

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ГРАЖДАНСКОГО ПЛУТОНИЯ РОССИИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Г.М. Пшакин, П.А. Мосеев, В.В. Коробейников, А.Л. Мосеев

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского»

249033, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, пл. Бондаренко, 1



За время существования советской (российской) ядерной программы к настоящему времени накоплено огромное количество плутония в отработавшем топливе различных реакторов – энергетических, исследовательских, транспортных. Для решения задач, связанных с дальнейшей судьбой накопленного (и накапливаемого) плутония, таких как длительное хранение, захоронение или использования в виде топлива с замыканием топливного цикла, необходимо точное знание где, сколько, в каком состоянии хранится плутоний на конкретный момент времени. Имеющаяся система учета и контроля ядерных материалов не позволяет получить требуемую информацию. Данная работа посвящена развитию специализированной базы данных по гражданскому плутонию России (СБДП), которая позволит готовить исходные данные для проведения системных аналитических исследований в обоснование решений, принимаемых по будущему использованию гражданского плутония России. Первоочередной задачей является возможность подбора технологических партий выделенного плутония для изготовления загрузок активных зон реакторов БН-800, БРЕСТ и БН-1200. СБДП может быть использована и для решения более широкого круга задач, связанных с обоснованием замкнутого топливного цикла. Кооперация с такими мощными программными комплексами, как CYCLE, позволит проводить высокоточные расчеты с одного рабочего места и в сжатые сроки.

Разработаны программные механизмы обработки и преобразования данных, механизмы взаимодействия с расчетными программными комплексами (CYCLE) – подготовка исходных данных к расчетам сценариев развития атомной энергетики России и мира на тепловых и быстрых реакторах, в том числе и для замыкания ядерного топливного цикла.

Ключевые слова: замкнутый ядерный топливный цикл, ядерное топливо, учет и контроль ядерных материалов, плутоний, минорные актиниды, аппаратное и программное обеспечение, входные и выходные данные, совместимость с системой учета и контроля ядерных материалов, система управления специализированной базой данных по плутонию.

ВВЕДЕНИЕ

Нарастающие объемы отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) реакторов РБМК и ВВЭР в России при действующих подходах к ценообразованию уже на ближайшем этапе становятся заметным экономическим бременем генерирующего комплекса. Проблема накопления ОЯТ усугубится, если учесть, что АЭС с российскими реакторами ВВЭР будут сооружаться за рубежом на привлекательных для развивающихся стран условиях полного обеспечения топливного цикла, включая возврат ОЯТ.

© Г.М. Пшакин, П.А. Мосеев, В.В. Коробейников, А.Л. Мосеев, 2017

Решение проблем обращения с ОЯТ, высокоактивными отходами (ВАО) и сырьевого ресурса ядерного топлива лежит на пути формирования ядерно-энергетической системы с замыканием ядерного топливного цикла, в которой наряду с реакторами на тепловых нейтронах будут развиваться реакторы на быстрых нейтронах. Такая двухкомпонентная ЯЭС включает в себя АЭС с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах, обеспечивающих выработку энергии и воспроизводство топлива, и централизованные заводы ядерного топливного цикла для производства топлива, хранения и переработки ОЯТ, многократного рецикла регенерированного топлива, кондиционирования и изоляции ВАО [1 – 7].

Одна из важных задач, которую предстоит решить при замыкании ядерного топливного цикла, состоит в обеспечении плутонием начальных загрузок реакторов на быстрых нейтронах, а также реакторов на тепловых нейтронах, если в них тоже будет использоваться плутоний.

Теоретически весь накопленный плутоний может быть использован в качестве ядерного топлива. Однако от качества, а точнее, изотопного состава плутония зависит множество характеристик конкретного ядерного реактора, причем одна из основных – безопасность ЯЭУ.

В настоящее время в России накоплено более 180-ти тонн плутония в гражданском секторе ядерной энергетики [6].

Перечень источников накопления плутония в СССР (России).

- Промышленные реакторы для производства плутония для оружейных целей с разной интенсивностью работали в период с 1948 по 2012 гг. Промышленные реакторы на ПО «Маяк», СХК (Северск), ГХК (Железнодорожск) были остановлены в разное время в период с 1991 по 2012 гг. Плутоний, наработанный после 1994 г., заявлен Россией как избыточный для оружейных целей, и в соответствии с соглашением с США до 2016 г. находился под американским мониторингом.

- АЭС на основе разных типов реакторов (ВВЭР, РБМК, БН); всего на десяти АЭС России эксплуатируется 35 энергоблоков установленной мощностью около 26 ГВт, включая
 - 18 энергоблоков с реакторами ВВЭР (12 – ВВЭР-1000 и шесть – ВВЭР-440 различных модификаций);

- 15 энергоблоков с канальными реакторами (11 с реакторами РБМК-1000 и четыре с реакторами ЭГП-6);

- два энергоблока с реакторами БН-600 и БН-800 с натриевым охлаждением.

Все эти реакторы работали разные периоды времени и, соответственно, наработали разное количество ОЯТ, содержащего плутоний различного изотопного состава; часть ОЯТ с этих реакторов отправлена на переработку или дальнейшее хранение, часть остается в пристанционных бассейнах выдержки.

- Исследовательские реакторы, из которых 22 находятся в эксплуатации и восемь – в режиме вывода из эксплуатации, без учета критических и подкритических сборок, на которых топливо находится весь период их эксплуатации. Облученное топливо из этих реакторов (включая ОЯТ из реакторов, построенных с помощью СССР за рубежом, которое было вывезено на ПО «Маяк»), переработано на РТ-1 ПО «Маяк» либо остается в бассейнах выдержки на реакторах.

- Транспортные реакторы подводных лодок, ледоколов и надводных кораблей. Часть выгруженных отработавших активных зон транспортных реакторов перевезена на ПО «Маяк» и переработана, значительная часть остается на местах промежуточного хранения.

Плутоний, накопленный в СССР (России) за годы советской ядерной программы, хранится и используется на нескольких предприятиях. В общем виде описание мест хранения плутония таково.

- Наибольшая часть плутония находится в ОЯТ (более 135 т на конец 2014 г.) [1] и хранится

- на АЭС – 77,5 тонн в ОЯТ (в бассейнах выдержки);
- в отдельных хранилищах ОЯТ – 58 тонн, например, при АЭС, на ГХК, на площадках ВМФ (выгруженные отработавшие зоны реакторов подводных лодок и ледоколов) и др.
- Выделенный из ОЯТ различных реакторов на РТ-1 находится в хранилище ПО «Маяк»; на конец 2014 г. это количество составляло 52 т [1, 6].
- Признанный избыточным для оружейных целей и загруженный в специальное «хранилище делящихся материалов» 34 т (ХДМ «Маяк»).
- Плутоний, выделенный после 1994 г. на ГХК и СХК (более 10 т), который в настоящее время хранится на СХК.
- Более 1 т плутония используется для различных исследовательских целей и хранится на установках в научно-исследовательских центрах (НИИАР, ФЭИ и др.).

Следует отметить, что плутоний, хранящийся на ХДМ «Маяк» и СХК, в настоящее время не внесен в баланс «гражданского плутония».

Понятно, что для каждого места хранения характерен целый спектр изотопных составов плутония в зависимости от достигнутого выгорания топлива и времени хранения конкретной учетной единицы (ТВС или контейнер) после выгрузки из реактора, выделения из ОЯТ или переочистки. Среди специалистов существуют установившиеся термины для определения категорий плутония – «высокофоновый» и «низкофоновый». Под этими категориями понимается плутоний с низким содержанием Pu-239 и высоким содержанием других изотопов (высокофоновый плутоний) и плутоний с высоким содержанием Pu-239 и, соответственно, низким содержанием других изотопов плутония (низкофоновый).

Очевидно, что при таком многообразии хранящегося и поступающего плутония особую важность для корректного анализа приобретает знание фактических количеств и изотопного состава плутония (с учетом влияния времени хранения) на заданный момент времени. Для эффективного использования ядерного топлива в технологии замкнутого топливного цикла, минимизации работ по переработке и переочистке плутония и изготовлению смешанного уран-плутониевого топлива с учетом того, что изотопный состав плутония влияет на параметры загрузок и физической безопасности реактора, необходимо знать где, сколько и какого качества плутония имеется в наличии [8 – 14].

Информация о плутонии хранится в системах учета непосредственно на предприятиях. Поскольку стандартной (единообразной) системы учета для предприятий в России не существует, то каждое предприятие разрабатывает свою систему, исходя из собственных условий и технических возможностей. Плутоний хранится в учетных единицах (УЕ), информация о которых (паспорт) включает в себя набор данных, уникальных и необходимых на протяжении «жизни» УЕ.

Учетная единица (УЕ) – объект, содержащий ЯМ, имеющий индивидуальный атрибутивный признак или индивидуальную совокупность атрибутивных признаков, параметры которого зарегистрированы в учетных документах, а целостность подтверждена мерами контроля доступа с момента регистрации учетных данных (определение общих правил по учету и контролю – ОПУК НП-030-12); в нашем случае – это «стакан» с диоксидом плутония (выделенный плутоний в хранилище) или ТВС (в случае плутония в ОЯТ).

Заметим, что федеральная система учета (СУиК), собирающая информацию со всех предприятий ядерного топливного цикла и других мест хранения плутония по определенному стандарту, оперирует только общими данными – весовые количества материала, места хранения, физическая форма и т.д. Информация, необходимая для аналитических исследований (изотопный состав на определенный момент времени, например), может быть получена исходя из той, что хранится только в системах учета на предприятиях, что требует определенных усилий для ее получения в нужном формате.

Поэтому возникла необходимость создания базы данных по накопленному гражданскому плутонию, которая на основании исходных данных по ядерным материалам (вклю-

чая, в первую очередь, данные по плутонию) позволяла бы сформировать специализированную базу данных по гражданскому плутонию (СБДП) как основу для проведения аналитических исследований задач, связанных с замыканием ядерного топливного цикла, таких как повышение эффективности использования ядерного топлива; исследование ядерной и радиационной безопасности при использовании смешанных загрузок топлива в активную зону; снижение объемов хранения ОЯТ и объемов радиоактивных отходов для окончательного захоронения; утилизация минорных актинидов; снижение рисков распространения ДМ; расширение экспортного потенциала ядерных энерготехнологий России.

СБДП не конкурирует (дублирует) с системой учета и контроля делящихся материалов (СУИК). Для целей данной работы необходима та информация, которая позволяет описать (рассчитать) изотопное состояние материала в учетной единице на заданный момент времени, количество основного делящегося элемента для данной единицы, его физическое (химическое) состояние и достаточна для проведения аналитических исследований по большинству аспектов замкнутого топливного цикла (например, с точки зрения накопления минорных актинидов (МА), требования по переочистке, изготовлению топлива и т.д.).

Термин «гражданский плутоний» охватывает плутоний, находящийся в обращении на ядерных установках, используемых в гражданской части ядерной энергетики России, а именно, накопленный в ОЯТ реакторов АЭС, облученном топливе исследовательских реакторов, в хранилищах ОЯТ (в бассейнах выдержки и отдельных хранилищах); выделенный в результате переработки ОЯТ; используемый для проведения исследований в мирных целях.

Для реализации Стратегии развития атомной энергетики России в первой половине XXI в. [2, 3] и Федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения» [4] предусматривается повышение эффективности использования ядерного топлива; снижение объемов хранения ОЯТ и радиоактивных отходов для окончательного захоронения; утилизация минорных актинидов (МА); снижение рисков незаконного распространения ядерных материалов; применение концепции радиационно-эквивалентного захоронения отходов как конечной цели безопасного обращения с ДМ замкнутого ЯТЦ.

В России подлежат учету и контролю ядерные и специальные неядерные материалы, которые для краткости часто объединяют термином «ядерные материалы». Однако, согласно правилам НП-030-12 [5, 14], государственная система учета и контроля ядерных материалов не содержит данных об изотопном составе плутония, а включает в себя только данные о его количестве в зонах баланса материалов.

Данные по изотопному составу плутония содержатся в паспортах учетных единиц (УЕ) в местах хранения.

Данные в государственной системе учета и контроля ядерных материалов не содержат информации о минорных актиноидах, накапливающихся в процессе хранения и влияющих на технологии замкнутого топливного цикла.

Для эффективной реализации задач замыкания ядерного топливного цикла необходимо создать национальную базу данных по гражданскому плутонию для оперативного решения таких вопросов, как минимизация работ по переработке и переочистке плутония и изготовлению смешанного уран-плутониевого топлива; обоснование физических вопросов безопасности активных зон с плутонием различного изотопного состава; подготовка исходных данных для оптимизации и подбора партий из плутония, хранящегося на складе, для изготовления загрузки; обеспечение ядерной, радиационной и технологической безопасности при изготовлении смешанного уран-плутониевого топлива; обоснование экономической эффективности замкнутого топливного цикла и др. [15, 16].

Целью работы является дальнейшее развитие разрабатываемой специализированной базы данных по энергетическому (гражданскому) плутонию (СБДП) России и программ-

ного пользовательского интерфейса, содержащего механизмы обработки, извлечения и преобразования исходных данных для их дальнейшего использования в аналитических исследованиях.

СБДП должна отвечать современным требованиям построения реляционных баз данных и выполнять все основные функции: «Агрегация и хранение исходных данных → Преобразование исходных данных для соответствия современным реалиям → Выборка и фильтрация обновленных данных → Обработка полученных данных аналитическими и расчетными комплексами → Сохранение и описание (интерпретация) полученных результатов расчетов и исследований».

Основной акцент при создании СБДП был сделан на достоверность, точность и полноту исходных данных, функциональность программной среды для работы с СБДП и удобство использования основных функций программы.

ОПИСАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ (ГРАЖДАНСКОМУ) ПЛУТОНИЮ РОССИИ (СБДП)

Назначение и функции СБДП. Первоочередной задачей СБДП является возможность подбора технологических партий выделенного плутония для изготовления загрузок активных зон реакторов БРЕСТ, БН-800 и БН-1200. СБДП может быть использована и для решения более широкого круга задач, связанных с обоснованием замкнутого топливного цикла. В соответствии с этими задачами определяются и функции, которые должна выполнять СБДП, а именно, содержать набор данных, необходимый для проведения аналитических исследований в обоснование задач различных вариантов топливного цикла ядерной энергетики России, по местам хранения плутония и учетным единицам; проводить пересчет изотопного состава плутония и содержания в нем минорных актиноидов на заданный момент времени; обеспечивать возможность подбора партий плутония заданного изотопного состава для переочистки и изготовления топлива.

Описание таблиц. СБДП формируется на основе отдельных таблиц, связанных между собой по определенным алгоритмам. Структура построения таблиц «от общего – к частному», т. е. от места нахождения учетной единицы (УЕ) (АЭС или отдельное хранилище) до набора данных по УЕ, которые определены требованиями к СБДП.

Основу СБДП представляют следующие таблицы: места хранения ТВС ОЯТ; данные по местам хранения (таблица для ТВС); ядерные материалы в учетной единице (ЯМ в УЕ – ТВС ОЯТ); места хранения (таблица для контейнеров).

Таблицы делятся на три категории: таблицы с данными о местах хранения плутония с общими данными по количеству хранящегося плутония в этих местах; таблицы с данными об учетных единицах хранения (УЕ – ТВС, стаканы (контейнеры), другие); таблицы с данными о ядерных материалах в УЕ (уран и плутоний в случае ТВС, плутоний в случае стакана (контейнера)).

Важным элементом для практики является разброс (неточность) используемых данных; неопределенность данных для ОЯТ ТВС зависит от расчетных программ, используемых на АЭС при подготовке паспорта ТВС; для выделенного плутония неопределенность будет связана с точностью методик и приборов, используемых для измерения как количества ЯМ, так и его изотопного состава; остается пока нерешенным до конца вопрос, в форме каких таблиц внести в СБДП неопределенность исходных данных.

Полная информация об учетной единице (паспорт) включает в себя предприятие (полное или кодированное название); зону баланса; идентификационный номер учетной единицы; вид материала – физическая (химическая) форма; делящийся элемент; количество (вес) ядерного материала; количество основного делящегося изотопа (материала); изотопный состав Pu (обогащение U); дата выделения (последней очистки для Pu); дата выгрузки из реактора и энерговыработка облученной ТВС.

ЗАПОЛНЕНИЕ СБДП ДАННЫМИ С МЕСТ ХРАНЕНИЯ

Данные Концерна «Росэнергоатом» (плутоний, накопленный в ОЯТ)

Данные по плутонию, накопленному в ОЯТ АЭС (реакторы ВВЭР-210, 440, 1000, РБМК, АБВ, БН-600) и топливе исследовательских реакторов, получены по расчетным программным комплексам, созданным для каждого типа реакторов. Точность расчетных данных составляет 10 – 15% по количеству и изотопному составу накопленного плутония и зависит от типа реактора, места облучения ТВС и других факторов. Реальные данные будут получены в процессе переработки ОЯТ.

Данные по ТВС поставляются Концерном «Росэнергоатом» и представляют собой электронные файлы текстового формата *.txt (рис.1).

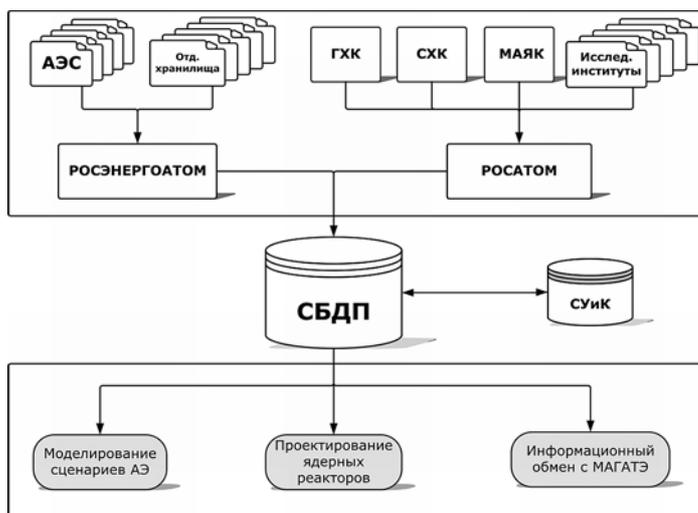


Рис. 1. Входные и выходные каналы СБДП

Содержимое входных файлов данных соответствует специально разработанному формату.

Данные с предприятий Госкорпорации «Росатом» (хранящийся в ОЯТ и выделенный плутоний)

ПО «Маяк». Промышленное выделение гражданского плутония из ОЯТ реакторов ВВЭР-440, БН-600, исследовательских и транспортных реакторов началось в 1977 г. [6]. Информация по характеристикам диоксида плутония, загружаемого в «стаканы» (контейнеры) в период времени до начала 1990-х, заполнялась от руки в паспорта на каждую учетную единицу (УЕ). Измерения массовой доли плутония в диоксиде, изотопного состава плутония, содержания примесей (для некоторых партий) выполнялись с усредненной пробой, отобранной из партии. Массу диоксида плутония измеряли в каждом контейнере. Измерения изотопного состава проводились масс-спектрометрическим методом. Партия диоксида расфасовывалась в один или несколько (до 12) контейнеров. С 2007 г. паспорта стали заполняться в электронном виде. Паспорт заполняется на партию, но с весовыми данными для каждого контейнера. К концу 2014 г. на ПО «Маяк» хранилось более 52 т выделенного «гражданского» плутония.

Необходимо иметь в виду, что на ПО «Маяк» временно (до переработки) хранятся ТВС, поступающие на предприятие для переработки.

Горно-химический комбинат (ГХК). На ГХК организовано долговременное хранение ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 и РБМК. Поскольку переработка ОЯТ ВВЭР-1000 и РБМК откладывается до строительства соответствующего радиохимического производства, то информация о плутонии, хранящемся в данном ОЯТ, может рассматриваться как исход-

ная для анализа долговременного планирования развития ядерной энергетики России.

На ГХК планируется подготовка плутония для изготовления смешанного топлива для реакторов БРЕСТ, БН-800 и БН-1200.

Данные по ТВС из центрального хранилища горно-химического комбината (ГХК) предоставляются в виде файлов электронных таблиц формата *.xls.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СБДП

Модульная структура СБДП

Созданный программный продукт имеет весьма сложную структуру. Для упрощения восприятия программного кода и эффективности работы программы вся программная структура была разделена на логические и физические модули.

Плюсы такого подхода: возможность удобной доработки и модификации программы – можно вносить изменения в конкретный модуль без изменения остальных; быстрый поиск и исправление ошибок в программе на этапе отладки и тестирования; полный контроль разработчиком выполняемых функций программы; контроль используемых системных и аппаратных ресурсов; своевременное освобождение оперативной памяти от неиспользуемых на данный момент времени модулей.

Программа SBDP-desktop включает в себя поисковый модуль; модуль сложной выборки данных из БД; модуль добавления данных в БД; модуль импорта данных из файлов; модуль модификации данных; расчетный модуль; модуль помощи пользователю; модуль разделенного доступа к данным.

Расчет изменения изотопного состава ядерного материала на заданный момент времени

Вычисления нуклидного состава выгруженных ТВС или выделенного плутония после длительного хранения производятся на основе заранее рассчитанной библиотеки изменения нуклидного состава во времени.

Для создания данной библиотеки с помощью модуля CREDE, входящего в программный комплекс CYCLE [7, 13], предварительно вычисляются нуклидный состав плутония или ТМ ТВС в зависимости от t_{cl} – времени выдержки (cooling time) топлива после регенерации или окончания облучения в реакторе до рассматриваемого момента времени.

При расчете изотопного состава рассматриваются цепочки радиоактивных распадов до стабильных изотопов. Соответствующая им система дифференциальных уравнений вследствие ее громоздкости здесь не приводится. Начальным условием для системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы радиоактивного распада при хранении топлива, служит состав топлива, выгруженного из зон тепловых и быстрых реакторов или начальный состав выделенного плутония.

ОПИСАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Пользовательский интерфейс (ПИ) для работы с СБДП (SBDP-desktop) представляет собой набор связанных форм, содержащих элементы управления и визуализации, различные меню и набор информационных подсказок.

Одной из основных задач было разработать интуитивно понятный ПИ. Благодаря этому неподготовленный оператор ПК может практически сразу приступить к работе и не испытывать никаких трудностей при работе с СБДП. На рисунке 2 представлен пример такого ПИ, а именно, модуль поиска в СБДП.

Поисковый модуль осуществляет поиск в базе данных по заданному составу плутония. Программа снабжена специальным механизмом для пересчета нуклидного состава топлива к расчетному году, т.е. приведения изначального состава плутония к составу на нужную дату.

ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ И РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ

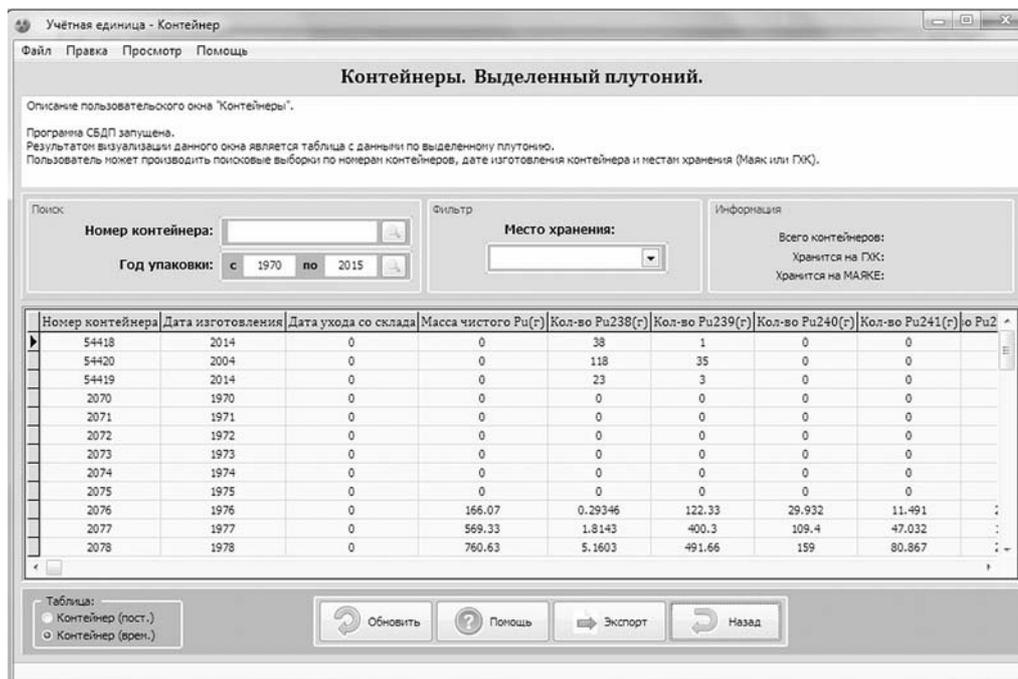


Рис. 2. Поиск данных в разделе «Контейнеры»

ДОСТУП К СБДП

В разрабатываемом программном продукте реализован ограниченный доступ пользователей к модификации и удалению данных. Ограничение доступа к данным обосновано требованиями к хранимому в СБДП объему информации: сохранение достоверности данных, полученных из первоисточников – систем учета ЯМ с мест хранения; использование СБДП как источника исходной информации для проведения широкого круга исследований по вопросам использования плутония в задачах топливного цикла различного типа; возможность эффективного подбора партий плутония заданного изотопного состава для дальнейшего использования при изготовлении загрузки определенного типа реактора.

Для разграничения доступа к базе данных все пользователи SBDP-desktop должны быть разделены на группы. Каждая пользовательская группа имеет свой уровень доступа к данным и действиям с ними.

SBDP-desktop является самостоятельной программой, которая содержит поисковый модуль, осуществляющий поиск в базе данных по заданному составу плутония и другим критериям поиска; расчетный механизм учета эволюции нуклидного состава топлива при хранении до заданного момента времени, т.е. приведения начального состава плутония к составу на нужную дату; механизмы взаимодействия с ПК CYCLE; экспорт и импорт данных в виде текстовых файлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создаваемая база данных по гражданскому плутонию России является эффективным рабочим инструментом для проведения широкого круга аналитических исследований в обоснование замкнутого топливного цикла ядерных энергетических систем, основанных как на реакторах с быстрым спектром нейтронов, так и на комбинации реакторов с быстрым и тепловым спектрами нейтронов. Этот инструмент позволит подготовить необходимый набор исходных данных для проведения экономических, технологических и физических аналитических исследований.

Еще одним из ключевых преимуществ всего комплекса СБДП является возможность объединения с программным комплексом CYCLE, разработанным в АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» и предназначенным для моделирования сценариев развития атомной энергетики на тепловых и быстрых реакторах с возможностью замыкания ядерного топливного цикла, учетом переработки и накопления топлива и ОЯТ, в том числе с учетом МА.

Данная работа выполняется при поддержке РФФИ, проект №16-48-400297.

Литература

1. Заявление России в МАГАТЭ в соответствии с «Руководством по обращению с плутонием», INFCIRC 549/Add.9/17, IAEA, Vienna, 25/09/2015.
2. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века. Основные положения. – М.: Минатом России, 2000.
3. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века. Основные положения. – М.: Иллюстрация основных положений. – М.: ФГУП «ЦНИАТОМИНФОРМ», 2001.
4. Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года: федеральная целевая программа: [утв. Постановлением Правительства РФ от 3 февраля 2010 г. № 50].
5. Основные правила учета и контроля ядерных материалов – ОПУК, НП-030-12, 2012г.
6. Шидловский В.В., Глаголенко Ю.В., Дзекун Е.Г. и др. Состояние и проблемы накопления и использования гражданского плутония. Материалы для VII Ежегодного международного политического форума по ядерным материалам, Москва, 2000 г.
7. Калашников А.Г., Мосеев А.Л., Декусар В.М., Коробейников В.В., Мосеев П.А. Развитие программного комплекса CYCLE для системного анализа ядерного топливного цикла. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2016. – №1. – С.91-99.
8. Коробейников В.В. Мосеев П.А., Пшакин Г.М. Скупов М.В., Глушенков А.Е. Рогожкин В.Ю. Разработка структурированной реляционной базы данных по гражданскому плутонию России. // ВАНТ. Сер. «Физика ядерных реакторов». – 2015. – Вып. 5. – С. 108-114.
9. Мосеев П.А. Коробейников В.В., Пшакин Г.М. База данных гражданского плутония России. / Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015. Аннотации докладов. – Том 3. – С. 327.
10. Мосеев П.А., Коробейников В.В., Мосеев А.Л. Оптимизация управления складскими запасами плутония в замкнутом топливном цикле с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2013. – № 2. – С. 123-132.
11. Пшакин Г.М., Коробейников В.В., Мосеев П.А. Обращение с плутонием в замкнутом ЯТЦ. Проблемы и предложения по их решению. / Научно-технический форум «Нейтронно-физические и теплофизические проблемы ядерной энергетики (Нейтроника-2015)», Обнинск, 2015 г.
12. Пшакин Г.М., Коробейников В.В., Мосеев П.А. Development of the structured relational database for civil plutonium in Russia». / 56 Международная конференция INMM 2015, США.
13. Егоров А.Ф., Калашников А.Г., Мосеев П.А., Коробейников В.В. Сравнительный анализ расчетов моделирования ЯЭ России с помощью программных комплексов CYCLE и MESSAGE. // ВАНТ. Сер.: «Физика ядерных реакторов». – 2013. – Вып. 2. – С. 37-45.
14. Пшакин Г.М., Рязанов Б.Г. (ГНЦ РФ-ФЭИ, УМЦУК, г. Обнинск, Россия), Киллмартин В. (ДОЕ, США), Дикман Д., Кодман Г. (ПННЛ, США), Келли Г., Ховард М., Фуллер Ш. (Вирджиния Тех., США) Программное обеспечение по учету и контролю ядерных материалов; стандартные и моделирующие средства для усовершенствованной системы управления УиК ЯМ. INMM, 2002.
15. Пшакин Г.М. Российско-американское соглашение по утилизации плутония, признанного избыточным для оружейных целей (ПМВД) – альтернативы и перспективы. // Ядерный контроль. – 2016. – Т. 477. – №4. – С. 32-38.
16. Zrodnikov A.V. Pshakin G.M. Voropaev A.I. Russian-American cooperation in Development Russian Plutonium Registry. 43-th INMM Annual Conference, paper 179, US Orlando, 2002.

Поступила в редакцию 18.04.2016 г.

Авторы

Пшакин Геннадий Максимович, в.н.с., к.т.н.

E-mail: pshakin@ippe.ru

Мосеев Павел Андреевич, м.н.с.

E-mail: pmoseev@ippe.ru

Коробейников Валерий Васильевич, г.н.с., профессор, д.ф.-м.н.

E-mail: korob@ippe.ru

Мосеев Андрей Леонидович, с.н.с.

E-mail: amoseev@ippe.ru

UDC 621.039.51

DEVELOPMENT OF THE STRUCTURED RELATIONAL DATABASE FOR CIVIL PLUTONIUM IN RUSSIA AND ITS IMPLEMENTATION

Pshakin G.M., Moseev P.A., Korobeynikov V.V., Moseev A.L.,

JSC «SSC RF-IPPE», Bondarenko sq.1, Obninsk, Russia, 249033

ABSTRACT

As of the present moment enormous amounts plutonium were accumulated during the period of development of the Soviet (Russia) nuclear program in spent fuel of reactors of different types – power, research and mobile. Issues associated with future fate of the accumulated plutonium (and plutonium which is currently being accumulated) such as long-term storage, burial or subsequent use as reactor fuel with closing nuclear fuel cycle, require exact knowledge about the places where plutonium is stored, its quantities and conditions at any required time moment. Existing nuclear material control and accounting system does not allow obtaining the required information. The present study is dedicated to the examination of further development of the structured relational database for civil plutonium in Russia (SRDBCP) development of which was initiated in 2013 and which would allow preparing input data for implementation of systems analytical studies for substantiating the decision taken on the future use of civil plutonium in Russia. The first priority task of the present study is the possibility of selection of technological batches of extracted plutonium for manufacturing BN-800, BREST and BN-1200 fast reactor core loads. At the same time the SRDBCP can be used as well for addressing wider scope of problems associated with substantiation of closed nuclear fuel cycle. Co-operation with such powerful software complexes as CYCLE will allow performing high-accuracy calculations from a single workplace and within compressed timeframe.

Computer mechanisms for processing and transformation of data, mechanisms of interaction with computational software complexes (CYCLE) – preparation of input data for calculations of scenarios of development of nuclear power generation in Russia and in the world based on thermal and fast nuclear reactors, including for closing the nuclear fuel cycle were developed as the result of continued work with SRDBCP.

Key words: closed fuel cycle, nuclear fuel, nuclear materials control and accounting, plutonium, minor actinides, hardware and software, input and output data, compatibility with material control and accounting system, system for management of specialized data base of plutonium.

REFERENCES

1. Russian declaration in the IAEA published as INFCIRC 549/Add.9/17 document, IAEA, Vienna, 25/09/2015.

2. Strategy of development of nuclear power generation in Russia during the first half of the XXI century. Main provisions. Moscow. Minatom Rossii Publ., 2000 (in Russian).
3. [Strategy of development of nuclear power generation in Russia during the first half of the XXI century. Main provisions. Illustration of main provisions. Moscow. CNIIAtomInform Publ., 2001 (in Russian).
4. New generation of nuclear power production technologies for the period of 2010-2015 and until 2020: Federal Target Program. Approved by the Resolution of the Government of the RF No. 50. Dated Feb. 3, 2010 (in Russian).
5. Basic Rules of Nuclear Materials Accounting and Control. OPUK, NP-030-12, 2012 (in Russian).
6. Shidlovsky V.V., Glagolenko Ju.V., Dzekun E.G., Rovny S.I., Ufimtsev V.P., Bobylev A.I., Prishchepov A.I., Broshevitsky V.S. Status and problems of accumulation and use of civil plutonium. Materials for the Seventh Annula International Political Forum on Nuclear Materials. Moscow, 2000 (in Russian).
7. Kalashnikov A.G., Moseev A.L., Dekusar V.M., Korobeynikov V.V., Moseev P.A. Evolution of the CYCLE code for the systems analysis of the nuclear fuel cycle. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2016, no. 1, pp. 91-99 (in Russian).
8. Korobeynikov V.V. Moseev P.A., Pshakin G.M., Skupov M.V., Glushenkov A.E. Rogozhkin V.Yu. Development of the structured relational database for civil plutonium in Russia. *VANT. Ser. Fizika yadernykh reaktorov*, 2015, iss. 5, pp. 108-114 (in Russian).
9. Moseev P.A. Korobeynikov V.V., Pshakin G.M. The Database for Civil Plutonium in Russia. Scientific session of NRNU MEPhI-2015. Book of abstracts. Moscow. NIYaU MIFI Pibl., 2015, v. 3, p. 327 (in Russian).
10. Moseev P.A., Korobeynikov V.V., Moseev A.L. Optimization of Plutonium Inventories for a Closed Nuclear Fuel Cycle with Thermal and Fast Nuclear Reactors. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2013, no. 2, pp. 123-132 (in Russian).
11. Pshakin G.M., Korobeynikov V.V., Moseev P.A. Handling plutonium in the closed fuel cycle. Problems and proposals on their solution. Forum «Neutronics and thermal physics problems of nuclear energy». XXVI Interdepartmental workshop «Neutronics problems of nuclear energy (Neutronics-2015)». Book of abstracts. Obninsk. GNC RF-FEI Publ., 2015 (in Russian).
12. Pshakin G.M., Korobeynikov V.V., Moseev P.A. Development of the Structured Relational Database for Civil Plutonium in Russia». 56-th International Conference INMM-2015, USA.
13. Egorov A.F., Kalashnikov A.G., Moseev P.A., Korobeynikov V.V. Comparative Analysis of Simulation Calculations of Nuclear Power Generation in Russia Using CYCLE and MESSAGE Software Complexes. *VANT. Ser. Physics of Nuclear Reactors*, 2013, iss. 2, pp. 37-45 (in Russian).
14. Pshakin G., Ryazanov B., Kilmartin W., Dickman D., Codman G., Kelly G. Software for MC&A; Standard and Modeling Means for Enhancing MC&A System Management. INMM, 2002.
15. Pshakin G. Russia-USA Agreement on Utilization of Plutonium Recognized as Excessive for Weapons Purposes – Alternatives and Future. *Yadernyj Control'*, 2016, v. 477, no. 4, pp. 32-38 (in Russian).
16. Zrodnikov A.V. Pshakin G.M. Voropaev A.I. Russian-American Cooperation in the Development of Russian Plutonium Registry. 43-th INMM Annual Conference, paper 179, US Orlando, 2002.

Authors

Pshakin Gennady Maximovich, Senior Scientist, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: pshakin@ippe.ru

Moseev Pavel Andreevich, Junior Researcher

E-mail: pmoseev@ippe.ru

Korobeynikov Valeri Vasilievich, Leading Scientist, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: korob@ippe.ru

Moseev Andrej Leonidovich, Senior Scientist

E-mail: amoseev@ippe.ru