

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРВОЙ ЗАГРУЗКИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ИННОВАЦИОННОГО ЭНЕРГОБЛОКА ПО ПРОЕКТУ АЭС-2006

**А.Н. Прытков, А.Б. Терещенко, Е.И. Голубев, И.А. Боев**

*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»  
396072, Воронежская обл. г. Нововоронеж, промышленная зона Южная, 1*



В процессе ввода в эксплуатацию энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 перед началом этапа «Физический пуск» был проведен анализ опыта первых загрузок ядерного топлива для реакторов типа ВВЭР. Был выявлен ряд негативных факторов, которые могут возникнуть на данном этапе, например, связанных с устойчивостью ТВС. С учетом рассмотренных проблем и опыта пусков новых блоков путем использования при реализации первой загрузки штатной активной зоны имитаторов ТВС усовершенствован традиционный способ загрузки ядерного топлива, обеспечивающий стойкость частично загруженной активной зоны к внешним и внутренним воздействиям природного и техногенного характера (в частности, к сейсмическим воздействиям). Впервые для ВВЭР использована совместная загрузка в реактор ТВС и имитаторов ТВС. Разработан комплекс мероприятий, позволяющих сделать вывод о пригодности ИТВС к совместному использованию с ТВС. Применены контроль формоизменения, отмывка и освидетельствование ИТВС для обеспечения безопасной первой загрузки при совместной установке ТВС и ИТВС в реактор. Реализовано дополнительное оборудование для контроля уровня теплоносителя в реакторе и концентрации борной кислоты в процессе первой загрузки ядерного топлива реактора ВВЭР-1200, так как низкий уровень и отсутствие циркуляции теплоносителя в реакторе не позволяют использовать штатные системы контроля. Выявлено влияние параметров расчета и высокой чувствительности детекторов на контроль нейтронного потока при проведении загрузки ядерного топлива.

**Ключевые слова:** АЭС-2006, ВВЭР-1200, физический пуск, активная зона, ядерное топливо, имитаторы ТВС.

### ВВЕДЕНИЕ

Энергоблок № 1 Нововоронежской АЭС-2 – типовой проект российской АЭС нового поколения «3+» с улучшенными технико-экономическими показателями. В основу проекта лег полувековой опыт безопасной эксплуатации и безаварийной работы АЭС с водородными энергетическими реакторами (ВВЭР) [1 – 4]. Это блок проекта «АЭС-2006» с реакторной установкой ВВЭР-1200. Энергоблок Нововоронежской АЭС стал головным блоком проекта, и первым прошел процесс ввода в эксплуатацию до начала выработки электроэнергии потребителям. Этот процесс включал в себя этап «Физический пуск», который начался в марте 2016 г. Важнейшей частью данного этапа является первая за-

© А.Н. Прытков, А.Б. Терещенко, Е.И. Голубев, И.А. Боев, 2017

рузка штатной активной зоны (АЗ).

В течение более 30-ти лет при пусках блоков ВВЭР, в том числе введенных в эксплуатацию в XXI в. (Калининская АЭС, Ростовская АЭС, китайская АЭС «Тяньвань», индийская АЭС «Куданкулам»), использовался так называемый «сухой» способ первой загрузки. Этот способ подразумевает две фазы загрузки ядерного топлива:

- загрузка части тепловыделяющих сборок (ТВС) в реактор, заполненный раствором борной кислоты до уровня поверхности решетки опорных труб шахты внутрикорпусной;
- дозагрузка до полного комплекта в заполненную раствором борной кислоты АЗ.

Термин «сухая загрузка» – профессиональный сленг. Название «сухая загрузка» сложилось по первой фазе загрузки топлива. Преимуществом сухой загрузки является возможность визуального контроля процесса загрузки.

### **АНАЛИЗ ПЛАНИРУЕМОЙ ПЕРВОЙ ЗАГРУЗКИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

В АЗ энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 загружаются 161 ТВС [5]. Подкритичность при загрузке реакторов ВВЭР обеспечивается выбором конфигурации загрузки и поддержанием концентрации борной кислоты, растворенной в теплоносителе первого контура. В соответствии с требованиями безопасности [6, 7] необходимая подкритичность должна быть обоснована при учете извлеченных органов регулирования реактора.

Анализ ядерной безопасности проводился как для частично, так и для полностью загруженной АЗ. Он включал в себя анализ критичности при

- различных высотах залива при разной концентрации борной кислоты;
- различных плотностях теплоносителя;
- локальном замещении теплоносителя чистым конденсатом;
- единичных нарушениях картограммы первой загрузки.

Результаты анализа для энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 приведены в отчете [8].

Расчетные значения эффективного коэффициента размножения нейтронов ( $K_{эфф}$ ) для первой фазы топливной загрузки при полном заливе реактора теплоносителем

- 0,881 без борной кислоты;
- 0,591 с концентрацией борной кислоты 16 г/кг  $H_2O$ .

Была определена критичность при различных плотностях теплоносителя для первой фазы топливной загрузки.  $K_{эфф} < 0,95$  при содержании борной кислоты в теплоносителе не менее 4 г/кг  $H_2O$  во всем диапазоне плотностей теплоносителя для АЗ, загруженной в соответствии с картограммой частичной загрузки. Однако при отсутствии борной кислоты в теплоносителе  $K_{эфф} > 0,95$  при плотностях теплоносителя от 80 до 400 кг/м<sup>3</sup>. Максимальное значение  $K_{эфф} = 1,062$  при плотности теплоносителя 180 кг/м<sup>3</sup>.

Для активной зоны, загруженной 61 ТВС,  $K_{эфф} < 0,95$  обеспечивается при любых единичных нарушениях картограммы первой фазы топливной загрузки при содержании борной кислоты в теплоносителе более 4 г/кг  $H_2O$ . Однако при отсутствии борной кислоты в теплоносителе  $K_{эфф} > 0,95$  при ряде вариантов единичных нарушений картограммы первой фазы топливной загрузки (от 0,953 до 1,01).

На основании этого и с учетом анализа «сухого» способа первой загрузки было выявлено несколько негативных факторов, которые следует принимать во внимание:

- при плотностях теплоносителя от 80 до 400 кг/м<sup>3</sup>  $K_{эфф} > 0,95$ ;
- расчеты показали, что в отдельных случаях при возможных единичных нарушениях картограммы первой фазы загрузки (нарушение координат или типа устанавливаемой ТВС) возможно превышение значения  $K_{эфф} = 0,95$  при заливе АЗ теплоносителем без борной кислоты;
- установленная в реактор ТВС, которую будут окружать пустые ячейки, или которая имеет только одну соседнюю ТВС, при небольших отклонениях от вертикального положения может помешать установке соседних ТВС на второй фазе загрузки;

– возможен перерыв в загрузке, вызванный проблемами, которые могут возникнуть на блоке АЭС, находящемся в процессе ввода в эксплуатацию, например, остановка загрузки свежего ядерного топлива для выявления причины срабатывания сигнала «СТОП» на блоке сигнализации разгона системы контроля нейтронного потока при перегрузке (СКП), когда в АЗ реактора неопределенное время будет находиться некоторое количество ТВС, которые не имеют соседних ТВС или соприкасаются с соседними только одной гранью, что может отрицательно сказаться на их устойчивости;

– в соответствии с [9], ТВС, устанавливаемые в реактор во время «сухой» загрузки, должны обладать стойкостью к внешним воздействиям от процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, в частности, к сейсмическим воздействиям, которыми характеризуется площадка размещения АЭС;

– состояние реактора при загрузке (низкий уровень теплоносителя и отсутствие его циркуляции) не позволяет использовать штатные системы контроля уровня и концентрации борной кислоты.

### РАЗРАБОТКА ОБНОВЛЕННОЙ КОНЦЕПЦИИ ПЕРВОЙ ЗАГРУЗКИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

С учетом изложенных проблем и опыта пусков новых блоков для реализации первой загрузки штатной АЗ инновационного энергоблока по проекту «АЭС-2006» усовершенствован традиционный способ загрузки ядерного топлива.

Для устранения первого негативного фактора по результатам расчетов выбрана конфигурация из 54-х ТВС для первой фазы загрузки ядерного топлива, обеспечивающая  $K_{эфф} < 0,95$  во всем диапазоне плотностей чистого конденсата. Результаты расчетов приведены в технической справке [10]. Картограммы после завершения первой и второй фаз усовершенствованной загрузки для энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 приведены на рис. 1.

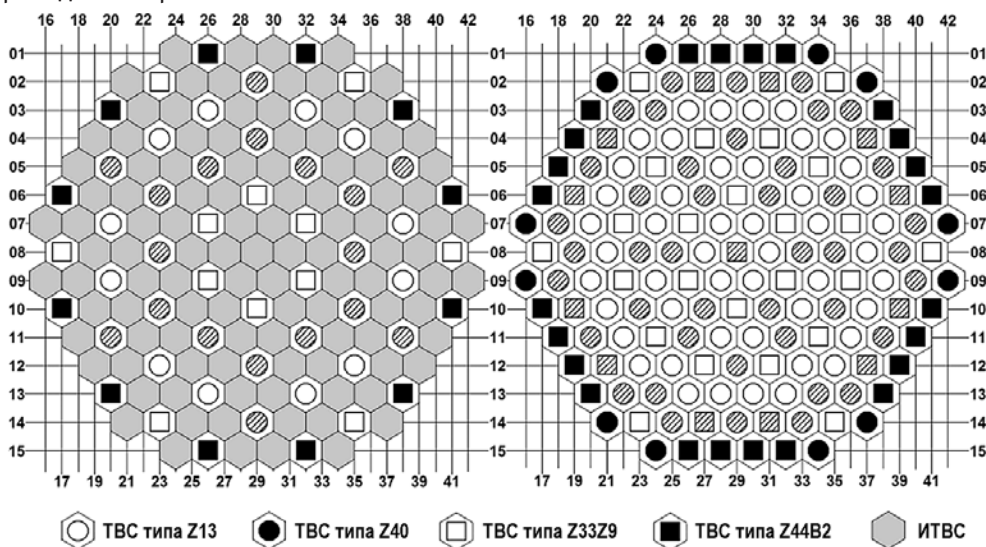


Рис. 1. Картограммы после завершения первой и второй фаз усовершенствованной загрузки для энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2

Для устранения прочих негативных факторов была использована предварительная загрузка в реактор 109-ти имитаторов ТВС перед началом загрузки ядерного топлива.

Обычно комплекс имитаторов ТВС (ИТВС) и имитаторов поглощающих стержней системы управления и защиты (ПС СУЗ) загружается в реактор при вводе в эксплуатацию энергоблока для проверки собираемости реактора и контроля параметров на подэтапе

«холодно-горячая обкатка РУ» этапа А «Предпусковые наладочные работы». Конструкция ИТВС для энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 разработана на базе конструкции ТВС ВВЭР-1200. Геометрия, вес, конструкционные материалы ИТВС и ТВС полностью аналогичны. Материалом, заменяющим топливные таблетки, является свинец.

После загрузки в реактор 109-ти ИТВС на первой фазе загрузки производится установка ТВС в свободные от ИТВС ячейки. На второй фазе загрузки производится последовательная замена ИТВС на ТВС. Данный порядок загрузки обеспечивает гарантированную фиксацию ТВС в опорных стаканах и строгое сохранение вертикального положения ТВС.

В случае возникновения вынужденного перерыва в любой момент загрузки ТВС жестко зафиксированы. При отсутствии возможности быстро продолжить работу по загрузке АЗ реактор закрывается технологической крышкой, исключающей попадание посторонних предметов. Эти меры обеспечивают стойкость частично загруженной АЗ к внешним и внутренним воздействиям. При этом сохраняется основное преимущество «сухой» загрузки – возможность визуального контроля процесса.

Особенностью данной схемы загрузки является то, что ранее при пусках блоков с ВВЭР совместное использование ИТВС и ТВС не применялось. В условиях отсутствия опыта очевидно, что при совместной установке ТВС и ИТВС в реактор требуются дополнительные меры для обеспечения безопасной первой загрузки активной зоны. Это касается исключения возможности перепутать ТВС и ИТВС, а также строгого контроля состояния ИТВС.

Исключение возможности перепутать ТВС и ИТВС обеспечивается системой учета и контроля ядерных материалов и пошаговым контролем соблюдения графиков загрузки.

Максимально возможное приближение условий первой загрузки к штатной перегрузке топлива реализуется заполнением реактора борным раствором после загрузки 109-ти ИТВС. Заполнение производится до уровня 40 см ниже верха головок ИТВС. Это исключает сухое трение между поверхностями загружаемой ТВС и соседних ТВС, ИТВС или выгородкой шахты внутрикорпусной. Значение 40 см выбрано исходя из того, что после завершения загрузки 54-х ТВС на первой фазе уровень в реакторе не должен превышать верха головок ИТВС и ТВС. Повышение уровня происходит за счет вытесняемого загруженными ТВС раствора борной кислоты.

### **КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИТВС, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПЕРВОЙ ЗАГРУЗКЕ**

Для контроля состояния ИТВС был разработан комплекс мер, позволяющих сделать вывод о пригодности ИТВС к совместному использованию с ТВС.

- Контроль деформации ИТВС

Ввиду отсутствия в проекте Нововоронежской АЭС стапеля для контроля прямолинейности ИТВС контроль деформации проводился при выгрузке ИТВС из реактора и установке в бассейн выдержки (БВ). Были установлены критерии запрета на использование ИТВС при загрузке:

- увеличение веса более 75 кгс при выгрузке ИТВС из реактора;
- уменьшение веса более 75 кгс при установке ИТВС в стеллаж БВ.

Это более консервативное требование, чем установлено руководством по эксплуатации для ТВС, разрешающим повторную попытку загрузки (извлечения) ТВС при изменении веса  $\pm 735$  Н ( $\pm 75$  кгс) и увеличении блокировки до  $\pm 1470$  Н ( $\pm 150$  кгс). Главным инженером АЭС разрешается увеличение блокировки до  $\pm 2205$  Н ( $\pm 225$  кгс).

- Отмывка ИТВС

Для удаления с ИТВС возможных отложений и посторонних предметов производится промывка каждого ИТВС при помощи моечной машины химически обессоленной водой.

- Техническое освидетельствование ИТВС

Для контроля внешнего вида, габаритных размеров, отсутствия посторонних предметов в направляющих и инструментальных каналах, сцепления ИТВС с перегрузочными средствами, маркировки, а также визуального контроля деформации ИТВС про-

водится техническое освидетельствование ИТВС с участием поставщика ТВС и ИТВС.

Для загрузки в реактор из комплекса имитаторов ТВС выбраны те, в направляющих каналах которых установлены имитаторы ПС СУЗ. Это значительно снижает вероятность наличия невыявленных посторонних предметов в ИТВС.

### **НЕШТАТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЕРВОЙ ЗАГРУЗКИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

Для контроля уровня теплоносителя в реакторе и концентрации борной кислоты применяется дополнительное оборудование – глубинные пробоотборники, сигнализаторы уровня, насосы аварийной откачки теплоносителя.

Наличие нештатного оборудования в АЗ несет в себе опасность зацепить за его кабели оборудованием машины перегрузочной [11]. Кроме того кабели оборудования вызывают затруднения при установке на реактор технологической крышки в случае возникновения вынужденного перерыва при загрузке.

Для энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 разработано и применено новое дополнительное нештатное оборудование, представляющее собой единую систему:

- два сигнализатора уровня раствора борной кислоты в реакторе;
- пробоотборник раствора борной кислоты в реакторе;
- устройство управления сигнализаторами и пробоотборниками.

Сигнализатор уровня теплоносителя представляет собой вертикальную гирлянду из семи датчиков, расположенных последовательно по высоте на расстоянии 5 см один от другого (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 см), размещенных в пустотелом цилиндре из нержавеющей стали. Сигнализатор позволяет при увеличении уровня последовательно получать сигналы при непосредственном контакте с раствором борной кислоты от каждого из семи датчиков. При контакте датчика с раствором происходит срабатывание звуковой и световой сигнализации.

Пробоотборник раствора борной кислоты в реакторе оснащен электрическим насосом и шлангом, обеспечивающим отбор пробы на отметке центрального зала (подача раствора на высоту до 25 метров).

К моменту начала загрузки первой ТВС в реактор, загруженный 109-ю ИТВС и заполненный борным раствором, дополнительное нештатное оборудование смонтировано и размещено в технологических отверстиях выгородки шахты внутрикорпусной. Таким образом, исключен контакт оборудования с загружаемыми ТВС, минимизировано перемещение оборудования и оптимизировано размещение кабелей и шлангов оборудования для исключения опасности зацепить их оборудованием машины перегрузочной.

Для аварийной откачки теплоносителя предусматривался скважинный насос, предназначенный для перекачки химически неагрессивных жидкостей. При необходимости, предусмотрено извлечение двух ИТВС, на их место устанавливаются насосы откачки.

При установке на реактор технологической крышки, ограничивающей попадание посторонних предметов, используются специальные прокладки, обеспечивающие доступ в реактор для кабелей и шлангов дополнительного нештатного оборудования, а также бронешлангов СКП.

### **КОНТРОЛЬ НЕЙТРОНОГО ПОТОКА ПРИ ПЕРВОЙ ЗАГРУЗКЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

Характеристика каналов контроля нейтронного потока при загрузке ядерного топлива приведена в табл. 1. Схема расположения каналов контроля приведена на рис. 2.

До загрузки топлива в реактор была выполнена специальная программа по проверке влияния сварочных работ и работы полярного крана, машины перегрузочной на работу каналов СКП. Влияния работы полярного крана и машины перегрузочной на работу СКП не выявилось. Сварочные работы в помещениях парогенераторов во внутреннем



вичными нейтронами источника (от спонтанного деления ядер  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  и  $(\alpha, n)$ -реакций на изотопах кислорода), умноженными цепной реакцией деления на ядрах  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Спонтанное деление, распад ядер и образование нейтронов в реакции деления являются статистически распределенными процессами, при низком уровне плотности потока нейтронов приводящими к флуктуации количества нейтронов, попадающих в детектор в единицу времени, и флуктуации частоты импульсов на его выходе (включая влияние помех). Флуктуации частоты импульсов ( $n$ ) на выходе детектора вызывают скачки периода реактора ( $T$ ), который в соответствии с [12] выражается соотношением

$$T = n / (dn/dt). \quad (1)$$

В АКНП период вычисляется через обратный период ( $1/T$ ), равный, исходя из (1),

$$1/T = (N(\Delta t, t_2) - N(\Delta t, t_1)) / (N(\Delta t, t_1) \cdot (t_2 - t_1)), \quad (2)$$

где  $N(\Delta t, t_1)$ ,  $N(\Delta t, t_2)$  – количества импульсов, зарегистрированных за время  $\Delta t$  к моментам времени  $t_1$  и  $t_2$  соответственно.

Было выявлено, что исходно установленные параметры расчета частоты в совокупности с высокой чувствительностью детекторов приводят к выполнению расчета периода за короткий промежуток времени ( $t_2 - t_1$ ), что влекло за собой спонтанное скачкообразное увеличение ( $1/T$ ) и, соответственно, уменьшение показания  $T$ .

Для обеспечения вычисления периода реактора с учетом низкого уровня нейтронного потока и частоты импульсов по каналам было увеличено число импульсов, набираемых за время  $\Delta t$ , и величина интервала времени ( $t_2 - t_1$ ).

## ВЫВОДЫ

Физический пуск энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 осуществлен усовершенствованным способом загрузки ядерного топлива. Конфигурация для первой фазы загрузки ядерного топлива обеспечивает  $K_{эфф} < 0,95$  при заливе чистым конденсатом во всем диапазоне плотностей, что дает дополнительные гарантии ядерной безопасности при формировании первой активной зоны. Впервые для энергоблоков с ВВЭР подтверждена безопасность и осуществлена реализация совместного использования при первой загрузке ТВС и предназначенных для проверок и контроля параметров на этапе А «Предпусковые наладочные работы» ИТВС. Уделено особое внимание стойкости частично загруженной АЗ к внешним и внутренним воздействиям. Выявлены особенности контроля нейтронного потока при первой загрузке реактора ВВЭР-1200.

Опыт, полученный при первой загрузке штатной АЗ инновационного энергоблока по проекту «АЭС-2006», может быть использован при дальнейшем вводе в эксплуатацию энергоблоков с ВВЭР-1200 и блоков следующего поколения.

## Литература

1. Каляев И.А., Коробкин В.В., Мельник Э.В., Хисамутдинов М.В. Методы и средства повышения безопасности и сокращения времени операций с ядерным топливом на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. Монография. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2014. – 207 с.
2. Федосовский М.Е., Фокин Г.А., Гуменюк В.И. Вероятностный анализ безопасности транспортно-технологического оборудования перегрузки ядерного топлива. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 2 (78). – С. 98-102.
3. Каляев И.А., Коробкин В.В., Баюклин В.Ф., Шкаровский А.Н. Повышение безопасности АЭС за счет внедрения новых технологий. Атомные электрические станции. Двадцать лет после аварии на Чернобыльской АЭС / Сб. статей под общ. ред. д.э.н. С.А. Обозова. – М.: Концерн «Росэнергоатом», 2006. – С. 246-250.
4. Андрушечко С.А., Афров А.М., Васильев Б.Ю. и др. АЭС с реактором типа ВВЭР. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта. – М.: Логос, 2010. – 603 с.
5. Нововоронежская АЭС. Проект АЭС-2006. Электронный ресурс <http://>

[www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/f01/f01b5ca309dbda1917c112d6897c0959.pdf](http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/f01/f01b5ca309dbda1917c112d6897c0959.pdf) (дата доступа 20.06.2017 г.).

6. НП-001-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций». – М.: ФБУ НТЦ ЯРБ, 2016. – 56 с.

7. НП-082-07. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций». – М.: Ростехнадзор, 2007. – 26 с.

8. Семченков Ю.М., Косоуров К.Б., Горбаев В.А. и др. Отчет «Определение  $K_{эфф}$  активной зоны при различных уровнях залива, плотности теплоносителя, влияния загружаемых ТВС, ошибок загрузки при проведении первого этапа первой топливной загрузки и при различных концентрациях борной кислоты, локальных разбавлениях, ошибках загрузки полностью загруженной активной зоны блока № 1 НВОАЭС-2». Инв. № 110.10-55/1-76-415. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2015.

9. НП-064-05. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии». – М.: Ростехнадзор, 2005. – 63 с.

10. Семченков Ю.М., Косоуров К.Б., Горбаев В.А. и др. Техническая справка «Оценка  $K_{эфф}$  активной зоны, частично загруженной ТВС и уплотненной имитаторами ТВС, при изменении плотности теплоносителя». Инв. № 110.10-55/1-1-116. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2015.

11. Авдеев А.А., Кобелев А.М., Коробкин В.В. и др. Машины перегрузки ядерного топлива нового поколения для энергоблоков проекта АЭС-2006 с ВВЭР-1200. // Интеграл. – 2010. – № 1(51). – С. 28-33.

12. Емельянов И.Я., Ефанов А.И., Константинов Л.В. Научно-технические основы управления ядерными реакторами. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.

Поступила в редакцию 26.06.2017 г.

#### Авторы

Прытков Александр Николаевич, заместитель главного инженера

E-mail: PrytkovAN@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Терещенко Александр Борисович, начальник отдела ядерной безопасности и надежности

E-mail: TereschenkoAB@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Голубев Евгений Иванович, зам. начальника отдела ядерной безопасности и надежности

E-mail: GolubevEI@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Боев Иван Алексеевич, ведущий инженер-физик – руководитель группы нейтронно-физических измерений отдела ядерной безопасности и надежности

E-mail: BoevIA@nvnpp1.rosenergoatom.ru



UDC 621.039

## **SPECIFICS OF INITIAL FUEL CHARGE OF THE INNOVATIVE POWER UNIT OF AES-2006 DESIGN**

Prytkov A.N., Tereshchenko A.B., Golubev E.I., Boev I.A.

Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» «Novovoronezh Nuclear Power Plant»  
1 Promyshlennaya zona Yuzhnaya, Novovoronezh, Voronezh reg.,  
396072, Russia

### ABSTRACT

Before initiating the «first criticality» stage of Novovoronezh NPP-II Unit No. 1 commissioning, we analyzed the initial fuel charge experience for VVER-type reactors. The analysis exposed number of negative factors, which may develop during the aforementioned stage. With the said issues and new unit start-up experience in mind, the traditional fuel charge method was refined for ensuring environmental durability (to external and internal impact of natural and man-made character) of partially fueled reactor core during an initial fuel charge. Simultaneous loading of fuel and dummy assemblies was used for the first time for VVER. A set of measures was developed to provide dummy assemblies' compatibility with fuel assemblies. Special measures were taken to ensure safe initial fuel charge with fuel and dummy assemblies simultaneously. Monitoring of shape change, flushing and certification of dummy fuel assemblies to ensure safe first fuel loading with simultaneous loading of fuel and dummy assemblies in the reactor were applied.

Additional equipment was installed for controlling reactor core coolant level, as well as boric acid concentration during an initial fuel charge at VVER-1200 reactor, because low level and lack of coolant circulation in the reactor does not allow using routine monitoring systems. Effect of calculation parameters and high detectors sensitivity on neutron flux monitoring during fuel charge was defined.

**Key words:** AES-2006, VVER-1200, first criticality, reactor core, nuclear fuel, dummy fuel assembly.

### REFERENCES

1. Kalyayev I.A, Korobkin V.V, Melnik E.V, Khisamutdinov M.V *Methods and means to improve safety and reduce the time of operations with nuclear fuel at NPPs with a VVER-1000 reactor*. Southern Federal University. Rostov-on-Don. Southern Federal University Publ., 2014, 207 p. (in Russian).
2. Fedosovsky M.E, Fokin G.A, Gumenyuk V.I.. Probabilistic analysis of safety of transport-technological equipment for nuclear fuel reloading. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbSPU*, 2009, no. 2 (78), pp. 98-102 (in Russian).
3. Kalyaev I.A, Korobkin V.V, Baiklin V.F, Shkarovsky A.N. Improving the safety of nuclear power plants through the introduction of new technologies. Nuclear power plants. Twenty years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Moscow. Concern «Rosenergoatom», 2006, p. 246-250 (in Russian).
4. Andrushechko S.A, Afrov A.M, Vasilyev B.Y., Generalov V.N, Kososurov K.B, Semchenkov Y.M., Ukrainsev V.F. *NPP with a reactor of the VVER type. From the physical basics of exploitation to the evolution of the project*. Moscow. Logos Publ., 2010, 603 p. (in Russian).
5. Novovoronezh NPP. NPP-2006 Design. Available at <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/f01/f01b5ca309dbda1917c112d6897c0959.pdf> (accessed 20.06.2017).
6. NP 001-15. Federal rules and regulations in the field of nuclear energy use «General Safety Assurance Provisions for Nuclear Power Plants». Moscow. FBU NTC YaRB Publ., 2016, 56 p. (in Russian).

7. NP-082-07. Federal rules and regulations in the field of nuclear energy use «Nuclear Safety Rules for Nuclear Power Plants». Moscow. Rostekhnadzor Publ., 2007, 26 p. (in Russian).

8. Semchenkov Y.M., Kosourov K.B., Gorbaev V.A., Osadchii A.I., Tebin V.V., Borisenkov A.E., Bezborodov A.N., Kalugin A.V., Ivanov D.T., Gurina G.V. Report «Measuring reactor core multiplication factor at different fuel charge levels, coolant density, fuel assembly impact, failures during the first stage of initial fuel charge and different boric acid concentrations, local dilutions, charge failures at fully charged reactor core of Novovoronezh-2 Unit 1». Inv. № 110.10-55/1-76-415. Moscow. National Research Centre «Kurchatov Institute», 2015 (in Russian).

9. NP-064-05. Federal rules and regulations in the field of the use of atomic energy use «Accounting for external impacts of natural and technogenic origin on the objects of use of atomic energy». Moscow. Rostekhnadzor Publ., 2005, 63 p. (in Russian).

10. Semchenkov Y.M., Kosourov K.B., Gorbaev V.A., Osadchii A.I., Tebin V.V., Borisenkov A.E., Bezborodov A.N., Kalugin A.V., Gurina G.V. Technical information «Measuring reactor core multiplication factor, partially fuelled with fuel assemblies and densified with dummy assemblies, under changing coolant density». Inv. № 110.10-55/1-1-116. Moscow. National Research Centre «Kurchatov Institute», 2015 (in Russian).

11. Avdeev A.A., Kobelev A.M., Korobkin V.V., Zhilnikov D.V., Efremov S.M., Pinchuk M.E., Marchenko S.A. New generation nuclear fuel transfer machines for power units of NPP-2006 project with VVER-1200. *Integral*. 2010, no. 1 (51), pp. 28-33 (in Russian).

12. Emelyanov I.Y., Efanov A.I., Konstantinov L.V. *Scientific and technical fundamentals of managing nuclear reactors*. Moscow. Energoizdat Publ., 1981, 360 p. (in Russian).

#### Authors

Prytkov Aleksandr Nikolaevich, Deputy Chief Engineer  
E-mail: PrytkovAN@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Tereshchenko Aleksandr Borisovich, Head of Department  
E-mail: TereschenkoAB@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Golubev Evgenii Ivanovich, Deputy Head of Department  
E-mail: GolubevEI@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Boev Ivan Alekseevich, Lead Physical Engineer – Head of Team  
E-mail: BoevIA@nvnpp1.rosenergoatom.ru