

ОПЫТ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПЕРВОГО КОНТУРА НА ВХОДЕ В ТВС ПРИ ВВОДЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ БЛОКА №1 ТЯНЬВАНЬСКОЙ АЭС

**Ю.В. Саунин, А.Н. Добротворский, А.В. Семенихин
ОАО "Фирма "Атомтехэнерго",
Нововоронежский филиал "Нововоронежатомтехэнерго",
г. Нововоронеж**

Аннотация

В соответствии с требованиями регламентов безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС с ВВЭР температура теплоносителя 1 контура является одним из основных контролируемых параметров, по которым определяются пределы и условия безопасной эксплуатации энергоблоков. Оперативный контроль температуры теплоносителя 1 контура осуществляется с помощью штатной системы внутриреакторного контроля (СВРК). Для расширения возможностей такого контроля и расширения функций СВРК, включая защитные, в проекте Тяньваньской АЭС (проект РУ В-428) впервые на блоках с ВВЭР-1000 в составе СВРК были использованы 46 сборок внутриреакторных детекторов (СВРД) типа КНИТ2Т. В этих сборках установлены термоэлектрические преобразователи (ТП) типа ТХА, как для измерения температуры теплоносителя на выходе из ТВС (условное обозначение ТП-1А, ТП-1Б), так и для измерения температуры теплоносителя на входе в ТВС (условное обозначение ТП-3). Если температура теплоносителя на выходе из ТВС является традиционным измеряемым параметром, то измерение температуры на входе в ТВС являлось новизной для проектов АЭС с ВВЭР-1000.

Объективную оценку любому новому средству и методу контроля, введенному в штатные системы контроля, могут дать только их комплексные испытания на головном энергоблоке в ходе пусконаладочных работ при вводе в эксплуатацию. В работе приводятся данные и результаты анализа показаний ТП-3, которые были получены при проведении комплексных испытаний СВРК, предусмотренных программой ввода энергоблока в эксплуатацию, практически на всех этапах начиная с физического пуска и заканчивая освоением номинального уровня мощности на этапе опытно-промышленной эксплуатации. Кроме этого, ввиду особой важности и получения возможности более представительного анализа, рассматриваются данные, полученные для разного эффективного времени работы реактора в ходе первой топливной кампании после приемки блока в промышленную эксплуатацию. Для обработки информации, полученной при данных испытаниях, был опробован и использован специальный комплекс прикладных программ, разработанный специалистами "Нововоронежатомтехэнерго".

Описание выполненных работ

На этапе физического пуска в "горячем" состоянии перед первым выводом реактора в критическое состояние и в дальнейшем в аналогичных состояниях перед выводом реактора в критическое состояние после остановов на планово-предупредительные ремонты (ППР) были проведены тарировки температурного контроля теплоносителя 1 контура. Проведение тарировок в квазиизотермических состояниях позволяет устранять систематические погрешности, которые могут быть связаны с индивидуальными особенностями каналов контроля теплоносителя 1 контура. Практика проведения таких работ обоснована многолетним опытом ввода в эксплуатацию [1] и эксплуатации энергоблоков АЭС с ВВЭР. Повтор тарировок позволяет оценивать возможные изменения характеристик каналов контроля с течением времени. Тарировки температурного контроля теплоносителя 1 контура были проведены в следующих режимах:

- режим I-а, перед первым выводом реактора в критическое состояние, "горячее" состояние, $T_{1к} = 278\text{ }^{\circ}\text{C}$, 05.12.05 г.;¹
- режим I-б, после ППР-1, "горячее" состояние, $T_{1к} = 281\text{ }^{\circ}\text{C}$, 27.12.06 г.;
- режим I-в, после ППР-2, "горячее" состояние, $T_{1к} = 279.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 28.03.06 г.;

После проведения испытаний в "режиме I-а" на показания термодатчиков теплоносителя 1 контура, в том числе и на показания ТП-3, были внесены аддитивные поправки. Опорная температура для определения поправок рассчитывалась по показаниям петлевых термометров сопротивлений при нескольких состояниях с разной температурой 1 контура. После проведения испытаний в остальных режимах корректировка поправок проводилась только при превышении значениями дополнительных поправок пределов допускаемой погрешности соответствующего измерительного канала.

В соответствии с программой ввода в эксплуатацию на этапах энергетического пуска и опытно-промышленной эксплуатации комплексные испытания СВРК и данные для анализа показаний ТП-3 были получены в состоянии "работа на мощности" на разных уровнях мощности при следующих режимах:

- режим II, $T_{эф} = 0$ эфф.суток, $N_t = 12\% N_{ном}$, $H_{10} = 78\%$;²
- режим III, $T_{эф} = 6$ эфф.суток, $N_t = 43\% N_{ном}$, $H_{10} = 78\%$;
- режим IV, $T_{эф} = 42$ эфф.суток, $N_t = 74\% N_{ном}$, $H_{10} = 82\%$;
- режим V, $T_{эф} = 66$ эфф.суток, $N_t = 90\% N_{ном}$, $H_{10} = 84\%$;
- режим VI-а, $T_{эф} = 92$ эфф.суток, $N_t = 98\% N_{ном}$, $H_{10} = 89\%$.

В ходе промышленной эксплуатации для повышения представительности анализа показаний ТП-3 были получены дополнительные данные в состоянии "работа на мощности" на номинальном уровне мощности при следующих режимах:

- режим VI-б, $T_{эф} = 150$ эфф.суток, $N_t = 101\% N_{ном}$, $H_{10} = 87\%$;

¹ - $T_{1к}$ – средняя температура теплоносителя 1 контура.

² - $T_{эф}$ – эффективное время работы реактора; N_t – тепловая мощность реактора, H_{10} – положение рабочей 10-й группы ОР СУЗ

- режим VI-в, $T_{эф}=200$ эфф.суток, $N_T=101\% N_{ном}$, $H_{10}=88\%$;
- режим VI-г, $T_{эф}=250$ эфф.суток, $N_T=101\% N_{ном}$, $H_{10}=88\%$.

Для анализа показаний ТП-3 оценивались отклонения от средней температуры холодных ниток, и проводилось сравнение с объемным коэффициентом неравномерности энергоснабжения по показаниям нижнего датчика прямой зарядки (ДПЗ-1) в этой же СВРД.

Анализ полученных результатов

На рис.1 приведены гистограммы распределения поправок полученных в режимах тарировок температурного контроля теплоносителя 1 контура.

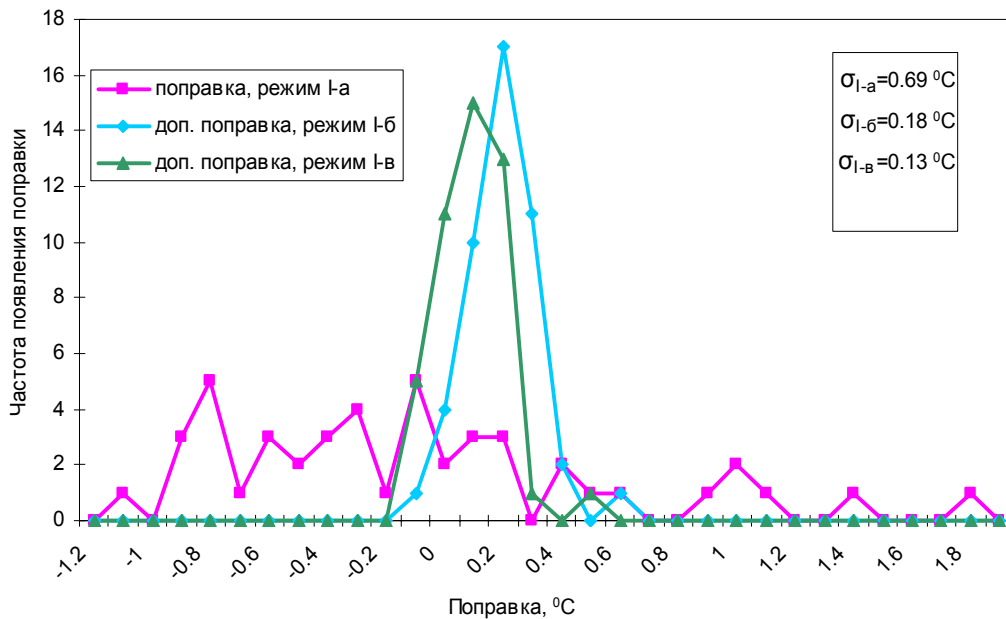


Рис. 1. Распределения поправок и дополнительных поправок к показаниям ТП-3 (σ - среднее квадратичное отклонение от средней температуры 1 контура)

Из представленных на рис.1 данных видно, что, определенные на этапе физического пуска поправки имели систематический характер. При последующих тарировках характер распределения дополнительных поправок можно считать случайным, что свидетельствовало об отсутствии изменения характеристик анализируемых каналов контроля в течение времени наблюдения.

На рис.2 приведены отклонения показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток, полученные на разных уровнях мощности. На рис.3. показано изменение среднего отклонения показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток в зависимости от уровня мощности реактора

По представленным на рис.2, 3 данным видно, что показания ТП-3 имеют отклонения от средней температуры холодных ниток, которые увеличиваются с увеличением уровня мощности реактора. Исходя из конструктивных особенностей, ТП-3 находятся на уровне 60-100 мм выше низа топливной части активной зоны в зависимости от индивидуальных длин конкретных СВРД.

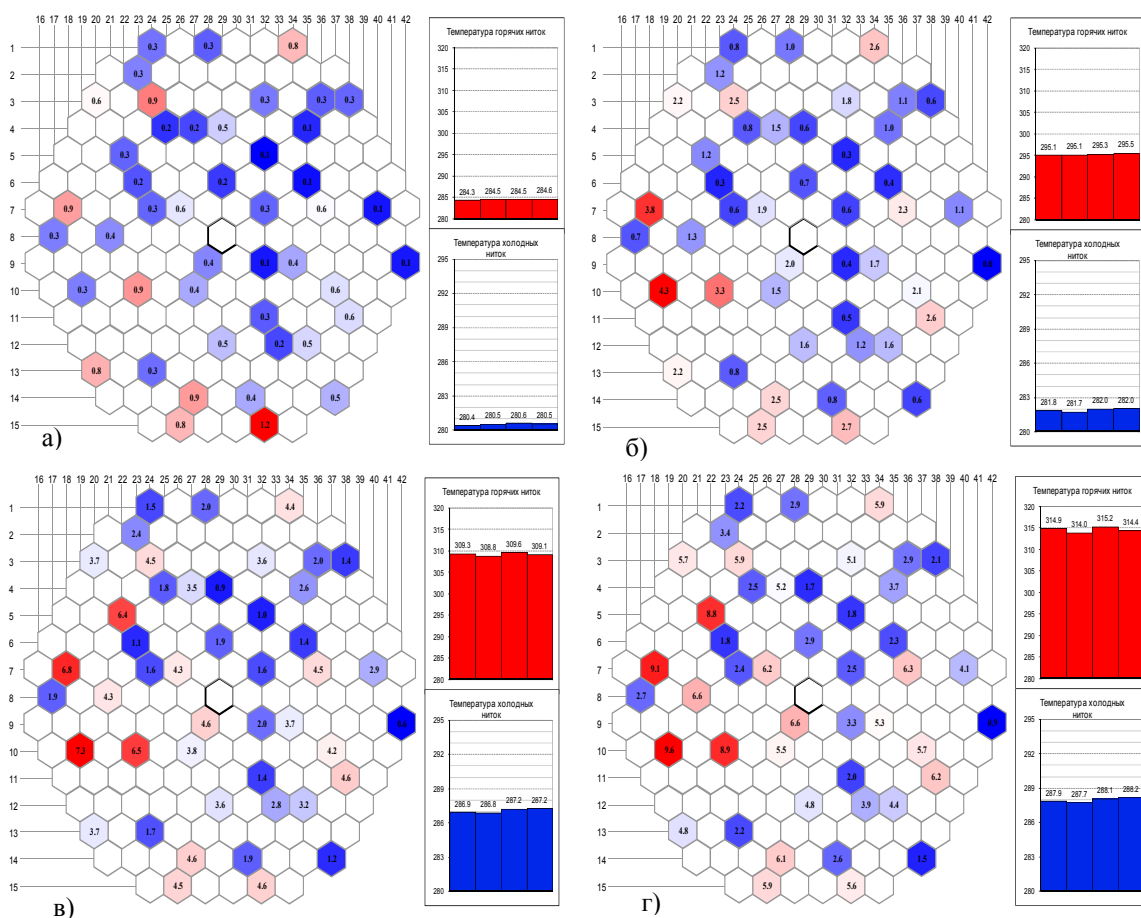


Рис. 2. Отклонения показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток на разных уровнях мощности: а) режим II, б) режим III, в) режим IV, г) режим V

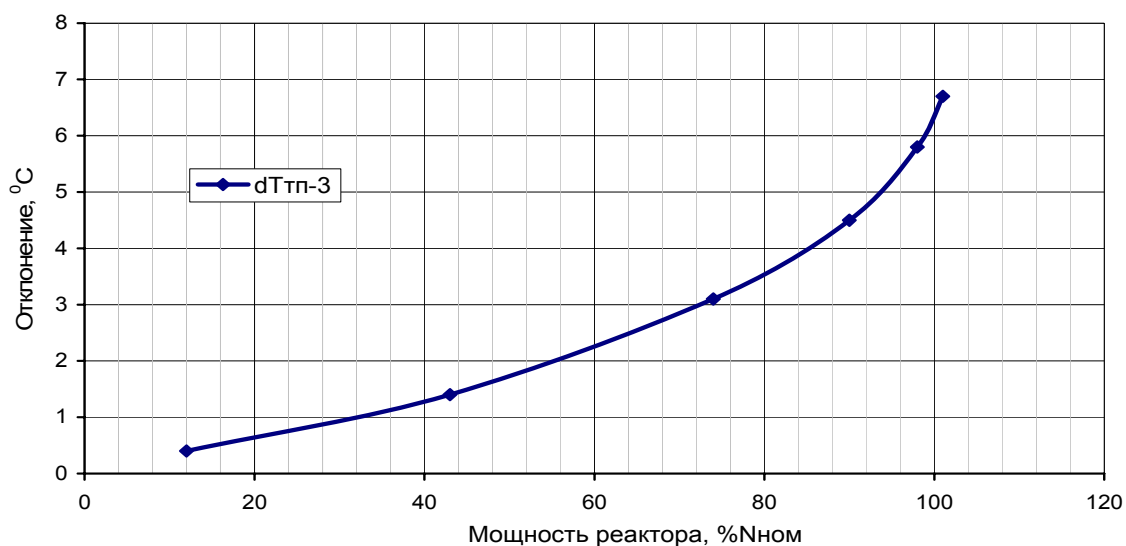


Рис. 3. Среднее отклонение показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток (d_{TP-3}) в зависимости от уровня мощности реактора

Таким образом, очевидно, что на показания ТП-3 должен оказывать влияние подогрев теплоносителя в ТВС от начала топливной части до места расположения ТП-3. Однако, несимметричный характер распределения отклонений и их величины показывают, что на показания ТП-3 при данных конструктивных особенностях должен влиять и ряд других факторов. Это, например, влияние излучения и радиационные эффекты [2]. Кроме этого, на показания ТП-3 должны оказывать влияние эффекты от подогрева теплоносителя в опускном кольцевом канале корпуса реактора и влияние эффектов автономности или "струйности" потоков теплоносителя, определяющих разные расходы и разные подогревы по сечению ТВС.

Степень перемешивания потоков теплоносителя, связанная с конструктивными особенностями оборудования 1 контура, приводит к возникновению температурных полей теплоносителя на входе в активную зону [3, 4] и, по всей видимости, к неравномерности расходов в местах установки ТП-3. Последнее обстоятельство, по нашему мнению, играет наибольшую роль в методической погрешности показаний ТП-3 и вместе с тем, наиболее трудно поддается обоснованной формализации для возможности корректировки показаний с учетом всех возможных эксплуатационных состояний.

На рис.4 приведены отклонения показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток, полученные на номинальном уровне мощности с разным эффективным временем работы реактора. На рис.5 показано изменение среднего отклонения показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток и среднего объемного коэффициента неравномерности по показаниям ДПЗ-1 в СВРД с изменением эффективного времени работы реактора при номинальном уровне мощности реактора.

По представленным на рис.4, 5 данным можно сказать, что наблюдается корреляция зависимости показаний ТП-3 от эффективного времени работы с аналогичной зависимостью объемного коэффициента неравномерности энерговыделения по данным ДПЗ-1. Полученные позднее данные при вводе в эксплуатацию энергоблока №2 Тяньваньской АЭС подтвердили основные результаты, полученные на энергоблоке №1. Следует особо отметить, что при этом значения и характер распределения отклонений показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток на энергоблоке №2 наблюдались иными при соблюдении общей зависимости от уровня мощности, а также корреляции с зависимостью коэффициента неравномерности объемного энерговыделения по данным ДПЗ-1 от эффективного времени работы реактора.

Полученные результаты свидетельствуют, что существующие конструкционные особенности и ряд эффектов обуславливают наблюдаемую методическую погрешность в показаниях ТП-3. Для более корректного использования показаний ТП-3 (например, при определении запасов до кризиса теплообмена) требуется дальнейшее накопление опытных данных и получение более полного набора зависимостей для всех возможных эксплуатационных состояний. В период накопления опытных данных по показаниям ТП-3 на основании [4] для расчета температур теплоносителя на входе в ТВС в алгоритмах функционирования СВРК целесообразно использовать таблицы влияния температур холодных ниток на температуры на входе в ТВС. Эти таблицы получают по результатам предусмотренных специальных испытаний при вводе в эксплуатацию на этапе физического пуска.

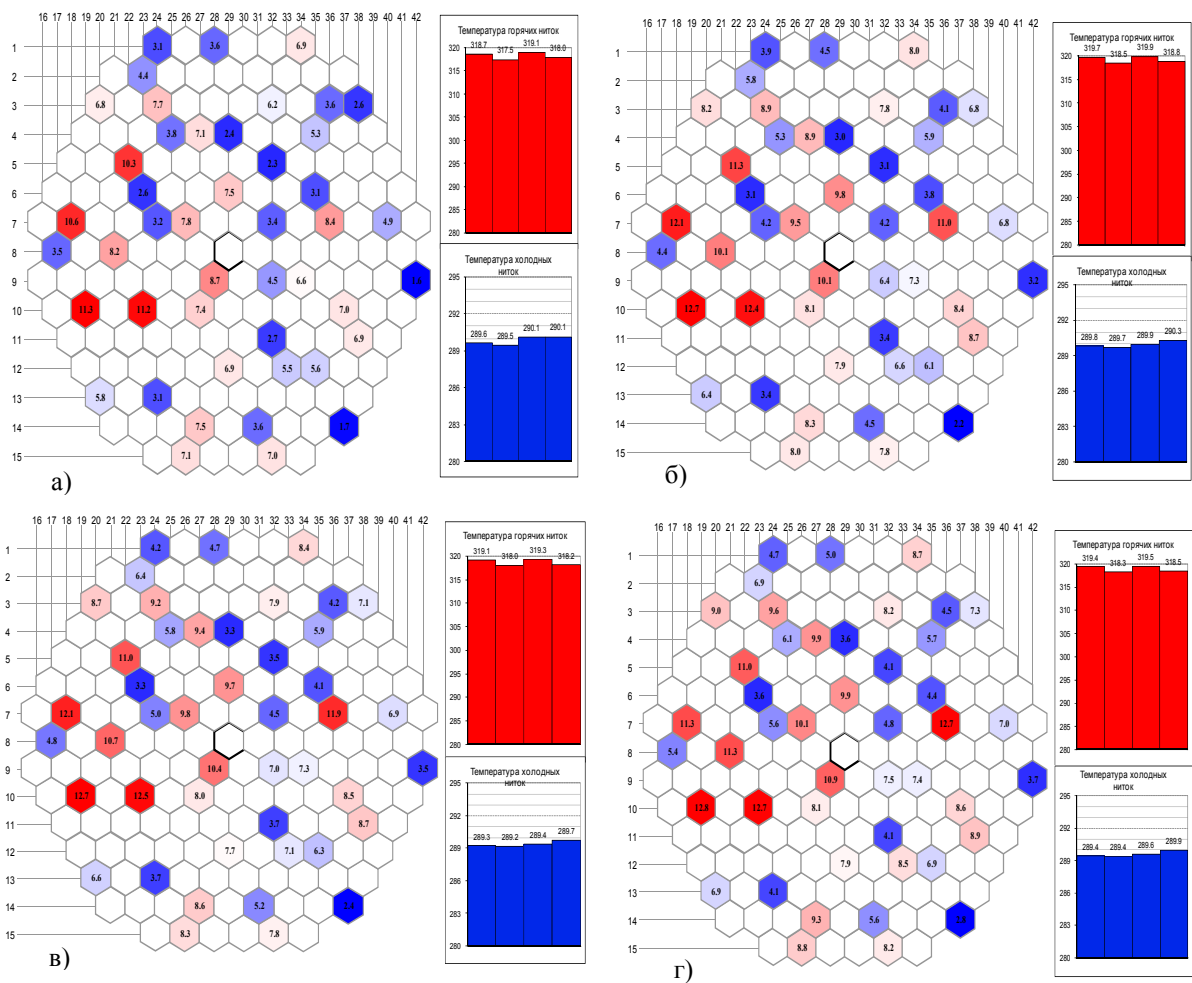


Рис. 4. Отклонения показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток на номинальном уровне мощности: а) режим VI-а, б) режим VI-б, в) режим VI-в, г) режим VI-г

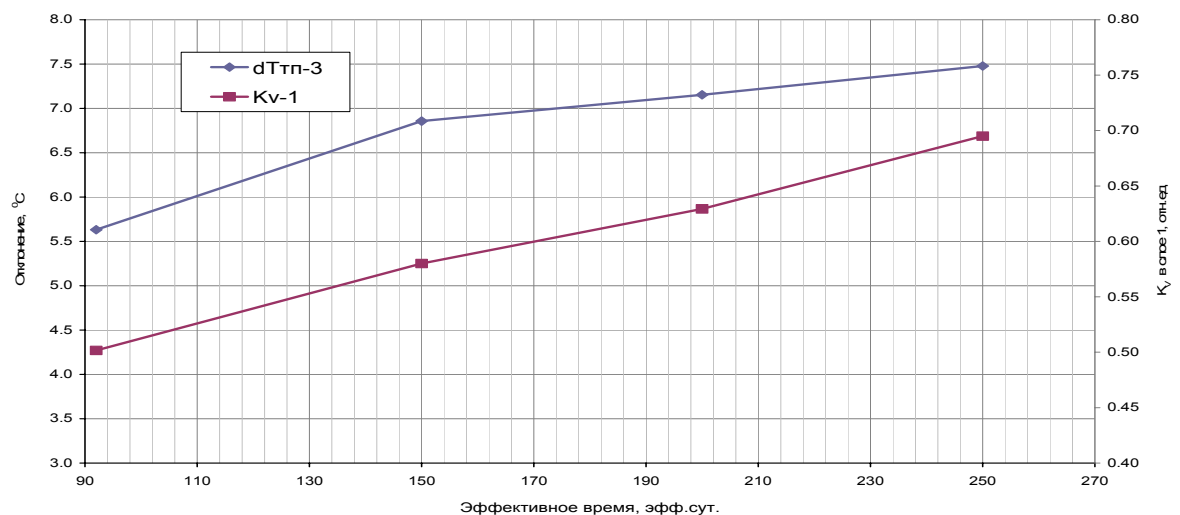


Рис. 5. Зависимость среднего отклонения показаний ТП-3 от средней температуры холодных ниток (dT_{TP-3}) и объемного коэффициента неравномерности энерговыделения по данным ДПЗ-1 (K_v-1) от эффективного времени работы реактора при номинальном уровне мощности

Заключение

Получен ценный опыт контроля температуры теплоносителя на входе в ТВС с помощью ТП в СВРД. Представленные результаты показывают, что существует ряд вопросов, связанных с уточнением показаний ТП-3 в связи с наблюдаемой методической погрешностью. Решение данных вопросов чрезвычайно актуально в связи с дальнейшим использованием данной точки контроля в новых проектах энергоблоков АЭС с ВВЭР.

Эти вопросы могут быть решены продолжением накопления опытных данных в разных эксплуатационных состояниях для обоснованных предложений как по корректировкам показаний ТП-3, так и по изменениям в конструкции ТВС. Корректировки в показаниях ТП-3 возможны на основании формализации выявленных зависимостей. Конструкционные изменения, по возможности, должны обеспечить расположение ТП-3 на входе в ТВС ниже начала топливной части активной зоны и проток теплоносителя в месте расположения ТВС со средним расходом по сечению ТВС.

Список литературы

1. Ю.В Саунин, А.Н. Добротворский. Комплексные испытания модернизированной системы внутриреакторного контроля при вводе в эксплуатацию блока №3 Калининской АЭС. 5-я международная научно-техническая конференция "Обеспечение безопасности на АЭС с ВВЭР". Материалы конференции. г.Подольск, ФГУП ОКБ "Гидропресс", 2007 г.
2. Б.В. Лысиков, В.К. Прозоров и др. Температурные измерения в ядерных реакторах. М., Атомиздат, 1975.
3. Б.В. Лысиков, В.К. Прозоров. Термометрия и расходомерия ядерных реакторов. М., Энерготомиздат, 1985.
4. Ю.В Саунин, А.Н. Добротворский, А.В.Семенихин. Исследование температуры теплоносителя на входе в активную зону на примере реактора Тяньваньской АЭС (Китай). Атомная энергия, т.103, вып.2, август 2007.