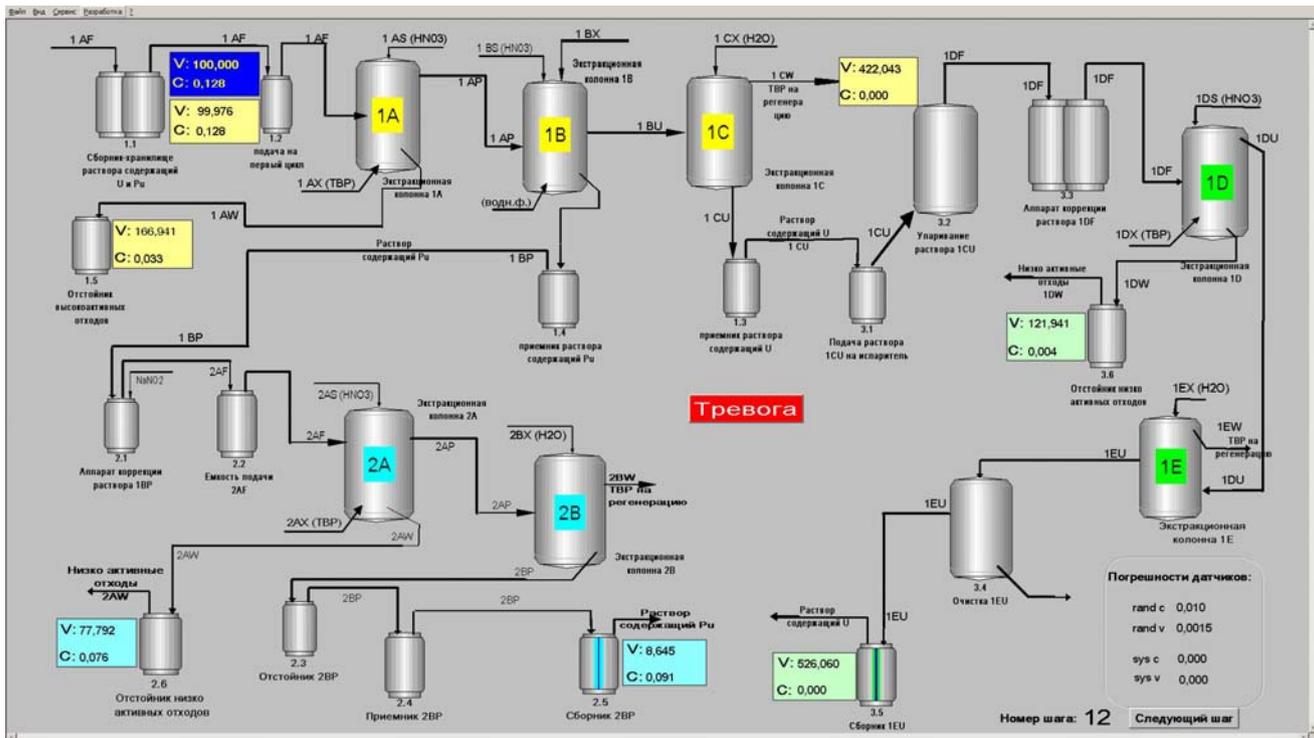


Рис. 1. Общая схема PUREX-процесса

Концентрация контролируемого материала в выходящем из  $k$ -й колонны потоке органической фазы определяется как

$$C_{0,k} = \frac{m_k^\Sigma}{\sum_{i=1}^4 V_{i,k} + K_k \sum_{i=5}^8 V_{i,k}}$$

Концентрация контролируемого материала в выходящем из  $k$ -й колонны в потоке водной фазы определяется соответственно как

$$C_{9,k} = \frac{K_k m_k^\Sigma}{\sum_{i=1}^4 V_{i,k} + K_k \sum_{i=5}^8 V_{i,k}}$$

В представленных соотношениях коэффициент  $K_k$  – есть коэффициент экстракции, определяемый как отношение средней концентрации компонента в водной фазе к средней концентрации компонента в органической фазе

$$K_k = \frac{[в.ф.]}{[орг.ф.]}$$

Коэффициент экстракции есть сложная функция от геометрии колонны, конструкции распылителя, скоростей потока, температуры растворов и дру-

гих параметров. При использовании предлагаемой модели на конкретном предприятии необходимо получить и использовать в расчетах эмпирические значения и зависимости для коэффициентов экстракции в каждой из колонн. В наших расчетах иллюстративно использованы значения коэффициентов экстракции для каждой из экстракционных колонн, полученные в лабораторных измерениях и приведенные в работе [2].

Данная модель получает распределение одного компонента по всем объемам и потокам моделируемой установки. Для получения распределения всех делящихся и радиоактивных веществ в установке необходимо провести несколько расчетов со своими значениями исходных концентраций и коэффициентов экстракции.

### Программное обеспечение созданной компьютерной модели

Для создания компьютерной модели технологии переработки ядерного топлива и программного обеспечения (ПО) учета и контроля ядерных материалов нами были использованы следующие программные средства:

- MS Visual Studio 2008, язык программирования C++, применяемый для создания и редактирования программного кода;

• SCADA – система GENESIS32 Version 9.01 GraphWorX32 Container для создания необходимых мнемосхем предприятия, отображающих процесс PUREX;

• OPCSimulator фирмы ICONICS, применяемый в качестве OPC-сервера для связи с датчиками;

• ядро системы учета и контроля ядерных материалов ACCORD-2005 [3].

Одним из принятых технических решений по использованию улучшенной технологии СУиК является использование приложения SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) и технологии OPC. SCADA является одним из основных компонентов любой АСУТП, способным поставлять технологическую информацию. Технология OPC позволяет обеспечить единый механизм доступа к первичным датчикам и исполнительным механизмам с верхнего программного уровня SCADA-системы. SCADA-система GENESIS-32 (Iconics) полностью поддерживает OPC протокол. Таким образом, Genesis-32 — наиболее удачная для реализации верхнего программного уровня современной SCADA-системы платформа.

В своей работе для создания мнемосхемы перерабатывающего предприятия и визуализации процессов нами был использован компонент Genesis-a GraphWorX32. Это многопоточное 32-разрядное приложение, обеспечивающее возможность обмена данными с любыми серверами OPC, предоставляющее инструменты для создания экранов форм и динамических элементов отображения, и другие преимущества.

СУиК ЯМ ACCORD-2005 создана на основе трехуровневой архитектуры. Первый уровень – база данных, обеспечивающая хранение информации, средний уровень отвечает за логику выполнения операций и последний – уровень пользовательского интерфейса. Программное обеспечение первых двух уровней выполняется на серверах, а рабочие станции имеют только программное обеспечение, реализующее интерфейс пользователя. Такое деление на уровни обеспечивает лучшую производительность и масштабируемость программного обеспечения, облегчает его сопровождение и поддержку.

В качестве базовой технологии, обеспечивающей взаимодействие компонентов системы, была использована технология DCOM компании Microsoft. Эта технология обладает многими достоинствами:

- объектной ориентированностью;
- тесной интеграцией с операционной системой;
- масштабируемостью;
- легкой настраиваемостью и др.

Ядро ACCORD-2005 представляет собой распределенный программный комплекс, состоящий из следующих компонентов:

- базы данных, работающей под управлением СУБД MS SQL Server 2000;
- сервера бизнес-логики;
- клиентских приложений с графическим интерфейсом пользователя.

На рис. 2 представлена схема взаимодействия компонентов СУиК ACCORD-2005.

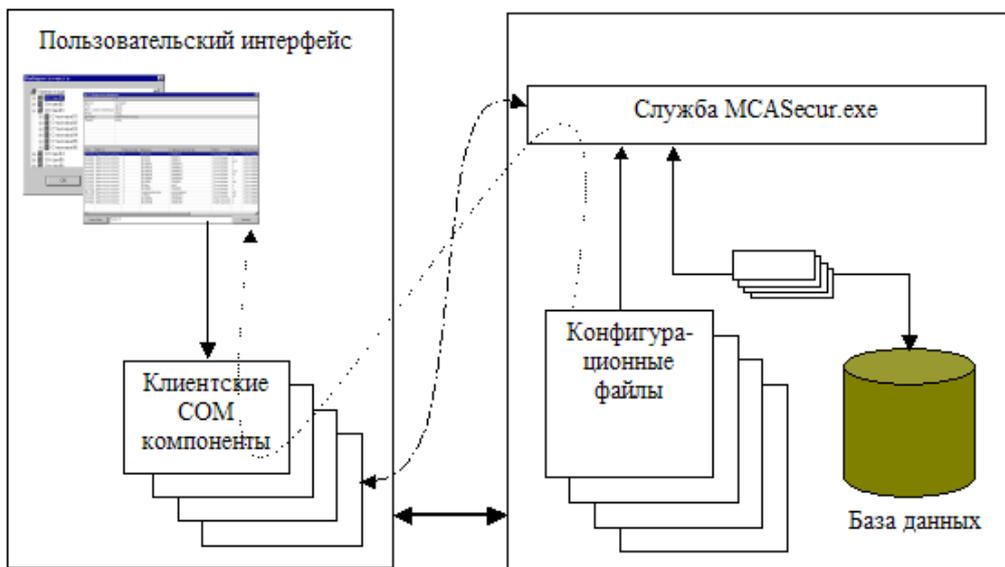


Рис. 2. Схема взаимодействия компонентов СУиК ACCORD-2005

Вся работа с базой данных осуществляется на сервере. Клиентское приложение, установленное на АРМ пользователя, прямого доступа к базе данных не имеет. Доступ к информации в БД производится службой `mcassecug.exe`. Информация, извлеченная из БД, форматируется сервером бизнес-логики в соответствии с описаниями объектов учета, которые хранятся на сервере в виде набора конфигурационных файлов. Та же служба `mcassecug.exe` предоставляет по запросам клиентов информацию о доступных пользователям операциях и о параметрах, необходимых для выполнения каждой операции. Эта информация также хранится на сервере в виде конфигурационных файлов. Компоненты пользовательского интерфейса могут наглядно представить информацию об операции пользователю, принять от него данные и инициировать выполнение операции. Фильтры предназначены для извлечения информации из БД по некоторому набору условий.

Специфика фильтров состоит в том, что иногда результатом работы фильтра является весьма большой объем выходной информации. Поэтому требуется особое внимание при решении вопросов эффективной передачи этой информации по сети. Описания фильтров и условий, по которым производится отбор для каждого фильтра, тоже хранятся на сервере в виде конфигурационных файлов и предоставляются по запросам клиентов все той же службой `mcassecug.exe`. Хранение информации о всевозможных объектах системы в простых текстовых файлах позволяет легко вносить существенные изменения в работу системы путем простого их редактирования.

В процессе разработки ПО:

- спроектирована структурная схема подсистемы учета и контроля ЯМ;
- запрограммирована математическая модель техпроцесса PUREX;
- запрограммированы модели датчиков;
- создан визуализатор процесса PUREX (на базе Genesis-32);
- разработаны блоки формирования входных данных и сравнения измеряемых параметров;
- разработан протокол инициализации сетевого обмена и модуль интеграции компонентов подсистемы;
- разработан ряд новых операций, повышающих функциональность СУиК ACCORD-2005.

Посредством языка программирования Python были написаны операции: «Постановка контейнеров на учет», «Редактирование контейнера», «Перемещение контейнера», «Создание материала в контейнерах», «Создание материала на месте» и другие для связи СУиК ACCORD-2005 с математической моделью перерабатывающего предприятия.

Добавленная в СУиК ЯМ ACCORD-2005 операция «Создание материала на месте» создает соответствующий материал и вызывает программный модуль, формирующий все необходимые входные данные для модели PUREX. Этот программный модуль получает из разных источников информацию о материалах, содержащих ЯМ, и о материалах, не содержащих ЯМ. Данные о загружаемых материалах, содержащих ЯМ, передаются из системы ACCORD через параметры запуска программного модуля.

Данные о материалах, не содержащих ЯМ, считываются из файла. Формирователь данных отправляет полученные данные по технологии DCOM в соответствующие тэги (`array_fact` и `array_contr`) OPC-сервера, который расположен на другом компьютере. На диаграмме блоки данных OPC-сервера представлены серыми цилиндрами. Физически они расположены на одном компьютере.

Исполняемый модуль `SENSOR.exe` моделирует данные, приходящие с датчиков на реальном производстве. `SENSOR.EXE` запускается по сигналу от формы, визуализирующей технологический процесс PUREX предприятия. Из этого модуля выходят две группы данных: истинные значения параметров PUREX, которые необходимы для расчета следующего шага, и соответствующие значения параметров с наложенными на них погрешностями датчиков, которые передаются в соответствующий блок данных OPC-сервера.

После этого через триггер синхронизации автоматически запускается программный модуль `MODEL.EXE`. Имея полное представление о текущем состоянии установки в текущий момент, он сравнивает параметры установки с соответствующими измерениями датчиков. Для параметров установки, вышедших за пределы установленных порогов, формируются сигналы (указатели) «тревоги». Пороги срабатывания `MODEL.EXE` получает из конфигурационных файлов. Диаграмма компонентов разработанной системы представлена на рис. 3.

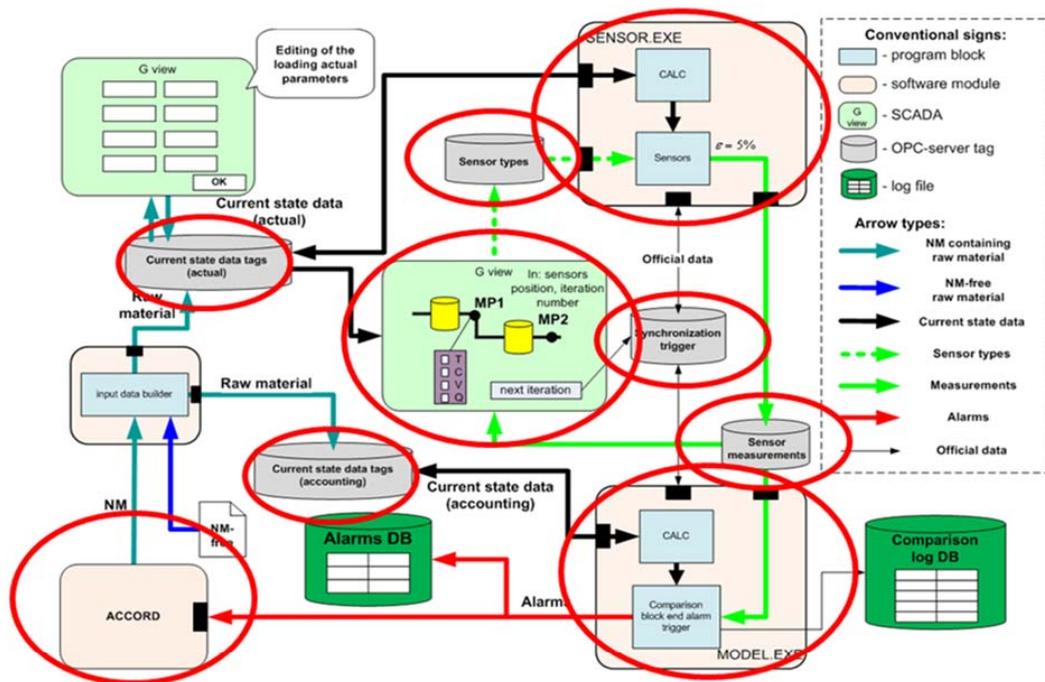


Рис. 3. Диаграмма компонентов разработанной системы

### Методы и средства измерения, рекомендованные в результате экспертных оценок

В результате проведенного экспертами ОАО «СХК» и ФГУП ПО «МАЯК» анализа имеющихся отечественных средств и методов измерений, для применения в разработанной компьютерной модели были предложены следующие:

- для измерения концентрации U и PU в растворах (гамма-абсорбциометрические, спектрофотометрические, кулонометрические, гравиметрические, рентгенофлуоресцентные, потенциометрические);
  - для измерения объемов растворов в емкостях (сигнализаторы уровня, датчики-реле уровня, ультразвуковые и радиоволновые датчики уровня);
  - для измерения температуры растворов (термопреобразователи различных типов);
  - для измерения накоплений (спектрометрические приборы и комплексы, радиационные мониторы);
- для контроля содержания ЯМ в сбросных растворах (ICP-масс-спектрометрия).

### Разработка программного обеспечения, предназначенного для обеспечения безопасности информации

Поскольку информация, циркулирующая в системах учета и контроля ЯМ и связанных с ними

системах, как правило, является конфиденциальной, вопросы безопасности информации имеют существенное значение. Созданная модель представляет собой распределенную систему взаимосвязанных программных приложений. Защищены от несанкционированного доступа хранимые в базах данных (БД) и циркулирующие между приложениями данные. Рассматривались три основных аспекта защиты ([3]):

- идентификация и аутентификация пользователя при входе в систему;
- разграничение прав доступа субъектов к данным;
- аудит событий доступа.

Были разработаны требования по защите данных в модели, приняты основные архитектурные решения, выбраны методы их реализации. Разработано соответствующее ПО, завершена разработка подсистемы обеспечения целостности файлов и ключей реестра, входящих в состав системы. Проведены комплексная отладка и тестирование разработанных средств.

Встраиваемая в модель подсистема управления доступом осуществляет распознавание субъектов доступа и подтверждение их подлинности при входе в систему и всех обращениях к защищаемым объектам учета, а также выполняет разграничение доступа в соответствии с заданными правилами. Для проверки подлинности субъекта используется протокол Kerberos. Вместо динамической библиотеки Windows gina.dll разработана

своя динамическая библиотека, которая запрашивает у пользователя пароль на этапе начального входа в систему и запускает на исполнение одно из приложений модели. В модели предусматривается дискреционная защита, реализуемая с помощью масок доступа. Каждый пользователь может быть включен в одну или несколько групп. Доступ пользователя к объекту разрешен, если хотя бы одна группа, к которой принадлежит пользователь, содержится в списке групп, допущенных к данному объекту. Доступ пользователя к объекту запрещен, если ни одна из групп, к которой принадлежит пользователь, не содержится в списке групп, допущенных к данному объекту. Разрабатываемая в рамках модели подсистема регистрации и учета предназначена для выполнения:

- регистрации и учета изменений, защищаемых объектов;
- аудита событий безопасности.

Все транзакции, изменяющие защищаемые объекты, записываются в специальную таблицу БД. Каждая такая запись содержит информацию о субъекте, компьютере и времени изменения. Сохраняется вся история изменений защищаемых объектов и при этом состояние БД может быть восстановлено на любой момент времени.

При проверке прав субъектов на доступ к объектам (таблицам БД, полям, записям) используются как дискреционный, так и мандатный методы доступа.

Осуществляется контроль доступа субъектов к объектам БД (файлам, таблицам, индексам, записям, полям записей, схемам, процедурам и т. п.) в соответствии с матрицей доступа по операциям выборки, модификации, вставки, удаления и т. п. Осуществляется также мандатный принцип управления доступом, при котором каждому субъекту и объекту устанавливается двойной атрибут. Первая часть атрибута – степень конфиденциальности, вторая – тематическая категория.

Доступ к объектам, имеющим дискреционную и мандатную защиту, должен быть санкционирован ими обеими. Доступ к объекту по чтению разрешен в том случае, если разрешен доступ дискреционной защитой и разрешен доступ по чтению мандатной защитой; доступ к объекту по записи разрешен в том случае, если разрешен доступ дискреционной защитой и разрешен доступ по записи мандатной защитой.

В отчетный период разработан специальный сервис (служба Windows), входящий в состав разрабатываемого ПО, который обеспечивает доступ

к информации в БД (расположенной на отдельном сервере БД) с соблюдением вышеперечисленных правил разграничения доступа.

Разработано ПО, обеспечивающее аудит (регистрацию событий по доступу субъектов к объектам системы). Степень конфиденциальности информации и наличие пользователей с разными правами требуют регистрировать следующие события:

- вход пользователей в операционную систему и выход из нее, а также события загрузки операционной системы и ее программного останова. В параметрах регистрации содержатся: время и дата события; результат попытки входа/останова;
- успешная или неуспешная, несанкционированная; предъявленный идентификатор пользователя;
- вход(выход) пользователя в(из) программное приложение, а также загрузка и останов программного приложения;
- запуск(завершение) всех программ и процессов;

– доступ пользователей к объектам базы данных (СУБД, таблицам, индексам, записям и т. п.).

Ядром разработанной подсистемы контроля целостности является *программа контроля целостности*. Она «запоминает» текущее состояние выбранных файлов, значений ключей реестра и проверяет их целостность. Результаты проверок записываются в системный журнал аудита.

После комплексной отладки и тестирования средств безопасности информации была составлена программа и методика их испытаний по защите информации в системе.

Испытания включали проверки по следующим пунктам:

- транспортная инфраструктура;
- подсистема регистрации сообщений;
- физическая и логическая целостность БД;
- подсистема идентификации и аутентификации пользователей;
- целостность системы;
- компоненты управления доступом;
- подсистема разграничения доступа.

В соответствии с этим, тесты были разбиты на группы, которые можно выполнять независимо друг от друга. Тестирование выполнялось на макете сети СУиК после установки на компьютеры этой сети базового и прикладного ПО системы. Для тестирования использовалась база данных, содержащая тестовые данные. Результаты испытаний оказались успешными.

## Заключительный этап исследований

Заключительный этап исследований предусматривал, после заполнения исходной информации и отладки системы, проведение расчетов при работе установки в штатном режиме. Необходимо было убедиться, что созданный интерфейс создает удобные условия исследования технологического цикла функционирования установки, обеспечивает прозрачный режим мониторинга работы установки и ее составных частей, обеспечивает сквозной процесс учета и контроля перерабатываемых в установке ЯМ – все это, при необходимости, в режиме реального времени. Для удобства исследований, как говорилось ранее, был выбран циклический режим работы установки. Данный этап был успешно пройден. Зафиксирована ожидаемая производительность переработки ЯМ и ожидаемая погрешность нарабатываемых масс  $Pu$  и  $U$ , в рамках допустимого интервала, определенного установленной дисперсией измеряемых датчиками величин.

Следующий этап исследований – расчет сценариев утраты (хищения) ЯМ из различных потоков системы. Моделировались примеры хищения из емкостей накопителей растворов в промежуточных емкостях, когда предполагается срабатывание двух и более датчиков. Рассмотрены два вида хищений: 1) хищение с разбавлением раствора до исходного объема (хищение концентрации); 2) хищение объема без последующего разбавления (хищение объема). Рассматривались варианты хищений на разных циклах переработки, разовые хищения и непрерывные в малых количествах,

при нулевой и ненулевой дисперсиях показаний датчиков.

Исходные данные по объемам и начальным концентрациям в потоках растворов подготовлены на основании информации, представленной в работе [4].

По умолчанию моделируется наличие датчиков объема и концентрации на каждом из рассчитываемых потоков. При расчетах балансов использовались только показания датчиков, установленных на входных и выходных потоках (для каждого сегмента и в целом).

В качестве иллюстрации приведены диаграммы баланса  $Pu$  в процессе его наработки (на каждом цикле система обрабатывает растворы, содержащие 12,8 г  $Pu$ )

При расчете предыдущего сценария с указанными значениями дисперсии при пороге срабатывания тревоги  $3\sigma$  тревожный сигнал система выдала при хищении 15 % концентрации ДМ из потока 1ВР. Что дает более чувствительный вариант системы регистрации? Используем для контроля концентрации гамма-абсорбциометр многоканальный ГАМ-2 с погрешностью измерений 1 %, для контроля объемов используем радарный уровень (радиоволновый) РДУ1 с погрешностью измерений 0,15 %. На рис. 5 представлен результат расчета балансов в сценарии однократного хищения 7 % концентрации ДМ на 10-м цикле из потока 1ВР.

Тревожный сигнал «Тревога» при пороге срабатывания тревоги  $3\sigma$  был выдан на шаге 11 и 12, что нашло также отражение на схеме установки (рис. 6).

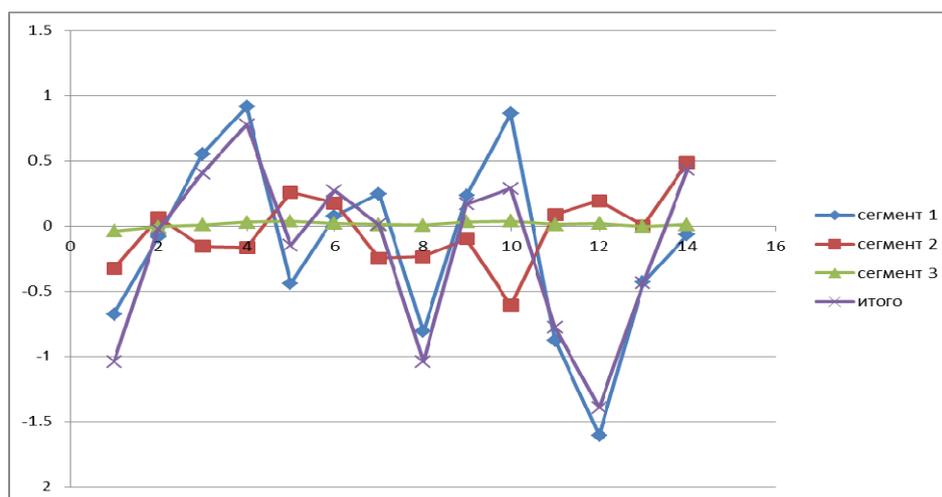


Рис. 4. Баланс массы  $Pu$  (граммы) по сегментам процесса при дисперсии датчиков, равной 5 % по концентрации и 2 % по объему, при хищении 10 % концентрации  $Pu$  на 10-м цикле и 15 % концентрации  $Pu$  на 11-м цикле

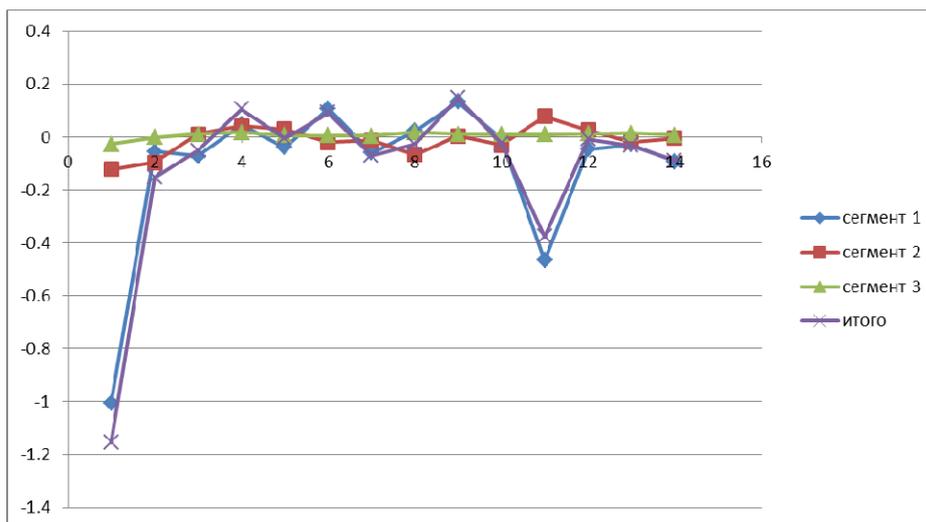


Рис. 5. Баланс ДМ (граммы) по сегментам процесса при дисперсии датчиков, равной 1 % по концентрации и 0,15 % по объему, при хищении 7 % концентрации Pu на 10-м цикле

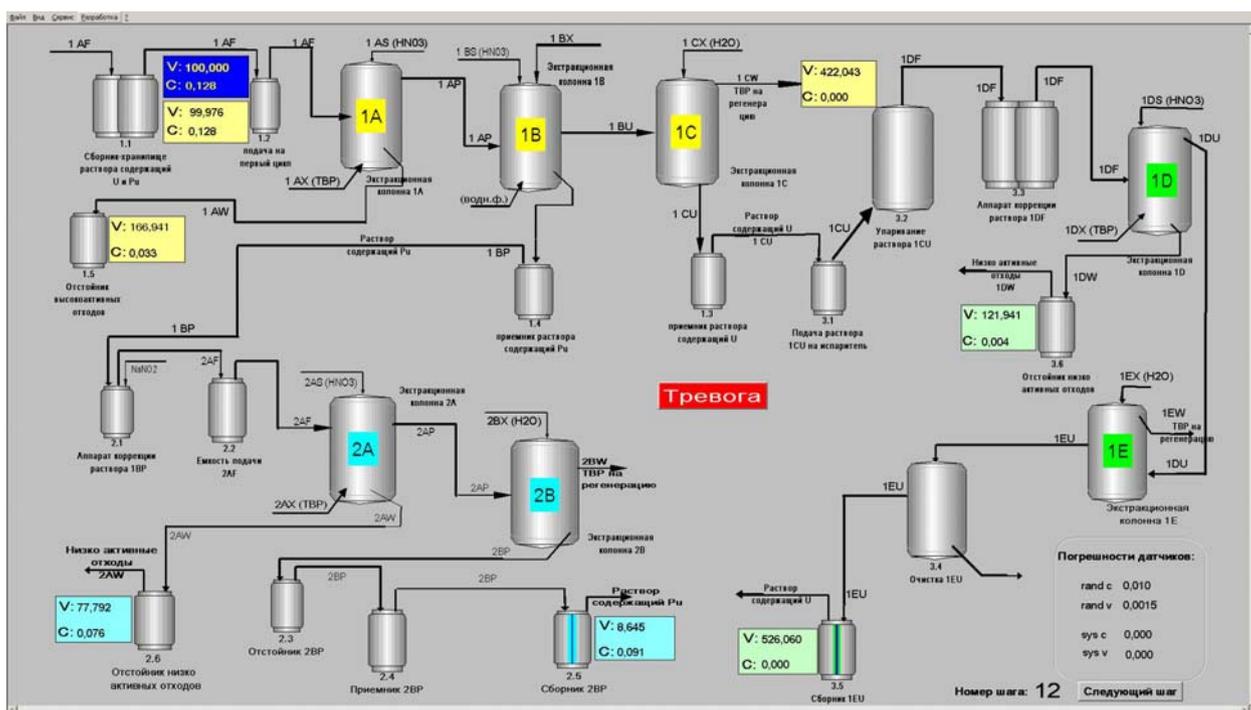


Рис. 6. Срабатывание сигнала тревоги в сценарии хищения 7 % концентрации ДМ из потока 1BP

Из сравнения проведенных расчетов видно, что использование более чувствительных датчиков измерения концентрации и объема раствора позволило обнаруживать хищения порядка 400 мг ДМ за один цикл работы установки.

Представленная компьютерная модель, помимо численных исследований моделей аварийных ситуаций, позволяет в цифрах определить влияние точности измерений датчиков на конечную погрешность инвентаризационной разницы и ее среднеквадратичную (стандартную) погрешность

конкретного вида ЯМ за межбалансовый период. Можно также исследовать, в свою очередь, каким должен быть этот период, чтобы погрешность инвентаризационной разницы не выходила за разрешенные пределы.

### Заключение

Разработана компьютерная модель предприятия, перерабатывающего ядерное топливо. Модель описывает основные элементы технологии

переработки ядерного топлива и как составную часть содержит модель учета ЯМ в ключевых точках измерений. Рассмотрение проведено на формализованной математической модели PUREX процесса. Путем экспертных оценок выбрано передовое современное оборудование для проведения измерений на перерабатывающем предприятии и для детектирования окружающей среды. На базе построенной математической модели и ядра ACCORD-2005 создана основа модели учета ЯМ предприятия, предусматривающая использование передовых технологий в области учетных измерений. Разработанная математическая модель дополнена программным обеспечением, эмулирующим работу измерительных приборов. В итоге создано сопряженное с СУиК программное обеспечение, поддерживающее мониторинг показаний измерительных датчиков. Компьютерная модель обеспечивает защиту и целостность циркулирующей в сети информации.

Разработан набор сценариев, по которым проведено тестирование модели.

Система моделирует обнаружение различных типов утрат (хищений) и сигнализирует об этом, исходя из заданных значений возможных пороговых значений и параметров имеющегося измерительного оборудования. Она может быть использована в качестве основы для расширения возможностей учета ЯМ реального перерабатывающего предприятия и существенно повысить сохранность ЯМ. Такая система будет полезна на реальном предприятии, где вместо эмуляторов датчиков будет использоваться реальное оборудование. Разработанное ПО легко адаптировать для любого предприятия, в основе которого лежит модель процесса PUREX. Для этого нужно:

– настроить ACCORD-2005 на конкретное предприятие (изменить структуру мест и словари

посредством интерфейса пользователя, а также конфигурационные файлы),

- настроить мнемосхемы SCADA-системы,
- разработать модуль сопряжения с используемыми на предприятии конкретными датчиками.

Более того, использование в составе разработанного макета SCADA-системы и широкие возможности настройки ACCORD-2005 позволяют в короткие сроки модифицировать разработанную компьютерную модель и для других типов предприятий, в том числе для обогащательных. Для этого потребуется дополнительно построить мнемосхемы и разработать математическую модель.

Описанная модель разработана в рамках проекта МНТЦ. В работе принимали участие специалисты ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", ОАО "СХК", ФГУП "ПО "МАЯК".

### Список литературы

1. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995.
2. Вайгель Ф., Кац Дж., Сиборг Г. и др. Химия актиноидов. В 3 т. Т. 2. – М.: Мир, 1997.
3. Анищенко А. А., Иванов К. В. Разграничение доступа в автоматизированных системах учета и контроля ядерных материалов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2008. Вып. 2. С. 66–70.
4. Purex process flowsheet NO. 3 in terms of pilot plant flows. by D. O. Darby. United States atomic energy commission. Technical Information Service. Oak Ridge, Tennessee. 1951.

Статья поступила в редакцию 24.05.2012.