

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «КОНТРОЛЬ» ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ЯДЕРНО-ОПАСНЫХ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ В ОБОРУДОВАНИИ**

Воронов Е.Ю., Рябов А.С. (Сибирский химический комбинат),  
Истомин А.Д., Истомина Н.Ю., Носков М.Д.  
(Северская государственная технологическая академия)

### **Введение**

На объектах ядерного топливного цикла (ЯТЦ) при получении, использовании и переработке соединений высокообогащенного урана и плутония необходимо соблюдение требований ядерной безопасности, контроля и учета ядерно-опасных делящихся материалов (ЯДМ). В соответствии с федеральными или отраслевыми правилами ядерной безопасности не допускается превышение нормы накопления ЯДМ в оборудовании [1]. Поэтому необходимо осуществлять количественный контроль отложений ЯДМ, в особенности, в оборудовании опасного исполнения. На производствах, где выполняют работы с порошковыми формами ЯДМ, уран имеет тенденцию накапливаться на внутренних поверхностях перчаточных боксов, камер, фильтрующих элементов, вентиляционных коробов и т.д. Наиболее вероятны отложения ЯДМ в труднодоступных и недоступных местах оборудования сложной геометрии, что может привести к их накоплению в критических количествах или существенно повлиять на инвентаризационную разницу.

В настоящее время на объектах ЯТЦ ведутся работы по внедрению современных методов и средств измерений ЯДМ в отложениях. Широкое применение нашли переносные радиометрические приборы, которые по собственному  $\gamma$ -излучению ЯДМ позволяют определить его массу [2]. Процесс выполнения количественных измерений длителен, трудоемок и происходит в условиях радиационного воздействия, что приводит к повышенным дозовым нагрузкам на персонал. В некоторых случаях данные измерений могут быть неполными, поскольку часть оборудования недоступна для выполнения непосредственных измерений. Обработка и анализ результатов измерений требуют больших временных затрат, так как полученные с помощью  $\gamma$ -спектрометрических приборов данные многочисленны и, как правило, не имеют автоматической привязки к месту и объекту измерений. Велика вероятность потери информации, особенно при большом количестве измерений и сложности объекта. Поэтому, целесообразно применение специализированных программных средств, позволяющих хранить, анализировать и визуализировать данные, оценивать количество накопленного ЯДМ в местах, недоступных для прямых измерений, а также выполнять прогнозные расчеты накопления отложений в оборудовании. Работы по созданию специализированных программных средств, облегчающих контроль отложений, начались сравнительно недавно. Разработанное программное обеспечение позволяет визуализировать процессы градуировки  $\gamma$ -спектрометрических приборов, хранить и обрабатывать результаты измерений, запоминать параметры аппаратуры, вычислять массы ЯДМ в отложениях [3, 4]. Однако имеющееся программное обеспечение не позволяет проводить оперативный анализ данных для реального объекта измерений и не позволяет оценивать накопление ЯДМ в нем.

В работе представлена информационно-моделирующая система (ИМС), предназначенная для хранения и обработки результатов измерений, полученных при мониторинге отложений ЯДМ с помощью переносных  $\gamma$ -спектрометрических

приборов, визуализации данных, выполнения оценки накопления отложений в недоступных для измерений местах и составления прогнозов накопления.

### Структура ИМС

ИМС состоит из четырех блоков: общения, обработки данных, хранения данных (с базой данных – БД) и математического моделирования (рис.1). Блок общения предназначен для ввода и визуализации данных, обеспечения взаимодействия пользователя с блоками математического моделирования, обработки и хранения данных. Блок хранения данных позволяет записывать и считывать необходимые данные из БД. В БД хранятся результаты приборных измерений с привязкой к месту и времени измерения, пространственные параметры и характеристики измеряемого объекта, а также другие необходимые для расчетов параметры. Блок обработки данных позволяет формировать выборки из БД в соответствии с заданными критериями, а также производить необходимые расчеты с использованием хранимых в БД параметров объекта измерения.

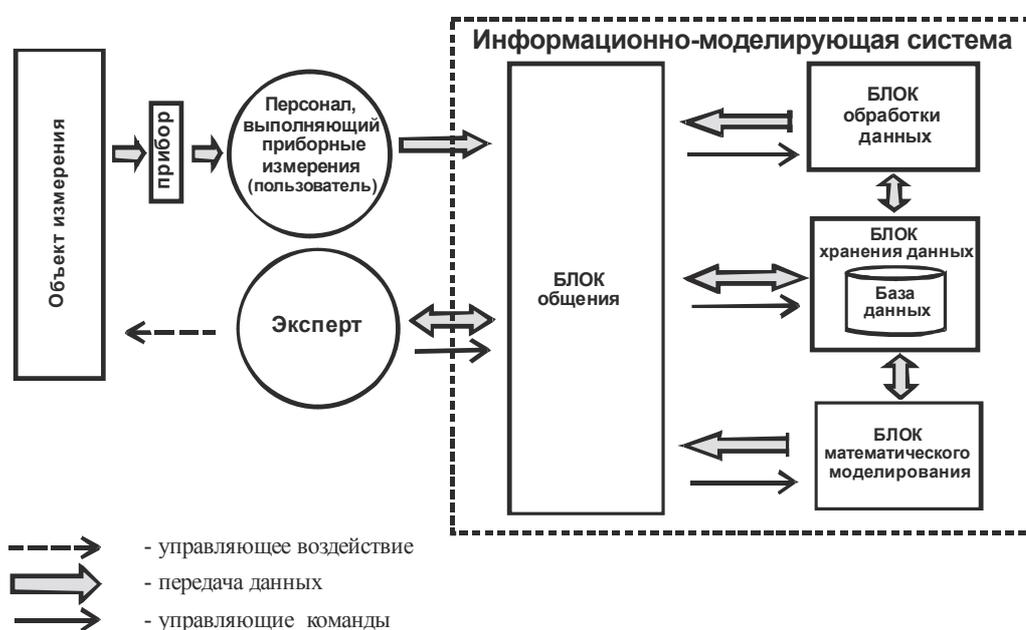


Рис.1. Структурная схема ИМС

Блок математического моделирования предназначен для выполнения расчетов накопления ЯДМ. Численные расчеты включают в себя восстановление распределения ЯДМ на неизмеряемых участках оборудования в некоторый момент времени по данным измерений на соседних участках, а также выполнение прогнозных расчетов накопления ЯДМ во всем оборудовании.

### ИМС «Контроль»

На основе предложенной концепции была разработана ИМС «Контроль» [5], предназначенная для мониторинга и прогнозирования отложений ЯДМ в вентиляционной системе Радиохимического завода Сибирского химического комбината (РХЗ СХК). ИМС была разработана в среде программирования Borland Builder C++ 5.0 и представляет собой многопоточное, многооконное 32-битное

приложение, предназначенное для работы на персональном компьютере под управлением операционной системы MS Windows. Блок хранения данных реализован на основе стандартной библиотеки BDE (Borland Database Engine), использующей для обеспечения взаимодействия с БД программный интерфейс доступа ODBC (Open Database Connectivity). БД выполнена в формате Access 2002, что позволяет работать с ней с помощью приложения Microsoft Access, входящего в состав Microsoft Office, и основана на реляционной модели представления данных. Запросы БД реализованы с помощью языка SQL.

Вентиляционная система РХЗ СХК представляет собой совокупность вертикальных и горизонтальных воздуховодов, а также фильтрующих элементов (рис.2). Некоторые участки вентиляционной системы доступны для непосредственных измерений количества ЯДМ с помощью переносных  $\gamma$ -спектрометрических приборов, а некоторые труднодоступны или недоступны.

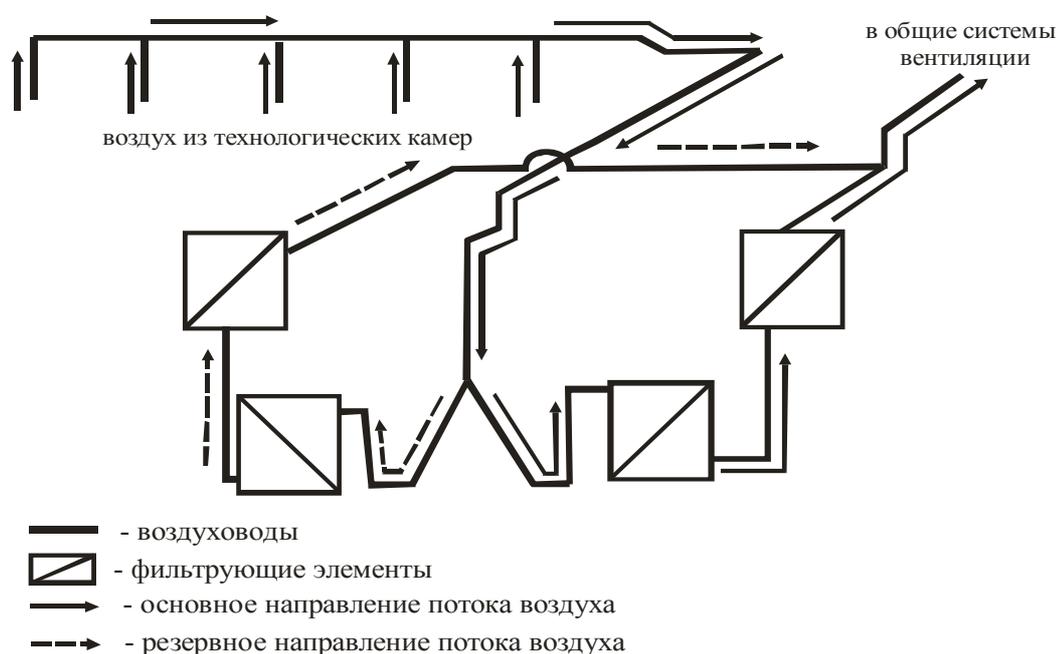


Рис. 2. Схема вентиляционной системы

Для привязки данных к пространственному расположению точек измерения, вентиляционная система разбивается на структурные элементы – секторы, размер которых определяется конструктивными особенностями вентиляционной системы. Секторы, в свою очередь, разделяются на сегменты, длина которых соответствует методике выполнения приборных измерений ЯДМ с помощью  $\gamma$ -спектрометра РПГ-09 «Купол». Таким образом, вентиляционная система представляет собой совокупность измеряемых и неизменяемых сегментов, относящихся к разным секторам. В соответствии с пространственным размещением и конструктивными особенностями выделяются сегменты следующих типов: прямой вертикальный и горизонтальный, прямой с отводом, изгиб, разветвление, прямой сегмент переменного сечения (переходник), задвижка (шибер), вентиль и др.

Функционирование ИМС осуществляется в три этапа. На первом этапе специально обученный персонал выполняет  $\gamma$ -спектрометрические измерения

отложений в вентиляционном оборудовании и заносит первичные данные в ИМС. Первичные данные представляют собой величины массовой поверхностной плотности (МПП) ЯДМ в участках воздухопроводов, соответствующих измеряемым сегментам. Данные вводятся с экрана прибора или из его архива измерений с помощью специального диалога блока общения. Для облегчения работы с диалоговыми окнами, поиска номера нужного сектора и сегмента в главном окне ИМС отображается схема разбиения вентиляционной системы на сектора (рис.3). После оценки достоверности данные поступают в блок хранения, который содержит БД и обеспечивает дифференцированный (в том числе сетевой) доступ к ней. БД представляет собой набор двумерных взаимосвязанных таблиц, содержащих результаты приборных измерений МПП и массы ЯДМ с привязкой к конкретным точкам измеряемого объекта и датам измерений, номера сегментов с принадлежностью к соответствующему сектору, характеристики каждого из сегментов, включая размеры, тип, краткое описание и т.д. Структура таблиц разработана таким образом, чтобы исключить дублирование данных и обеспечить их непротиворечивость.

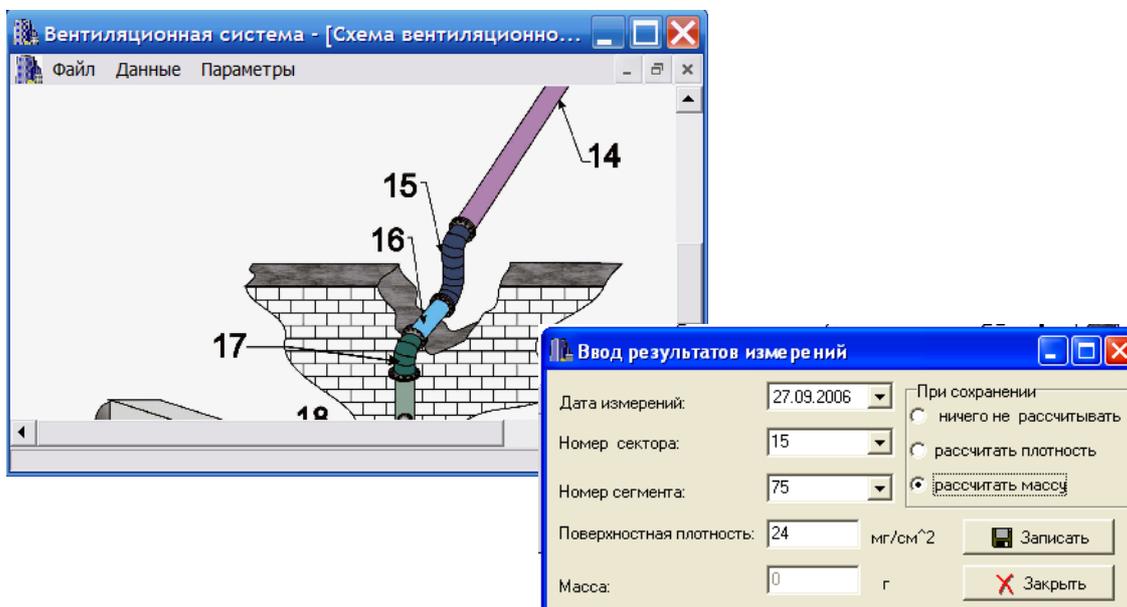


Рис. 3. Вид главного окна и диалогового окна для ввода данных ИМС «Контроль»

На втором этапе эксперт выполняет анализ данных, полученных в доступных для измерений сегментах и хранящихся в БД. Блок обработки данных позволяет:

- делать выборку значений МПП или массы ЯДМ для конкретного сегмента, удовлетворяющих заданным условиям;
- выполнять выборку всех значений МПП, соответствующих конкретной дате измерений или временному периоду;
- делать выборку всех значений МПП, соответствующих указанному диапазону секторов для определенной даты измерений;
- выполнять расчет значений массы ЯДМ для сегментов по имеющимся значениям МПП;
- находить минимальные и максимальные значения МПП в выборках;
- рассчитывать суммарные значения массы ЯДМ в указанных секторах для заданных временных периодов с учетом неизмеряемых сегментов.

Критерии для выбора данных вводятся экспертом с помощью интерактивных диалоговых окон блока общения. В соответствии с заданными экспертом критериями блок обработки данных формирует запросы для их просмотра. Блок общения выводит результаты обработки данных в табличном и графическом виде. Вид интерактивных окон с таблицами, отображающими выборку значений в соответствии с заданными условиями, приведен на рис.4. Последовательность диалогов для вывода данных в виде диаграмм позволяет настроить их вид, указать диапазон секторов для отображения и дату измерений. Пример диалоговых окон, отображающих диаграммы распределения МПП по сегментам, составляющим выбранные сектора, приведен на рис.5 (а). На рис. 5 (б) показана последовательность диалогов для вывода данных в виде графиков изменения величины МПП во времени для выбранного сектора.

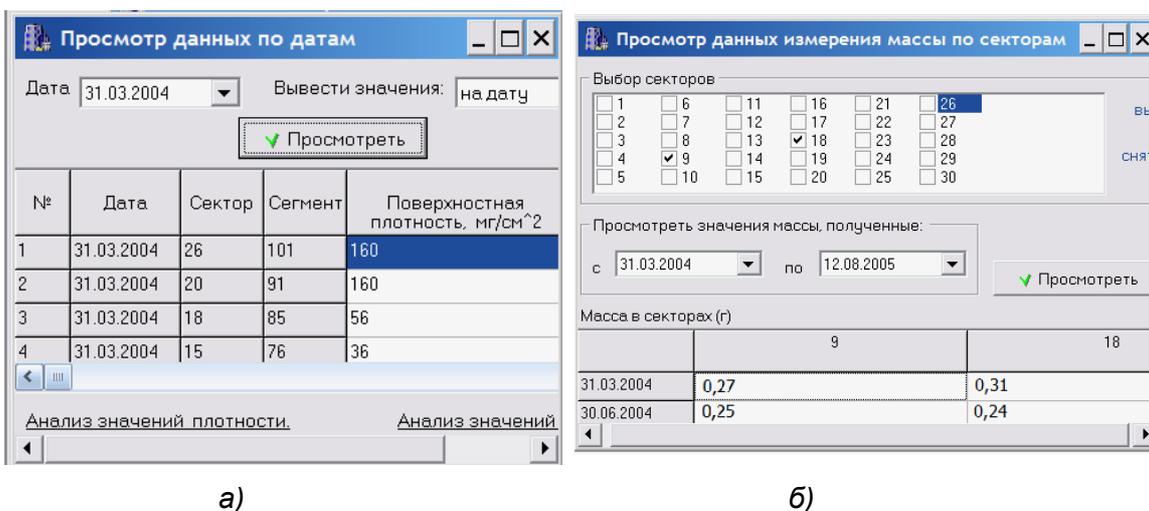
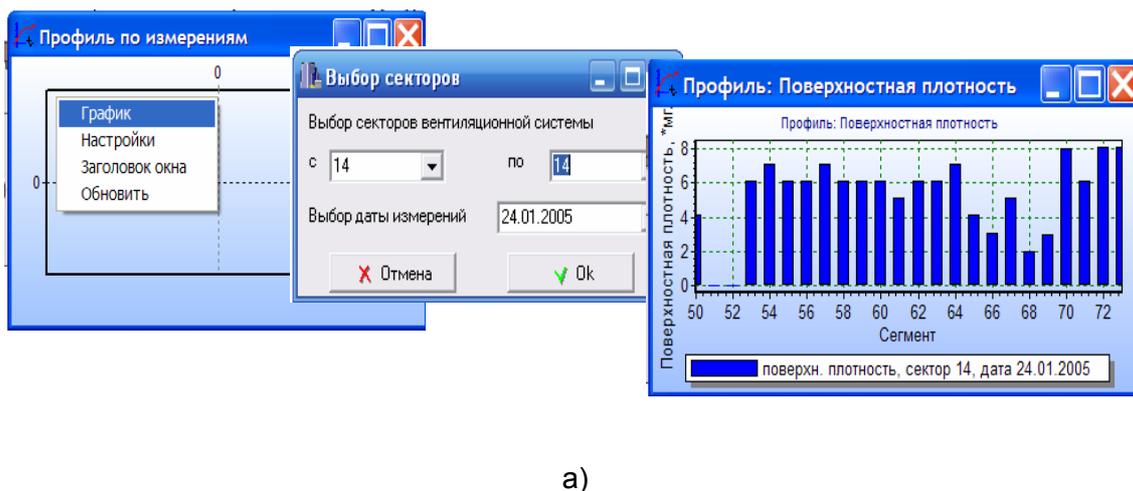
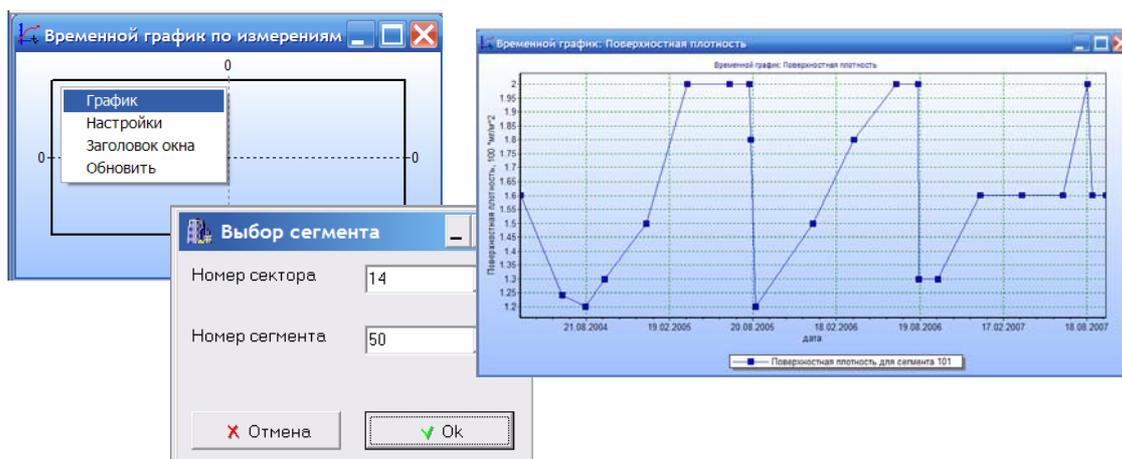


Рис. 4. Вид диалоговых окон для просмотра данных по дате измерения (а) и по сектору (б)

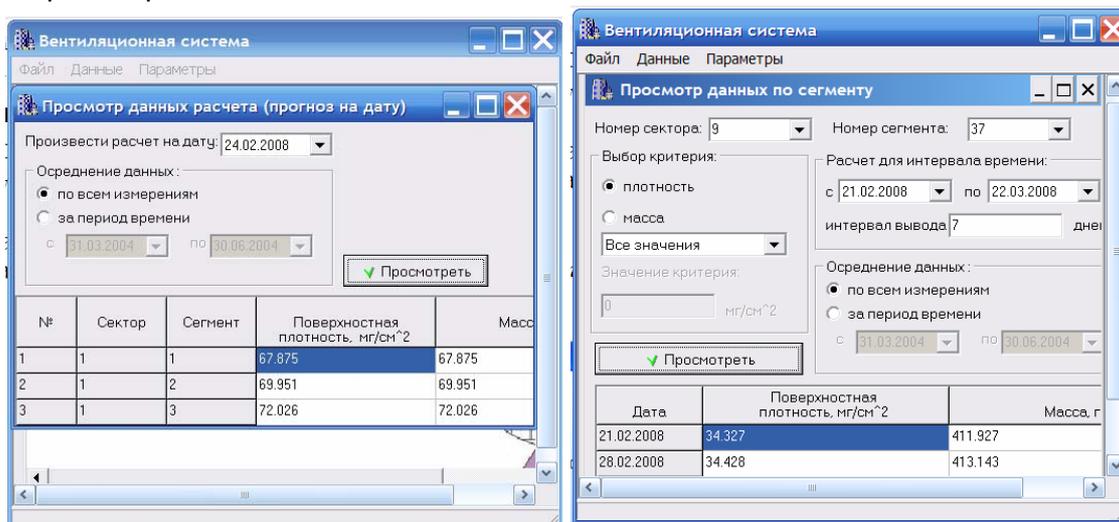




б)

Рис. 5. Вид диалоговых окон для просмотра данных в графическом исполнении в виде диаграмм (а) и графиков (б)

На последнем этапе выполняются интерполяционные и экстраполяционные расчеты количества ЯДМ в труднодоступных и недоступных сегментах вентиляционной системы, а также прогнозные расчеты накопления ЯДМ в любом сегменте. Расчеты выполняются блоком математического моделирования на основе статистической обработки имеющихся данных  $\gamma$ -спектрометрических измерений. Управление процессом расчета осуществляется экспертом с помощью специальных диалоговых окон (рис.6). Результаты расчетов выводятся на экран в виде таблиц, диаграмм и графиков. На основе анализа данных измерений и результатов проведенных расчетов экспертом готовятся решения о необходимости, периодичности и степени воздействия на объект измерения с целью обеспечения ядерной и радиационной безопасности.



а)

б)

Рис. 6. Вид диалоговых окон для выполнения прогнозных расчетов, представление результатов прогнозного расчета накопления

### **Заключение**

Предложена концепция и разработана ИМС «Контроль» для мониторинга и прогнозирования отложений в вентиляционном оборудовании РХЗ СХК. ИМС позволяет вводить и хранить как результаты  $\gamma$ -спектрометрических измерений, полученных прибором РПГ-09П «Купол», так и характеристики обследуемых участков вентиляционного оборудования с пространственной привязкой к нему, обрабатывать данные приборных измерений МПП и визуализировать их в табличном и графическом виде, вычислять массу ЯДМ в отложениях в конкретном сегменте и суммарно по секторам, оценивать количество отложений в недоступных местах и прогнозировать накопление для любого сегмента. Результаты измерений и расчетов при необходимости могут быть оформлены в виде отчета установленной формы.

Применение ИМС «Контроль» на радиохимическом производстве повышает оперативность обработки результатов  $\gamma$ -спектрометрических измерений накопления ЯДМ, предоставляет возможность определять количество ЯДМ в недоступных сегментах и делать своевременные выводы о достижении норм накопления в оборудовании. Кроме этого, на основе анализа динамики и прогнозирования накопления ЯДМ возможна подготовка решений о необходимости или нецелесообразности выполнения дополнительных измерений, разработка мер по уменьшению отложений в определенных участках оборудования, что обеспечит соблюдение требований ядерной безопасности, контроля и учета ЯДМ при минимальных дозовых нагрузках на персонал.

Блочная структура, положенная в основу ИМС, достаточно универсальна, поэтому разработанное программное обеспечение после модернизации может быть использовано при мониторинге и прогнозировании отложений ЯДМ в других типах вспомогательного оборудования.

### **Список литературы**

1. Правила ядерной безопасности для объектов ядерного топливного цикла (НП-063-05). -М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2005.
2. Фролов В.В. Ядерно-физические методы контроля делящихся веществ. -М.: Энергоиздат, 1989.
3. Голубец В.В. и др. Результаты тестирования методики «обобщенной» геометрии при измерениях моделированных отложений урана-235 в макетах оборудования// Оценка содержания и наличных количеств ядерных материалов в оборотах и отходах. Сборник докладов трехстороннего семинара.14-18 октября 2002, -Обнинск: ФЭИ, 2003.
4. Берлизов А.Н., Даниленко В.Н., Ковальский Е.А. и др. Программный комплекс для эмуляции аппаратурных гамма-спектров// Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ: Сборник материалов тринадцатого ежегодного семинара. 20-24 ноября 2006 г. Ч.1. -Обнинск: ФГОУ «ГЦИПК», 2007.
5. Воронов Е.Ю., Истомина А.Д., Истомина Н.Ю., Носков М.Д., Рябов А.С. Информационно-моделирующая система «Контроль» для мониторинга отложений ядерно-опасных делящихся материалов во вспомогательном оборудовании// Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ: Сборник материалов тринадцатого ежегодного семинара. 20-24 ноября 2006 г. Ч.2. -Обнинск: ФГОУ «ГЦИПК», 2007.