

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ  
ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ «АТОМИС КИПЕР»  
AUTOMATED NUCLEAR MATERIAL ACCOUNT  
AND CONTROL SYSTEM “АТОМИС КИПЕР”**

***М. С. Веренчикова<sup>1</sup>, Е. М. Хаджинов<sup>1,2</sup>, А. А. Беспалый<sup>1</sup>,  
А. В. Тереня<sup>1</sup>, Т. С. Стельмак<sup>1</sup>, О. М. Хаджинова<sup>2</sup>  
M. Verenchikova, Y. Khajynau, A. Biaspaly,  
A. Tsiarenia, T. Stselmak, O. Khajynava***

*<sup>1</sup>Прикладные системы, г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup> Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*khadzhinov@appsys.net*

*<sup>1</sup>Applied Systems ltd., Minsk, Belarus*

*<sup>2</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Нигде в мире нет более контролируемой и регламентируемой области, чем контроль и учет ядерных материалов. Жизненный цикл любой тепловыделяющей сборки длится более 10 лет, на нее оформляется более 200 официальных документов. Ручная подготовка такого объема документов и отчетов требует массы усилий и сопряжена со значительным риском внесения ошибок. Atomic Keeper – это современная информационная система, предназначенная для учета и контроля ядерных материалов, которая соответствует всем международным стандартам. Atomic Keeper имеет гибкую структуру, позволяющую адаптировать процедуру учета под любой процесс документооборота на предприятии и под любой вариант национальных норм. Хорошо проработанная система визуализации дает ясное представление о текущей ситуации с топливом внутри реактора, в бассейне выдержки и в хранилище свежего топлива, а также предоставляет детальную информацию о местоположении и состоянии любой ТВС на любой момент времени [1].

There is hardly anything in the world that would be controlled so strictly as nuclear materials. The lifecycle of every unit of nuclear fuel, which is more than 10 years long, is described in more than 200 official documents. Every step is thoroughly regulated. Manual preparation of all those documents and reports process entails significant costs and high risk of errors. Atomic Keeper is a modern information system for accounting and control of nuclear materials that fully complies with all international standards. Atomic Keeper has an adaptive architecture, which allows configuring the system in accordance with the requirements and regulations of a particular object and the national legislation norms. The well-thought data visualization system provides a clear overview of the actual situation at the reactor core, cooling pools, and nuclear fuel storage facilities and detailed information on the location and state of each accounting unit at any particular time [1].

*Ключевые слова:* ядерный материал, учет и контроль, МАГАТЭ, автоматизированная система, АЭС, ВВЭР, ЗБМ, КТИ, главный журнал, ОИИК, СНК, МБО.

*Keywords:* nuclear material, accounting and control, IAEA, automation system, NPP, PWR, MBA, KMP, general ledger, ICR, PIL, MBR.

Атомная электростанция является не только сложным технически, но и опасным объектом, поскольку выполнение основной задачи атомной электростанции – выработка электроэнергии – основано на использовании ядерных материалов. Ядерные материалы несут в себе угрозу как для жизни, здоровья и деятельности человека, так и для окружающей среды. Дополнительные сложности вызывает тот факт, что ядерные материалы могут также использоваться для производства ядерного оружия. Данные причины обусловили особое отношение к ядерным материалам на объектах использования атомной энергии, в том числе и на атомных электростанциях. Обращение с ядерными материалами на АЭС регламентируется нормами, правилами и рекомендациями на национальном и международном уровнях. С целью недопущения переключения значимых количеств ядерных материалов и подтверждения заявленной деятельности на атомных электростанциях:

- 1) все этапы обращения с ядерными материалами документируются, то есть весь комплекс транспортно-технологических работ и процедур, выполняемых с ядерными материалами на протяжении всего их жизненного цикла на АЭС, подлежит документированию и сохранению данной информации на протяжении установленного времени;
- 2) выполняется учет количества ядерных материалов и изменение данного количества, периодически проводятся физические инвентаризации имеющихся ядерных материалов;
- 3) формируются отчетные документы, направляемые в государственный компетентный орган системы учета и контроля ЯМ и в МАГАТЭ;

4) периодически на АЭС проводятся инспекции со стороны МАГАТЭ;

5) обеспечивается контроль за сохранностью ядерных материалов, предотвращение их несанкционированного использования и хищения.

Ряд из указанных процедур учета и контроля ядерных материалов (например, регистрация операций и работ с ЯМ, документальное сопровождение, формирование отчетности) могут быть автоматизированы, что и обусловило появление автоматизированных или информационно-аналитических систем учета и контроля ядерных материалов. Основным недостатком существующих систем можно назвать отсутствие универсальности и адаптируемости (гибкости). Так, при построении систем, позволяющих вести учет и контроль ядерных материалов, разработчик (поставщик) системы совместно с представителями атомной электростанции собирает материалы о том, какие работы и процедуры выполняются или будут выполняться на АЭС с ЯМ, какова будет последовательность действий при их осуществлении, какие данные и сведения необходимо фиксировать, какие документы (содержание, формат и иное) необходимо составлять и иное. После сбора и анализа данной информации в системе кодируются четкие последовательности действий, которые соответствуют транспортно-технологическим работам и процедурам обращения с ЯМ. В случае изменений в процедурах обращения с ядерными материалами либо при отсутствии необходимых данных в момент разработки системы (например, на строящейся АЭС могут быть известны не все нюансы работы с ЯМ во время последующей эксплуатации), возникают сложности с актуализацией системы и, соответственно, возможностью ее использования.

При разработке автоматизированной системы «Atomic Keeper» (далее АС УиК ЯМ «Atomic Keeper») был выбран несколько иной подход – выявлены и закодированы не целые последовательности действий, соответствующие той или иной операции с ЯМ на конкретной АЭС, а элементарные независимые друг от друга шаги (в понятиях системы «блоки»), из которых могут быть составлены последовательности, удовлетворяющие нуждам той или иной станции. Таким образом, изменение регламента обращения с ЯМ на АЭС не скажется на возможности регистрации данных в системе, достаточно будет изменить количество блоков или их расположение друг относительно друга в последовательности. Благодаря своей элементарности блоки являются универсальными и могут быть использованы на различных атомных электростанциях. За каждым из блоков закреплен один или несколько шаблонов документов с набором основных полей, заполняемых в блоке, что дает возможность получать автоматически заполненные рабочие документы.

В отличие от систем-аналогов, в которых регистрация событий осуществляется постфактум, то есть только после реального выполнения работ с ЯМ специалистами АЭС, а подготовка необходимых рабочих документов выполняется вручную, в данной системе регистрация события может начаться до совершения реальных действий, а на основании известных к этому моменту данных могут быть сформированы и частично заполнены рабочие документы. Созданные документы могут быть использованы во время реального совершения действия для ввода данных, которые становятся известными только в процессе выполнения работ, например, фактические результаты измерений параметров ЯМ, точные дата и время совершения действий и иное. Далее полученные значения вносятся в систему, регистрация события завершается, значения перезаписываются в базе данных. Возможность получения рабочих документов (с/без частично заполненными данными) существенно облегчает деятельность специалистов АЭС, учитывая количество и сложность данных документов.

Отличительной особенностью данной системы учета и контроля ЯМ от систем-аналогов является поддержка возможности просмотра записей отчета об изменениях инвентарного количества ядерных материалов на этапе ввода данных о выполненных (или планируемых) работах с ЯМ. В системах-аналогах имеется возможность зарегистрировать уже выполненные работы и на их основании получить автоматически генерируемый отчет, который направляется государственному компетентному органу системы учета и контроля ЯМ и МАГАТЭ. Обнаружить ошибку в отчете можно только после генерации отчета. В данной же системе еще на этапе ввода данных о выполненных (или планируемых) работах с ядерными материалами отображаются записи будущего отчета. Обнаружив ошибку в введенных данных, ее можно исправить тут же и еще раз просмотреть обновленные записи будущего отчета. Таким образом, снижается вероятность ввода ошибочных данных, получения некорректного отчета и его отправления в сторонние организации.

В отличие от систем-аналогов в данной системе реализована возможность создания, модифицирования и применения схем загрузок и перегрузок реактора. В схемах задается то, из каких ячеек активной зоны реактора необходимо выгрузить отработавшее ядерное топливо, между какими ячейками активной зоны необходимо выполнить перестановку ядерного топлива, а также в какие ячейки активной зоны нужно загрузить свежее ядерное топливо и какими свойствами (процент обогащения) загружаемое топливо должно обладать. Схемы не составляются специалистами АЭС, ответственными за учет и контроль ядерных материалов, но на основании данных схем разрабатываются рабочие документы, планируется осуществление подготовительных работ со свежим ядерным топливом, в систему вносятся данные о всех перестановках ядерных материалов, выполненных по схеме. В АС УиК ЯМ «Atomic Keeper» реализована возможность создания схем и их использования во время ввода данных о работах по загрузке (перегрузке) активной зоны реактора, что выражается в автоматическом заполнении данных о перестановках ядерных материалов и автоматической подготовке рабочих документов. Операторам системы останется только указать точные дату и время перестановок.

Отличительной особенностью системы является реализация визуального представления локаций (местоположений) ядерных материалов. Отличие заключается в применении различных цветовых шкал, соответствующих

наиболее важным параметрам ядерных материалов, для отображения распределения ядерных материалов с учетом значений данных параметров. Представление визуальной информации и реализация группировки ядерных материалов по значениям параметров дает возможность быстро анализировать данные, не переходя в иные модули системы. Так, за несколько секунд можно ответить на вопрос о количестве свободных ячеек в помещении или о количестве ядерных материалов определенного типа или с определенным значением интересующего параметра.

В отличие от систем-аналогов для многих сущностей системы (уведомления, устройства индикации вмешательства, операции) реализованы жизненные циклы, смены статусов и состояний, что приближает систему к реальности.

Значительное число функциональных возможностей (например, возможность автоматического обновления изотопного состава ядерного топлива, ведение списка кампаний энергоблоков, возможность регистрации всех стадий жизненного цикла устройств индикации вмешательства, ведение учетных карточек, ведение Главного и Вспомогательного журнала, ведение отчета ЛП, возможность создания корректирующих справок к отчетным документам) по отдельности встречается в системах-аналогах, но в данной системе реализована и поддерживается каждая из них. Поддержка нотификаций (модуль «Уведомления») отсутствует в системах-аналогах.

Применение системы возможно на атомных электростанциях с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР), являющихся одними из наиболее распространенных на сегодняшний день. Список ядерных материалов ограничивается ураном и плутонием (возможность включения иных элементов реализуема). Описание системы приведено с учетом указанных факторов.

Системы-аналоги:

- NUCMAT, Армения [2].
- АС УиК ЯМ на Игналинской АЭС [3].
- АС УиК ЯМ АЭС «Бушер».
- Компьютерная программа учета и контроля ядерных материалов с модулем определения изотопного состава для АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000.

Автоматизированная система учета и контроля ядерных материалов «Atomic Keeper», разработанная в ООО «Прикладные системы», представляет собой клиент-серверное приложение, предназначенное для автоматизации процедур учета и контроля ядерных материалов, централизованного хранения и обработки данных по обращению с ЯМ на атомной электростанции, формирования отчетной и учетной документации, а также предоставления достоверной информации для планирования и осуществления деятельности по учету и контролю ЯМ на территории АЭС [3].

Система выполняет следующие задачи:

1) сбор, обработку и хранение информации о свойствах и характеристиках ядерных материалов, используемых на атомной электростанции;

2) формирование и ведение учетных и отчетных документов;

3) предоставление информации о количестве ядерных материалов в местах их нахождения.

К основным функциям, которые выполняет система, относятся следующие:

1) учет характеристик каждой учетной единицы, ведение истории их изменения;

2) учет местоположения каждой учетной единицы;

3) регистрация операций, работ и особых учетных процедур, выполняемых с учетными единицами;

4) регистрация всех перемещений учетных единиц;

5) обеспечение возможности создания, модификации и применения схем загрузок и перегрузок (во время регистрации работ с активной зоной реактора);

6) формирование рабочей документации, необходимой специалистам АЭС до, во время или после выполнения работ с ядерными материалами в действительности;

7) предоставление данных о количестве ядерных материалов во всех ЗБМ и КТИ;

8) формирование отчетной документации о наличии ядерных материалов и изменение количества ядерных материалов в виде отчетов установленной формы (ОИИК (ICR), СНК (PIL), МБО (MBR));

9) ведение учетных документов (Главный и Вспомогательный журналы, учетные карточки, картограммы размещения ядерных материалов);

10) поддержка возможности коррекции данных о местоположении и изотопном составе ядерных материалов (с отражением в отчетных и учетных документах);

11) обеспечение информационного сопровождения инспекций и физических инвентаризаций, проводимых на территории АЭС;

12) обеспечение проверки вводимых (выбираемых) данных на соответствие валидационным критериям.

Система состоит из следующих взаимосвязанных модулей (подсистем):

1) модуль «Операции»;

2) модуль «Карточки»;

3) модуль мониторинга текущего состояния ядерных материалов;

4) модуль «Журналы»;

5) модуль «Отчеты»;

6) модуль «Кампании»;

- 7) модуль «Устройства индикации вмешательства»;
- 8) модуль «Справочники»;
- 9) модуль «Уведомления».

АС УиК ЯМ «Atomic Keeper» имеет клиент-серверную архитектуру с «тонкими» клиентами. В качестве «тонкого» клиента используется веб-браузер. На клиентском компьютере (рабочей станции) выполняются интерфейсы пользователей, проходят предварительную проверку вводимые данные. Сервер управляет доступом к базе данных [3]. Функционирование системы обеспечивается следующим программным обеспечением:

- операционная система Windows Server 2016;
- СУБД MS SQL Server 2016;
- Net framework 4.5;
- IIS.

Система реализована с использованием следующих технологий:

- .NET Framework 4.5;
- платформа ASP.NET MVC 5;
- СУБД MS SQL Server;
- языки разметки HTML5, CSS3;
- языки программирования C#, Transact-SQL, JavaScript (ES6).

Построение архитектуры системы реализовано по MVC-шаблону («Model-View-Controller» паттерн) с разделением данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента. Таким образом, в системе можно выделить следующие уровни:

- пользовательского интерфейса;
- бизнес-логики;
- базы данных.

Верхним уровнем является уровень интерфейса пользователя. На этом уровне система содержит формы ввода/вывода информации, функции проверки корректности вводимых данных до их обработки на стороне сервера. Интерфейс реализуется на языке разметки HTML5/CSS3 и с помощью языков программирования TypeScript, JavaScript. Отрисовка контейнеров и оборудования с их содержимым на страницах мониторинга текущего состояния ядерных материалов выполняется с помощью canvas-элемента (элемент языка разметки HTML5), предназначенного для создания растрового двухмерного изображения с помощью JavaScript-скриптов.

На уровне бизнес-логики система содержит программные коды, выполняющие функции поддержки необходимых операций. Уровень бизнес-логики написан на языке C#.

Уровень базы данных состоит из таблиц, представлений, хранимых процедур, функций, триггеров, реализованных на языке Transact-SQL и необходимых для полноценной работы системы учета и контроля. Связь уровня бизнес-логики и уровня базы данных происходит с помощью O/RM от Microsoft Entity Framework и синтаксиса LINQ.

В качестве ключевых свойств автоматизированной системы учета и контроля ядерных материалов «Atomic Keeper», разработанной ООО «Прикладные системы», можно указать следующее [3]:

**Универсальность.** Система ориентирована не только на учет ядерных материалов, но и на мониторинг происходящего. Это позволяет руководителям объекта или регулирующего органа наблюдать картину в целом.

**Соответствие международным нормам.** Система отвечает требованиям МАГАТЭ:

- соглашение о всеобъемлющих гарантиях МАГАТЭ (INFCIRC/153/Corrected);
- рекомендации по физической ядерной безопасности, касающихся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/Rev.5).

**Локализация.** Все формы, справочники и отчеты могут быть переведены на другой язык без изменения исходных кодов.

**Адаптируемость.** Операции по работе с топливом в «Atomic Keeper» легко изменить и подстроить под изменившийся регламент. Система может быть адаптирована под другой объект без привлечения разработчиков и без внесения изменений в исходные коды Системы.

**Самодиагностика.** Система поставляется с набором автоматизированных тестов с открытым кодом, предназначенных для проведения самодиагностики и приемки новой версии. Найденные в процессе самодиагностики ошибки сохраняются в отчете с достаточным количеством информации, позволяющим локализовать проблемную область на стороне разработчика без использования базы данных заказчика.

**Конфиденциальность.** Реализованы возможности по адаптируемости и самодиагностике, которые позволяют надежно поддерживать Систему, оперативно исправлять возникающие отказы и поставлять новые версии без контакта разработчиков с информацией ограниченного распространения, принадлежащей атомной станции.

**Соответствие нормам законодательства Республики Беларусь.** Организация-разработчик ООО «Прикладные системы» имеет лицензию на право осуществления деятельности по технической и (или) криптографической защите информации.

Автоматизированная система учета и контроля ядерных материалов «Atomic Keeper», разработанная ООО «Прикладные системы» (г. Минск), в скором времени будет поставлена на РУП «Белорусская АЭС».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Atomic Keeper – Automated nuclear material account and control system [Электронный ресурс] : Applied systems. – URL: <http://www.appsys.net/en/products/atomickeeper> (дата обращения: 28.02.2019).
2. NUCMAT HELP [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.nucmat.com/NUCMAT\\_help/index.htm](http://www.nucmat.com/NUCMAT_help/index.htm). (дата обращения: 28.02.2019).
3. Кузнецов, В. Н. Учет и контроль ядерных материалов на Игналинской АЭС [Электронный ресурс] / В. Н. Кузнецов, С. Г. Монахов // Dysnai-2000.– URL: <http://www.dysnai.org/Reports/2000-2004/2000/4.pdf>. (дата обращения: 28.02.2019).
4. Хаджинов, Е. М., Веренчикова, М. С., Беспалый, А. А., Тереня, А. В. Автоматизированная система учета и контроля ядерных материалов «Atomic Кеерег» // Свидетельство о регистрации компьютерной программы №1033. – Национальный центр интеллектуальной собственности РБ. – Дата подачи 26.03.2018. Дата регистрации 09.04.2018.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МАТРИЦА НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ АКТОВ «АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ»

### SYSTEM APPROACH TO ENSURING RADIATION SAFETY: HIERARCHICAL MATRIX OF REGULATORY LEGAL ACTS «EMERGENCY PREPAREDNESS AND RESPONSE»

***М. Г. Герменчук, Е. К. Нилова, А. А. Загороднюк***  
***M. Germenchuk, E. Nilova, A. Zagorodnuk***

*Центр по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь,  
г. Минск, Республика Беларусь  
secnrs@mchs.gov.by  
Center for Nuclear and Radiation Safety, Minsk, Republic of Belarus*

Проведен сравнительный анализ систем нормативно-правового регулирования в части аварийной готовности и реагирования Республики Беларусь и Российской Федерации с учетом требований Международного агентства по атомной энергии.

A comparative analysis of regulatory systems in terms of emergency preparedness and response of the Republic of Belarus and Russian Federation in accordance with requirements of the International Atomic Energy Agency was carried out.

*Ключевые слова:* радиационная безопасность, аварийная готовность и реагирование.

*Keywords:* radiation safety, emergency preparedness and response.

Для обеспечения социально-приемлемого уровня радиационной безопасности населения [1] и окружающей среды на национальном уровне, в том числе для эффективного аварийного реагирования, Республика Беларусь располагает широкой нормативной правовой и нормативной технической базой. Эта база начала формироваться как необходимый элемент обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды после катастрофы на Чернобыльской АЭС. Разработанная для этих целей законодательная база позволяет обеспечить надлежащий уровень радиационной безопасности на территориях, подвергшихся «чернобыльскому» радиоактивному загрязнению.

Однако в последние годы появились новые угрозы и риски в области обеспечения радиационной безопасности, которые связаны с тремя причинами [2]. Во-первых, после катастрофы на Чернобыльской АЭС международное сообщество обращает особое внимание на необходимость создания эффективной системы аварийного планирования, во-вторых, события на АЭС Фукусима-1 еще раз подтвердили необходимость готовности к реагированию на радиоактивное загрязнение за счет переноса на дальние расстояния в трансграничном контексте, в-третьих, Беларусь приступила к строительству Белорусской АЭС. Следует также обратить внимание на рост опасности международного радиологического терроризма [3].

Внешний аварийный план Республики Беларусь должен обеспечить надлежащий уровень аварийной готовности с учетом изменяющегося состава рисков и угроз [4]. На этом этапе Республика Беларусь нуждается в современной нормативной правовой базе для эффективного управления аварийными ситуациями, построенной с учетом национального опыта, в соответствии с международными нормами и стандартами МАГАТЭ, а также практики Российской Федерации.