

Atomic Keeper – Автоматизированная система для учёта и контроля ядерных материалов



Система Atomic Keeper была запущена в эксплуатацию на АЭС в декабре 2019

В мае 2019 года система Atomic Keeper была продемонстрирована во время миссии ISSAS. В марте 2020 года следующая миссия INIR завершилась положительным отзывом. Летом 2020 года приём топлива и инспекция МАГАТЭ также прошли без проблем.

В августе 2020 года система Atomic Keeper была выбрана в качестве примера внедренной инновации на форуме прошедшем в рамках 64 Генеральной Конференции МАГАТЭ.

Вызовы, которые мотивировали разработку

Строящаяся Белорусская атомная электростанция нуждалась в реализации системы учёта и контроля ядерных материалов на уровне установки. Процесс внедрения такой

системы включает в себя создание системы ведения записей и предоставления отчётов на установке. В соответствии с документом Nuclear Material Accounting Handbook [IAEA, Vienna, 2008] оператор установки должен поддерживать систему учётных и эксплуатационных записей для каждой зоны баланса материала (ЗБМ). Учётные и эксплуатационные записи должны отражать:

- все инвентарные изменения, так, чтобы доступ к книге инвентарных изменений был возможен в любое время;
- все результаты измерений, которые проводились для определения физического инвентарного количества (включая лабораторные анализы и исходные документы);
- все поправки и корректировки, которые были сделаны в отношении инвентарных изменений, книги инвентарных изменений и физических инвентаризаций.

Более того, эта система должна поддерживать уведомления, чтобы было возможным планирование. Оператор должен подготавливать учётные отчёты, основанные на учётных записях ЗБМ, и подавать эти отчёты через ответственные органы в МАГАТЭ.

Кроме того, должны были быть реализованы **дополнительные, не типичные для таких систем требования:**

- графическое отображение местонахождения топлива, его обогащения, выгорания, типа, наработки плутония в нём, статуса оборудования – для получения общего представления о ситуации с ядерным топливом и оборудованием во всех зонах баланса материала, а также детальной информации по каждой отдельной области (см. модуль «Мониторинг»);
- гибкий конструктор рабочего процесса – чтобы избежать жёсткого кодирования хода работ оператора; стоит отметить, что фиксированных рабочих процедур даже не существовало во время начала проекта (см. модуль «Операции»);
- добавление в систему устройств индикации вмешательства (УИВ) – для обеспечения возможности регистрировать и эксплуатировать УИВ вместе с ядерными материалами и оборудованием (см. модуль «Устройства индикации вмешательства»);
- добавление «История изменений» есть в каждой карточке – для того, чтобы можно было видеть, как и где использовались контейнеры, что было размещено на данной позиции ранее, с момента начала эксплуатации АЭС (см. модуль «Карточки»);
- добавление Печати картограмм различных областей – для облегчения навигации и поиска оборудования на месте (см. модуль «Документы»).

Система Atomic Keeper была создана, чтобы выполнить все упомянутые выше требования, а также чтобы уменьшить вероятность человеческой ошибки, обеспечить надёжное и безопасное хранение данных, отслеживать все изменения в базе данных ядерных материалов.

Обычно системы учёта ядерных материалов создаются специалистами по ядерным материалам, физиками и подобными специалистами, которые знают, как программировать, но разработка программного обеспечения не является их основной специальностью. Только в редких случаях такие системы создаются профессиональными разработчиками ПО. С одной стороны, причина этого в том, что стандартные требования, описанные выше, слишком сложные, чтобы быть переведёнными для людей, не знакомых с правилами учёта и контроля ядерных

материалов. С другой стороны, участие профессиональных разработчиков ПО обеспечивает компетентную архитектуру, которая позволяет системе адаптироваться под законодательство разных стран и рабочий процесс разных организаций. Также эта архитектура позволяет разработчикам реализовать дополнительную, описанную выше функциональность, которая не является типичной для таких систем. Применение опыта разработки ПО из других областей улучшает удобство использования системы, придаёт ей современный вид и делает её дружелюбной пользователю.

Вызовы, с которыми «Прикладные системы» столкнулись в первую очередь, были следующими.

- Можем ли мы понять и осуществить функциональные требования, описанные выше?
- Можем ли мы “переместить” требования с “ядерного уровня” на “уровень ПО”?
- Можем ли мы найти общий язык с людьми из других областей и с другим образованием?
- Может ли компания поддержать высокий уровень нефункциональной безопасности и требований процесса разработки, в том числе тех, которые обязательны для поставщиков атомных электрических станций?

Теперь ответ на все эти на все эти вопросы **ДА**. Добро пожаловать в обзор нашего Atomic Keeper!

Описание системы

Система Atomic Keeper состоит из нескольких логических модулей.

1. **Модуль «Мониторинг»** обеспечивает графическое представление зон баланса материала или ключевых точек измерения. Пользователь может выбрать любую ТВС на страницах мониторинга и получить список её параметров на информационной панели. Всё топливо окрашено в соответствии с выбранным режимом отображения («Обогащение», «Выгорание», «Тип» и др.), каждая ТВС имеет определённую интенсивность цвета в зависимости от именно её обогащения, выгорания или типа.

Способность графически визуализировать свойства каждого элемента на мониторинге делает систему современной и дружелюбной пользователю. Оператор получает инструмент для быстрого поиска, где он может собрать и выделить элементы (топливо, оборудование) на основе их общих свойств (таких как тип, обогащение и др.) прямо на экране мониторинга.

2. **Модуль «Операции»** — это главная часть системы, которая обеспечивает гибкую работу с ядерным топливом, то есть оператор может строить собственный рабочий процесс и адаптировать его без привлечения компании-разработчика. Он конструирует желаемую операцию с помощью набора универсальных блоков. Регистрация ресурсов, их перемещение и экспорт, контроль герметичности оболочки твэл, изменение выгорания, физическая инвентаризация, обращение с УИВ осуществляются через этот модуль.

Чтобы уменьшить вероятность человеческой ошибки, система позволяет регистрировать топливо посредством загрузки паспорта топлива (так что пользователю не обязательно вводить паспортные данные), описание материала меняется автоматически и проводится проверка вводимых значений.

На основе введённых данных для некоторых блоков генерируется эксплуатационная документация. Оператор может сразу же видеть влияние, которое его операция окажет на отчёт об изменении инвентарного количества и на журналы, до завершения этой операции.

3. В модуле **«Отчётная документация»** пользователь может генерировать PIL (CHK), ICR (ОИИК) и MBR (МБО) как в восстановленной, так и в labelled форме. Более того, LII (ИС ЯМ) и CN (КС) могут быть созданы в модуле. Все эти документы могут быть сгенерированы на английском или на одном из государственных языков (например, на русском). Следует отметить, что наша система выполнена с использованием двуязычной технологии, по которой пользователь может видеть информацию как на английском, так и на национальном языке. Добавление нового национального языка не представляет сложности, так как вся внутренняя структура уже выполнена на английском.

4. **Модуль «Журналы»** содержит историю изменений ядерных материалов по каждой ЗБМ (Главный журнал) или КТИ (Вспомогательный журнал) для урана и плутония. Отображаемый период регулируется. Каждый журнал может быть экспортирован в .xlsx-файл.

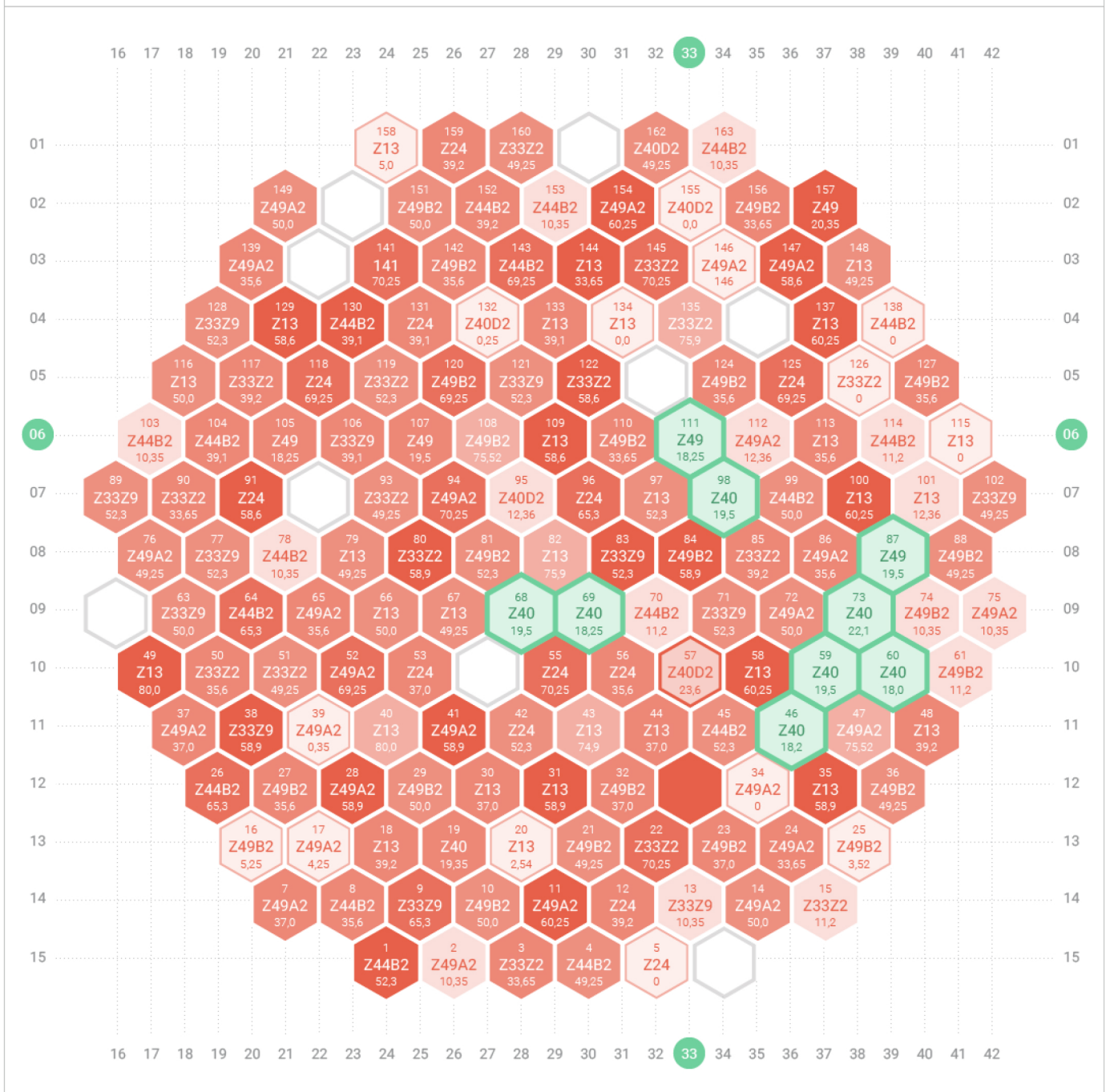
5. В модуле **«Карточки»** пользователь может получить детальную информацию о каждом ресурсе, включая контейнеры и стационарное оборудование. К каждой карточке ресурса можно перейти со страницы мониторинга, из карточки связанного ресурса или через общий список карточек, где можно воспользоваться фильтрацией и сортировкой по различным параметрам.

Данные карточки могут быть экспортированы в .docx-файл, оформленный в соответствии со стандартами АЭС.

Ещё одной целью карточек является возможность корректировки. Оператор может изменить некоторые поля, которые изначально были заполнены с ошибками. Такие изменения видны в историях изменений и отмечены как коррекции в инвентарных отчётах.

6. **Модуль «Устройства индикации вмешательства»** обеспечивает обращение с УИВ и содержит данные об УИВ, когда-либо применённых на АЭС.

7. **Модуль «Кампании»** содержит информацию о всех прошедших и текущих кампаниях реакторов, такую как список задействованных ресурсов, расположение ресурсов в активной зоне в симметрии 360° и 60°, календарная и эффективная продолжительность кампании и др. Все данные о кампании могут быть экспортированы в .docx-файл.



8. **Модуль «Документы»** содержит все когда-либо прикрепленные к проведённым операциям документы и предоставляет печать картограмм. Вся КТИ или её часть может быть отображена на картограмме. Пользователь может напечатать чёрно-белую картограмму, оформленную как производственный документ, для использования в рабочем процессе АЭС или картограмму в цвете для анализа и демонстрации информации. Для отображения в цвете могут быть выбраны следующие параметры: обогащение, выгорание, тип ТВС и др. Заполнение ячеек картограммы изменяется в соответствии с выбранным типом картограммы.

9. В модуле **«Уведомления»** пользователь может установить уведомление, которое появится на странице мониторинга в указанный день. Некоторые уведомления формируются системой автоматически после проведения операций некоторых типов.

10. **Модуль «Справочники»** содержит все справочные данные, такие как коды «Код 10» МАГАТЭ, типы ТВС и УИВ, список сотрудников и др.

С технической точки зрения система Atomic Keeper имеет клиент-серверную архитектуру с «тонким» клиентом (веб-браузером). Мы выбрали набор программных инструментов, которые обещают наилучшую стабильность в будущем и будут поддерживаться надёжными поставщиками в течении длительного времени. Работа системы обеспечивается следующим программным обеспечением:

- Операционная система Windows Server;
- Система управления базами данных MS SQL Server;
- Internet Information Server.

Архитектура системы построена с использованием шаблона Model-View-Controller, в соответствии с которым данные приложения, интерфейс пользователя и управляющий поток разделены. Таким образом, в системе могут быть выделены следующие слои: интерфейс пользователя, бизнес-логика, база данных. Верхним уровнем является уровень интерфейса пользователя. На этом уровне система содержит формы ввода/вывода информации, функции проверки корректности вводимых данных. Интерфейс реализован с помощью HTML5, CSS3, TypeScript и JavaScript. На уровне бизнес-логики система содержит программные коды, написанные на языке C#. Уровень базы данных состоит из таблиц, представлений, процедур, функций, триггеров, реализованных на языке Transact-SQL. Связь уровня бизнес-логики и уровня базы данных происходит с помощью ORM от Microsoft Entity Framework и синтаксиса LINQ.

Система Atomic Keeper спроектирована таким образом, чтобы у пользователей, базы данных и администраторов системы были отдельные аккаунты. Разные люди выполняют разные роли, что обеспечивает дополнительные гарантии против утечки данных. Однако, все действия различных участников записываются в журнал, который не удаляется и отображает данные в виде, удобном для чтения, с возможностью фильтрации и поиска. Для поддержки на случай ошибок, которые не могут быть воспроизведены на нашем внутреннем испытательном стенде, мы снабдили наше ПО системой автоматической самодиагностики со сложными открытыми журналами, которые могут быть проверены нетехническим персоналом физзащиты.

Роль системы

Белорусская АЭС получила надёжный инструмент для поддержания точной, полной и актуальной информации о местонахождении и свойствах ядерных материалов, о всех инвентарных изменениях и результатах измерений по каждой ЗБМ. Система обеспечивает автоматическую генерацию отчётной и эксплуатационной документации, безопасное хранение данных.

Более того, система Atomic Keeper имеет множество особенностей, например, страницы мониторинга, карточки ресурсов, печать картограмм и др., делающих работу с ядерными материалами более комфортной и эффективной.

История разработки

В 2012 году был заложен первый камень в основание будущей Белорусской АЭС. Через 2 года, в 2014, Владислав Шигера прибыл из Бушера в Беларусь для работы в качестве начальника лаборатории учёта и контроля ядерных материалов на Белорусской АЭС. В рамках своей деятельности он познакомился с Натальей Ермоленко, которая была главным специалистом в отделе физической защиты национального регулирующего органа (Госатомнадзор). Ранее Наталья работала в Международном экологическом институте им. Сахарова в отделе ядерной и радиационной безопасности вместе с Евгением Хаджиновым, который являлся по основному месту работы начальником отдела комплексной автоматизации в «Прикладных системах». У Евгения появилась идея: соединить свои знания в ядерной физике с IT-сферой его основной работы. С тех пор кампания стала исследовать возможность создания системы учёта и контроля ядерных материалов для Белорусской АЭС.

В июле 2015 группа сотрудников «Прикладных систем», в составе Сергея Усовича (директор), Виктора Савостина (ведущий инженер-программист) и Евгения Хаджинова, – посетила Белорусскую АЭС в Островце. Там у них была встреча с Сергеем Гущей (начальник отдела ядерной безопасности) и Владиславом Шигерой (начальник лаборатории учёта и контроля ядерных материалов). Вместе, они обсудили реальные шансы проекта по учёту и контролю ядерных материалов на АЭС. На основе своего предыдущего опыта работы Шигера поддержал эту идею, осознавая необходимость такой системы для нормальной работы станции.

С сентября 2015 года начался процесс разработки. В «Прикладные системы» из Госатомнадзора пришла Марта Веренчикова. Она окончила тот же университет, что Ермоленко и Хаджинов, и получила степень магистра в Московском инженерно-физическом институте. Марта стала главным архитектором системы. Вместе с ней была сформирована команда проекта (Алексей Беспалый, руководитель проекта, разработчик ПО; Алексей Тереня, разработчик ПО; Татьяна Стельмак, QA-инженер).

С конца 2016 года «Прикладные системы» были вовлечены в задачу лицензирования поставки программного обеспечения на АЭС. 25 июля 2017 года эта лицензия была получена.

В 2018 году базовая версия продукта была завершена, и 9 апреля 2018 года в Национальном центре интеллектуальной собственности был получен сертификат регистрации компьютерной программы #1033.

В августе 2018 года генеральный подрядчик АО «АСЭ» объявила тендер на поставку системы учёта и контроля ядерных материалов на Белорусскую АЭС. «Прикладные системы» и их партнёр «УТП-сервис» выиграла этот тендер в феврале 2019. Поставка и введение в эксплуатацию длились с марта по ноябрь 2019 года.

В 2019 году в «Прикладными системами» с АЭС пришла Елена Корнилович. Она оказала ощутимое влияние на окончательную версию системы в части требований компании-оператора.