

СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И ВИЗУАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ЗАГРУЗКИ ШТАТНОЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ РУКОВОДИТЕЛЯ ИСПЫТАНИЯ

М.М. Шаталин, В.А. Белобродский, Ю.В. Сухарев
**АО "Атомтехэнерго", Нововоронежский филиал "Нововоронежатомтехэнерго",
Нововоронеж, Россия**

Введение

Загрузка топливом штатной активной зоны реактора, с выполнения которой начинается этап ввода в эксплуатацию блока АС «Физический пуск», является ядерно-опасной работой, качественное выполнение которой закладывает в основание этапа его дальнейшее успешное продолжение.

Особое внимание при проведении первой загрузки уделяется вопросам ядерной безопасности, в частности, из-за её особенностей по сравнению с проектными процедурами по перегрузке, описанными в регламенте. Такими особенностями являются:

- наличие фаз «сухой» и «мокрой» загрузки;
- отсутствие циркуляции теплоносителя на «мокрой» фазе;
- низкими фоновыми значениями плотности нейтронного потока;
- невозможностью применения штатных приборов контроля уровня теплоносителя и концентрации борной кислоты в реакторе.

В силу вышесказанного пусконаладочному персоналу, проводящему работы, необходимо уделять повышенное внимание контролю параметров и контролю последовательности выполнения операций. Дополнительным фактором, определяющим повышенное внимание мерам безопасности, является отсутствие по понятным причинам двух барьеров безопасности – границы контура теплоносителя и герметичного ограждения РУ.

Применение нештатных приборов контроля обусловлено тем, что первая загрузка штатной активной зоны осуществляется всего лишь один раз в течение жизненного цикла блока. Поэтому системы контроля, предоставляющие различную информацию дежурному руководителю испытания (ДРИ), проектом не предусмотрены. Применение нештатных приборов, а также выполнение работ с учетом вышеперечисленных особенностей первой загрузки требуют организации нештатного рабочего места для ДРИ в центральном зале реакторного отделения. Оснащение нештатного рабочего места ДРИ регламентируется только этапной программой физического пуска и программой загрузки. Представление информации на рабочем месте ДРИ (обработка сигналов, вывод информации в графическом виде и др.) требует разработки специализированного сервисного программного обеспечения, учитывающего проектные особенности блока. Подробный обзор необходимости создания эффективных информационных систем в форме автоматизированного рабочего места инженера-физика приводится в работе [1].

Основываясь на опыте НВАТЭ, специалисты которого принимали участие практически во всех первых загрузках штатных активных зон отечественных и зарубежных АЭС, построенных по российским проектам, предпринята попытка создать систему информационной поддержки ДРИ, выполняющему операции по первой загрузке штатной активной зоны на своем рабочем месте в центральном зале реакторного отделения.

В докладе освещена история создания, текущее состояние и перспективы развития такой системы, получившей название – «Ассистент ДРИ».

Предпосылки создания программы «Ассистент ДРИ»

Одним из главных факторов успешного проведения работ по первой загрузке штатной активной зоны реактора является человеческий фактор, который связан с выполнением целого ряда обязанностей, среди которых можно отметить:

- 1) непрерывное сменное дежурство;

- 2) выдача технических указаний эксплуатационному персоналу, проводящему операции по загрузке топлива и обеспечивающего выполнение требований безопасности;
- 3) контроль правильности и последовательности работ согласно рабочей программе;
- 4) визуальный контроль разуплотненного реактора (соответствие активной зоны картограмме загрузки, отсутствие посторонних предметов);
- 5) отбор проб из реактора для анализа концентрации борной кислоты в теплоносителе;
- 6) перемещение по мере срабатывания сигнализаторов уровня теплоносителя в реакторе;
- 7) определение причин срабатывания сигнализации «СТОП» («РЕВЕРС») системы контроля перегрузки (например, электрическая помеха или реальное увеличение плотности нейтронного потока);
- 8) определение причин срабатывания сигнализаторов уровня теплоносителя;
- 9) ведение оперативной документации (рабочая и контрольная картограммы загрузки, оперативный журнал, журнал отбора проб и т.д.);
- 10) соблюдение мер безопасности, технологических ограничений и указаний, предусмотренных программой загрузки;
- 11) ежедневный обход центрального зала и осмотр оборудования;
- 12) поддержка в чистоте и порядке рабочего места ДРИ.

Попытка автоматизировать часть обязанностей ДРИ послужила предпосылкой создания данного средства информационной поддержки.

История развития и текущие возможности программы

Впервые подобная система была использована при вводе в эксплуатацию блока №1 Тяньваньской АЭС в Китае, с которой можно ознакомиться в работе [2].

В дальнейшем модернизированная версия программы была успешно опробована в процессе загрузки штатной активной зоны блока №3 Ростовской АЭС и получила хорошие отзывы от специалистов, работавших с ней. На рисунке 1 приведено основное окно программы, использовавшейся в процессе загрузки блока №3 Ростовской АЭС.

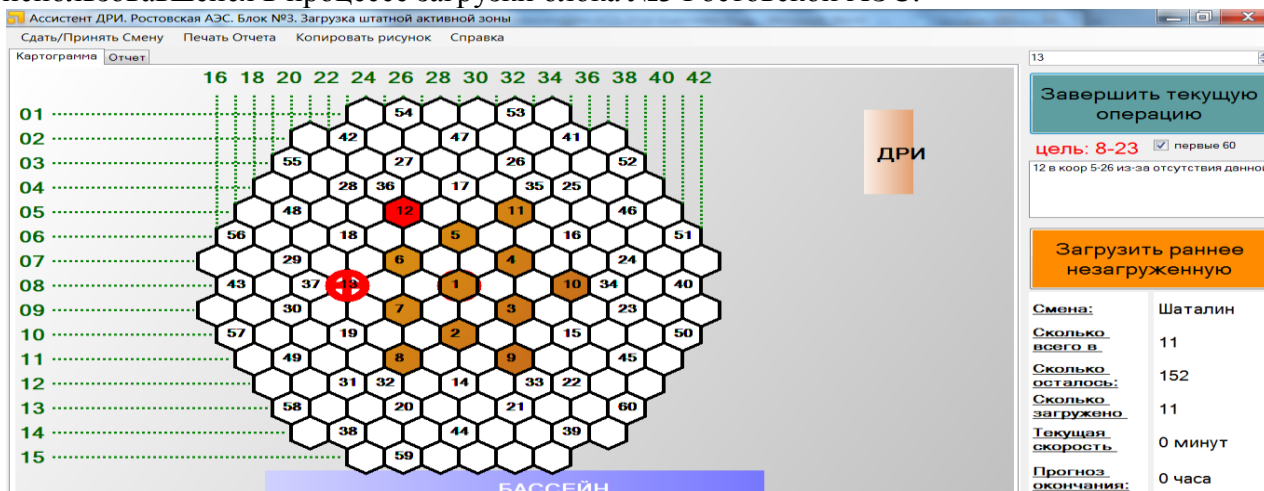


Рис. 1. Вкладка «Картограмма» программы «Ассистент ДРИ» в режиме имитации загрузки блока №3 Ростовской АЭС

Данная версия программы успешно проработала в полуавтоматическом режиме на протяжении всего времени загрузки реактора (порядка 5-ти дней). От пользователя (ДРИ) требовалось лишь несколько управляющих воздействий при помощи графического интерфейса программы:

- 1) «Сдать\Принять» смену, выбрав свою ФИО из списка ДРИ;
- 2) оформлять завершение текущих операций по загрузке с указанием замечаний, если такие были;

3) вводить повысотные отметки загруженных в реактор ТВС;

Фиксация времени завершения операции, ведение и набор статистики, отображение загруженных ТВС и отметка миганием ячейки с координатами следующей согласно рабочему графику загрузки ТВС выполнялись программой автоматически.

В данной версии этой программы нет особых графических представлений, кроме координатной сетки и номеров ТВС, но присутствует весь необходимый функционал для ведения документации и формирования отчета. Открыв вкладку меню «Отчет» (см. рис. 2), ДРИ моментально мог получить необходимую ему информацию за весь период от начала загрузки.

The screenshot shows the 'Assistent ДРИ' software interface. The main window title is 'Assistent ДРИ. Ростовская АЭС. Блок №3. Загрузка штатной активной зоны'. The menu bar includes 'Сдать/Принять Смену', 'Печать Отчета', 'Копировать рисунок', and 'Справка'. The interface is split into two panes: 'Картограмма' (left) and 'Отчет' (right).

The 'Отчет' pane contains a table with the following data:

Порядковый № загрузки	№ ТВС	Координата ТВС	Статус	Время загрузки	Смена	Повысотная отметка	Замечание
1	81	8-29	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
2	54	10-29	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
3	69	9-32	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
4	96	7-32	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
5	108	6-29	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
6	93	7-26	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
7	66	9-26	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
8	40	11-26	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
9	43	11-32	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
10	84	8-35	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
11	122	5-32	True	09.03.2016 15...	Шаталин	10897.5	
12	119	5-26	False	01.01.0001 0.0.	Шаталин		отсутствия данной ТВС

Below the table, there is a summary panel with the following information:

- Закончить текущую операцию** (button)
- Цель: 8-23 первые 60
- 12 в коор 5-26 из-за отсутствия данной
- Загрузить раннее незагруженную** (button)
- Смена: Шаталин
- Сколько всего в: 11
- Сколько осталось: 152
- Сколько загружено: 11
- Текущая скорость: 0 минут
- Прогноз окончания: 0 часа

Рис. 2. Информационное окно во вкладке «Отчет» программы «Ассистент ДРИ» в режиме имитации загрузки блока №3 Ростовской АЭС

По результатам опробования на Ростовской АЭС все ДРИ были опрошены на предмет замечаний и предложений. Из их отзывов было составлено техническое задание на доработку программы, содержащее 18 основных пунктов, и все они к моменту развертывания штатного рабочего места ДРИ на блоке №1 НВАЭС-2 были успешно реализованы.

Специфичность загрузки на блоке №1 НВАЭС-2 обусловлена тем, что в начале, в активную зону загружались 109 ИТВС, затем после загрузки 54-х ТВС, осуществлялась дозагрузка 109-ти ТВС в реактор с поочередным извлечением ИТВС и установкой ТВС в освобождаемую ячейку. Эту особенность необходимо было учесть в данной системе, что было успешно сделано. На рисунке 3 изображение внешнего вида рабочего окна программы «Ассистент ДРИ», которая была установлена на компьютере ДРИ в центральном зале блока №1 НВАЭС-2.

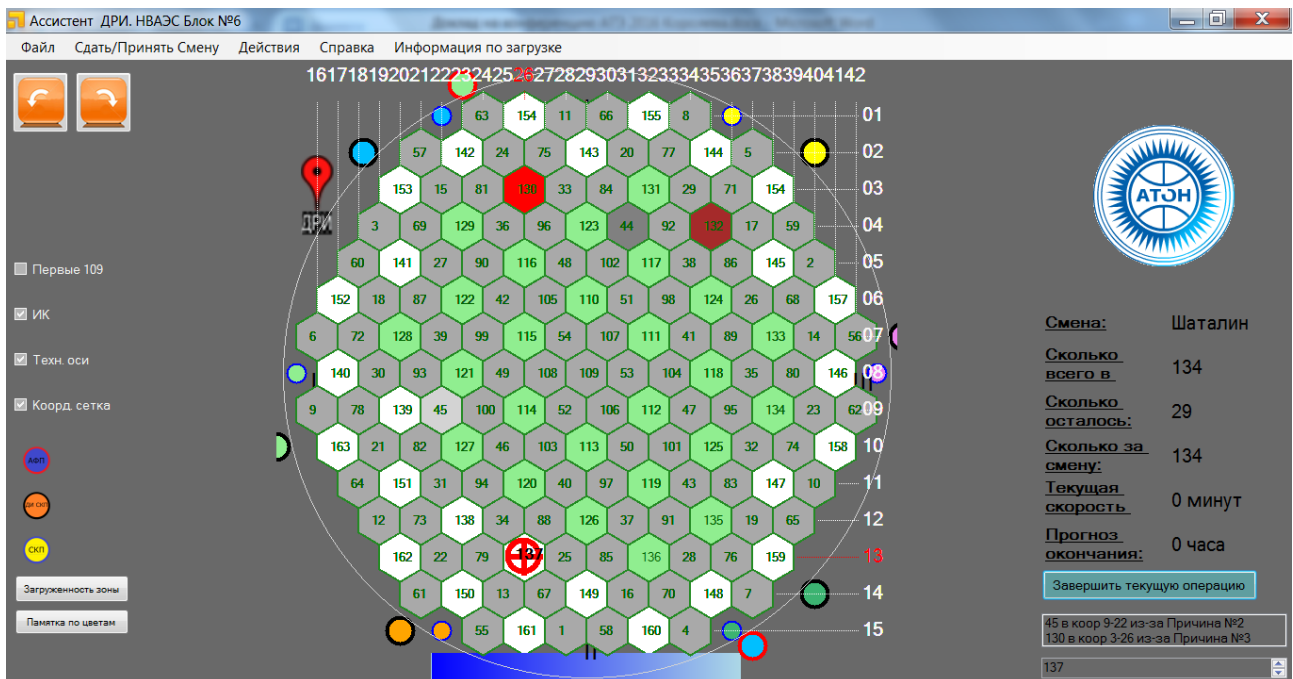


Рис. 3. Внешний вид рабочего окна программы «Ассистент ДРИ» в режиме имитации загрузки блока №1 НВАЭС-2 после обновления

На рисунке 4 изображена дополнительная информация по цветовой градации отображаемых на картограмме ячеек

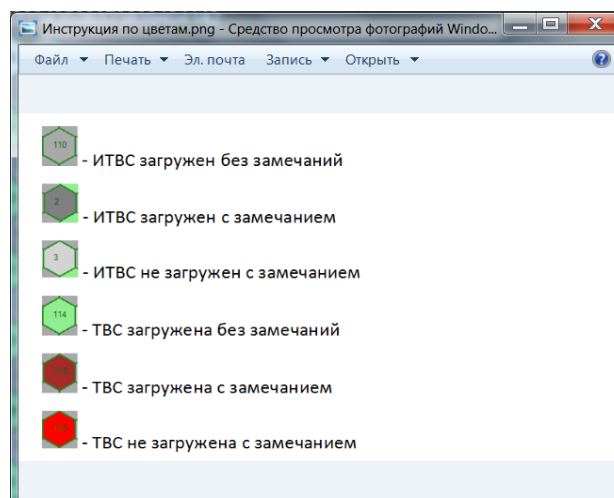


Рис. 4. Справочное окно программы «Ассистент ДРИ» для блока №1 НВАЭС-2

Основные отличия новой версии программы для блока №1 НВАЭС-2 по сравнению с использованной ранее на блоке №3 Ростовской АЭС:

- отображение загруженных ИТВС со световой градацией согласно рис.4;
- при помощи реализации методов поворота появилась возможность поворачивать активную зону в процессе работы программы (см. рис.5) в плане ориентации активной зоны;



Рис. 5. Демонстрация возможности изменения ориентации картограммы в программе «Ассистент ДРИ» в режиме имитации загрузки блока №1 НВАЭС-2

- возможность убирать и установить расположение ионизационных камер, технологических осей и координатной сетки на картограмме;
- отображение блоков детектирования различного типа;
- для оптимизации ввода данных при загрузке текущей ИТВС (ТВС) программа предлагает предыдущее значение повысотной отметки;
- появилась возможность восстановления исходного текущего состояния программы с сохранением всех данных при ее вторичном запуске после непреднамеренного или аварийного закрытия, основанная на процедуре сериализации объектов картограммы (в терминах объектно-ориентированного программирования) в формат XML (см. рис. 6);



Рис. 6. Окно восстановления состояния после непреднамеренного закрытия программы «Ассистент ДРИ»

- улучшенный процесс ведения статистики процесса загрузки, основанный на виртуальном обработчике событий (операций) (см. рис. 7), позволяющий экономить ресурсы системы (при передвижении полосы прокрутки данные автоматически подгружаются);

Порядковый номер загрузки	Номер ТВС	Повысотная отметка	Время	Смена	Подробности	Замечание (True-Есть/False-Нет)	Загрузка ТВС (True-Есть/False-Нет)
106	68	10231,1	10.03.2016 8:49:50	Шаталин		False	True
107	95	10231,1	10.03.2016 8:49:50	Шаталин		False	True
108	80	10231,1	10.03.2016 8:49:50	Шаталин		False	True
109	81	10231,1	10.03.2016 8:49:50	Шаталин		False	True
110	108	10231,1	10.03.2016 8:49:50	Шаталин		False	True
111	96	10231,1	10.03.2016 8:49:50	Шаталин		False	True
112	69	10231,1	10.03.2016 8:49:50	Шаталин		False	True
113	54	10231,1	10.03.2016 8:49:51	Шаталин		False	True
114	66	10231,1	10.03.2016 8:49:51	Шаталин		False	True
115	93	10231,1	10.03.2016 8:49:51	Шаталин		False	True
116	119	10231,1	10.03.2016 8:49:51	Шаталин		False	True
117	122	10231,1	10.03.2016 8:49:51	Шаталин		False	True
118	84	10231,1	10.03.2016 8:49:51	Шаталин		False	True
119	43	0	10.03.2016 8:49:57	Шаталин	Причина №3	True	False
120	40	10231,1	10.03.2016 8:50:06	Шаталин		False	True
121	78	10231,1	10.03.2016 8:50:06	Шаталин		False	True
122	105	10231,1	10.03.2016 8:50:07	Шаталин		False	True
123	132	10231,1	10.03.2016 8:50:07	Шаталин		False	True

Рис. 7. Информация по загрузке ИТВС и ТВС в программе «Ассистент ДРИ» в режиме имитации загрузки блока №1 НВАЭС-2

- появилась возможность экспорта отчета в формат Excel («.xlsx»);
- появилась сигнализация о невыполнении критерия для повысотных отметок установленной ТВС (взаимное расположение головок ТВС по высоте не должно отличаться более чем на 5 мм);
- возможность моментального визуального отображения зарегистрированных повысотных отметок установленных ТВС (с цветовой градацией в зависимости от отклонения от минимально зарегистрированной) - см. рис. 8;

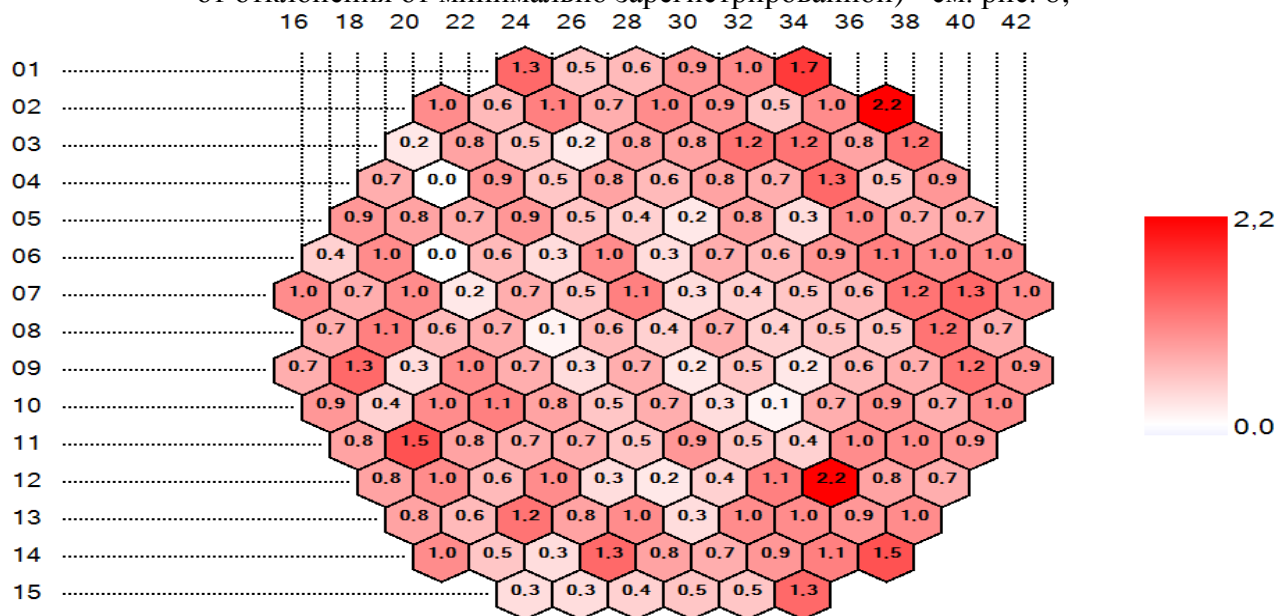


Рис. 8. Видеокادر значений повысотных отметок с цветовой градацией в программе «Ассистент ДРИ» после загрузки всех ТВС блока №1 НВАЭС-2

Более подробно демонстрация всех возможностей программы «Ассистент ДРИ» приведена в работе [3].

Перспективы развития

После окончания загрузки на блоке №1 НВАЭС-2 дежурными руководителями испытаний были сделаны рекомендации разработчикам по усовершенствованию программы «Ассистент ДРИ», перечисленные ниже:

- 1) Добавить прием цифрового сигнала о положении МП и высотного положения головок ТВС.
- 2) Модифицировать алгоритм расчета усредненного времени, затраченного на загрузку одной ТВС, и прогноза окончания операций по загрузке топлива путем оценки времени смен чехлов и оставшегося их количества.
- 3) Обеспечить безопасность путем ограничения доступа к программному обеспечению с применением оригинальных логина и пароля дежурного руководителя испытаний, открывающих возможность использования личной электронной подписи на исполнительной картограмме первой загрузки и картограммах чехлов.
- 4) Доработать электронное ведение процесса загрузки (выгрузки) ТВС, добавлением в интерфейс программы (в качестве видеокadra) картограмм планируемого размещения ТВС в транспортном чехле с возможностью размещения личной электронной подписи дежурного руководителя испытания о выгрузке (загрузке) ТВС с меткой времени в выбранной ячейке чехла и возможностью вывода на печать отчетного документа в формате pdf.

Персонал участка нейтронно-физических испытаний НВАТЭ к началу физического пуска на блоке №4 Ростовской АЭС в данный момент создает очередное обновление программы, учитывающее некоторые из этих рекомендаций.

Стоит отметить, что данная система разрабатывается на современном высокоуровневом языке программирования C# группой специалистов инженеров-физиков. При разработке успешно применяется распределенная система контроля версий – Git, которая надежно хранит все версии программы не только локально на компьютере, но и на удаленном сервере тем самым обеспечивая их сохранность. Git оказался незаменимым средством для командной разработки проекта у которого есть несколько версий («Ростов-3», «НВАЭС-2 без имитаторов», «НВАЭС-2 с имитаторами», «Ростов-4»), так как поддерживает быстрое разделение и слияние версий или их модулей, включает инструменты для визуализации и навигации по нелинейной истории разработки и предоставляет каждому разработчику локальную копию всей истории разработки.

Осознав все преимущества Git для разработки программы, специалистами участка прорабатывается концепция применения подобного средства для разработки ПНД внутри подразделения.

Заключение

На настоящий момент следует констатировать факт, что одновременно с удобством использования программы «Ассистент ДРИ» в части информационной поддержки, по-прежнему требуется заполнение официальной бумажной документации: таблиц, картограмм, рабочего графика загрузки с подписями, повысотными отметками и временем завершения операций. Таким образом, несмотря на использование «Ассистент ДРИ», существенно оптимизировать рабочее время ДРИ пока не удастся. В тоже время, с учетом современной тенденции перехода на электронный документооборот, отказ от бумажного ведения оперативной документации в пользу его автоматизированного формирования поможет оптимизировать рабочее время и значительно повысить производительность персонала при проведении работ по программе «Первая загрузка штатной активной зоны реактора».

Авторы выражают уверенность, что у разработанной программы есть будущее, и элементы данной системы смогут найти применение, в том числе и при перегрузках блоков АС, находящихся в эксплуатации.

Модуль, используемый для отображения процесса загрузки в интерфейсе программы, применяется также для представления результатов физических испытаний, в которых требуется привязка к конкретным ячейкам активной зоны, например, определение асимметрии размножающих свойств активной зоны для визуализации коэффициентов асимметрии и их расчета.

Следует отметить, что положительные отзывы послужили стимулом для создания аналогичного программного средства VRCC (VISUAL REACTOR CORE CONTROL) [4] специалистами физической лаборатории отдела ядерной безопасности и надёжности Ленинградской АЭС, побывавшими с ознакомительной экскурсией в центральном зале блока №1 НВАЭС-2 во время загрузки.

Перечень использованной литературы

1. Саунин Ю.В., Рясный С.И. Необходимость разработки автоматизированного рабочего места инженера-наладчика физика // - Нововоронеж: 2012.
2. Сударев О.С., Семенихин А.А., Нистратов С.Н. Контроль нейтронного потока в период загрузки топлива в активную зону реактора блока №1 Тяньваньской АЭС // - Нововоронеж: 2007.
3. Сухарев Ю.В., Белобродский В.А., Шаталин М.М., Ганцев И.А. Разработка и применение специализированного программного обеспечения для проведения испытаний по определению нейтронно-физических характеристик // - М.: 4-я Международная научно-техническая конференция "Ввод АЭС в эксплуатацию", 2016.

4. Легких Р.Ю. Программное средство формирования картограммы загрузки и визуализации активной зоны, систем её контроля VISUAL REACTOR CORE CONTROL (VRCC) // Производственно-техническая конференция молодых специалистов и работников АЭС г. Десногорск, 2016.