

УДК 621.039.524+536.5

СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТОЧНОСТЬЮ И НАДЕЖНОСТЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВВЭР-440

*Штанц С., Рена М.**(ВУЙЕ Трнава, а.о. — инженерно-проектная и исследовательская организация)*

Точность и надежность измерения температуры в ВВЭР-440 являются важными факторами безопасной и экономичной эксплуатации. Уровень точности и надежности проектных измерений температуры непрерывно повышался за время эксплуатации этих реакторов. Значительное влияние на повышение уровня оказала реализация СПАС. Настоящая статья посвящена назначению, описанию, преимуществам использования и реализации системы СПАС на АЭС с ВВЭР-440.

Система СПАС входит в перечень контрольно-измерительной аппаратуры для определения температуры теплоносителя на выходе ТВС, а также на входе и выходе охлаждающих петель. Она выполняет следующие функции:

- калибровку проектных измерений температуры во время квазиизотермических режимов;

- контроль точности проектных измерений температуры во время эксплуатации на мощности в каждом цикле измерения;

- контроль за состоянием датчиков температуры при работе на мощности;

- накопление базы данных о точности и надежности аппаратуры;

- диалоговый анализ точности и надежности.

Наблюдение за характеристиками проектных измерений температуры реактора основано на использовании температурного эталона реактора [1]. С помощью эталона температуры реактора можно проводить калибровку проектных измерений температуры во время квазиизотермического состояния, а также контролировать точность в течение работы на мощности.

Эталон температуры в каждом измерительном цикле автоматически контролирует точность своего измерения. Его датчики температуры с помощью стандартов метрологически связаны с эталонами температуры высших уровней. Комбинированные датчики температуры эталона температуры представляют собой установленные измерительные устройства.

Наблюдение за надежностью измерительного тракта основано на контроле сопротивлений измерительных контуров и сопротивлений изоляции [2].

СПАС использует данные, полученные в системе внутриреакторного контроля, а также температурного эталона реактора. Ее можно реализовать непосредственно в системе внутриреакторного контроля, как на В-230 АЭС «Богунце», или путем совмещения с температурным эталоном реактора, как это сделано на В-213 АЭС «Моховце» (рис. 1). Совмещение СПАС и температурного эталона реактора представляет собой контрольную систему измерения температуры реактора.

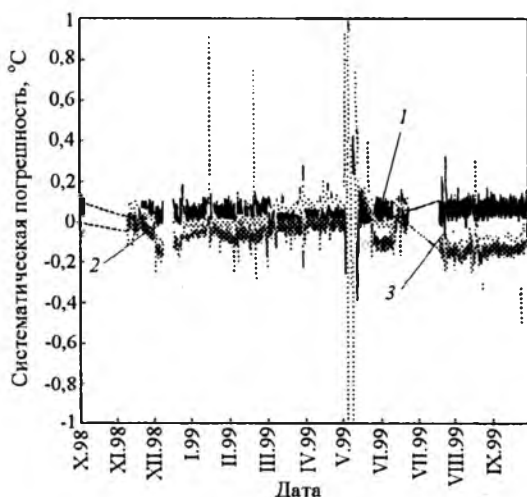
Важнейшими выходами системы являются:

- точность температурного эталона, определяемая в каждом цикле измерения в течение всей кампании (рис. 2);

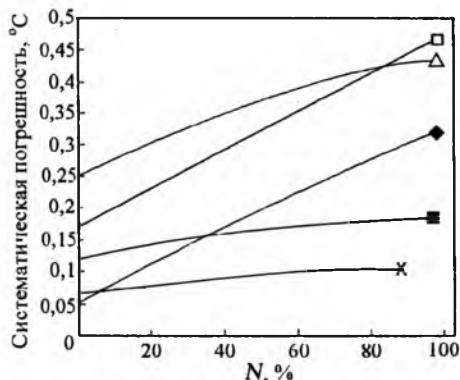
- поправки к результатам измерения температуры, определяемые во время квазиизотермического состояния, включая оценку их качества;

- точность измерения температуры проектной системой в каждом измерительном цикле во время работы реактора на мощности. Графики систематической погрешности измерения приведены для температуры теплоносителя на выходе из ТВС (рис. 3), температуры теплоносителя в петлях (рис. 4), подогрева теплоносителя (рис. 5, 6);

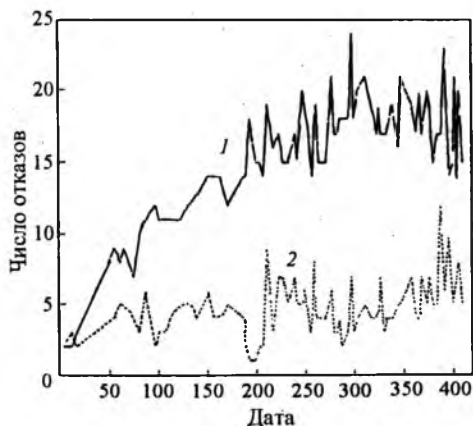
- характеристики надежности — график среднего изоляционного сопротивления термомпар на выходе ТВС 2-го блока АЭС «Богунце» в течение 18-й кампании приведен на рис. 7, временная характеристика числа измерительных контуров с отказами и



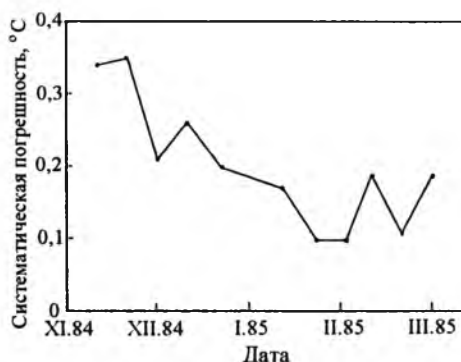
Р и с. 4. Систематическая погрешность терморезисторов (2, 3) и термометров сопротивления (1) при измерении температуры на горячих нитках петель во время первой кампании на 1-м блоке АЭС «Моховце»



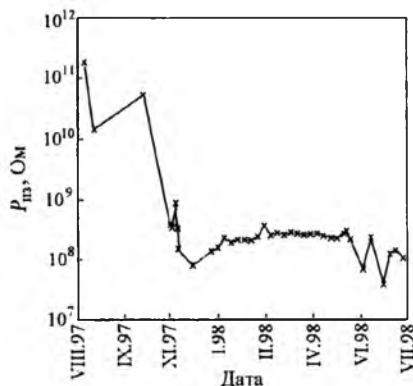
Р и с. 6. Зависимость систематической погрешности при измерении температуры подогрева системой «Гиндукуш» от мощности реактора на АЭС «Богуннице» (■, □) и «Дукованы» (×, ◆, Δ)



Р и с. 8. Число отказов терморезисторов во время первой кампании 2-го блока В1 АЭС «Богуннице»: 1 — отказные петли терморезисторов; 2 — петли терморезисторов с разрывающимися отказами



Р и с. 5. Систематическая погрешность при измерении температуры подогрева системой «Гиндукуш» на 1-м блоке АЭС «Богуннице» во времени



Р и с. 7. Изменение среднего сопротивления изоляции датчиков, установленных на выходе ТВС 2-го блока АЭС «Богуннице» (18-я кампания)



Р и с. 9. Метрологическая схема измерения температуры для ВВЭР-440

квазиизотермического состояния температурной эталон реактора должен иметь действующее калибрационное удостоверение. Для того чтобы температурный эталон реактора имел действующее удостоверение о калибровке, он должен иметь удостоверение о калибровке для всех комбинированных датчиков температуры, эталона сопротивления и аналого-цифрового преобразователя. Это заключение вытекает из анализа точности температурного эталона реактора.

В настоящее время измерительные системы температуры большинства ВВЭР-440 не имеют температурного эталона. Каким же образом обеспечена на них правильность измерений? При квазиизотермическом состоянии, когда неизвестна неравномерность распределения температуры в реакторе, рассчитывается средняя температура, которая принимается за опорную, используемую далее для введения индивидуальных поправок. Можно согласиться с тем, что такой подход может положительно влиять на точность измерения, но с точки зрения метрологии он должен быть признан неправильным. Получается, что сначала технология используется для градуировки измерительной системы, затем эта система служит для контроля технологии. Самым большим недостатком такого способа является незнание неравномерности распределения температуры теплоносителя во время квазиизотермического режима. Если измеряемая температура разнится, как правило, на несколько десятых градуса [3], но может быть и больше, нельзя однозначно установить причину этого различия — режим работы блока или точность измерений. Поэтому в 1989 г. в рамках СЭВа была разработана методика метрологической аттестации и поверки каналов измерения температуры теплоносителя в системах внутриреакторного контроля. После распада СЭВа этот документ не был введен в действие.

Автоматическое наблюдение за качеством трактов измерения температуры во время кампании имеет большие преимущества для персонала службы контрольно-измерительных приборов, поскольку обеспечивается получение информации в реальном масштабе времени о состоянии измерительной системы, быстрое определение и учет отказов, что облегчает подготовку к ремонту отказавших каналов во время остановки блока.

К наиболее типичным аномальным состояниям, когда измеренные параметры не совпадают с расчетными или ожидаемыми, относятся:

несоответствие распределения мощности ожидаемому;

несоответствие между поддерживаемой и действительной тепловой мощностью;

неопределенности протечек теплоносителя.

Аномальные состояния возникают при эксплуатации часто. В таких случаях не просто найти ответ на вопрос, что привело к аномалии, — технология эксплуатации блока или погрешность измерения. Система помогает в этих случаях объяснить причину аномалии.

Наблюдение за длительными изменениями характеристик датчиков и трактов важно для оценки качества измерения температуры и теплоносителя на выходе ТВС. В настоящее время существуют различные взгляды на изменения характеристик датчиков под воздействием реакторного излучения [4], что, в частности, объясняется отсутствием метрологического обеспечения измерений на действующих реакторах.

Система СПАС, внедренная на двух блоках В-230 АЭС «Богунице» и двух блоках АЭС «Моховце» [5, 6], проявила себя на отдельных АЭС как полезный помощник. Работникам КИПа она позволила вести непрерывные наблюдения за качеством проектных измерений температуры, физикам и технологам помогла при объяснении аномальных состояний на блоках. Описанная система была разработана и внедрена в сотрудничестве с работниками КИП и физиками на отдельных АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штанц С., Сланина М. Температурный эталон реактора ВВЭР-440. Докл. на симп. «Измерения, важные для безопасности ВВЭР». Смоленске, сентябрь 2001 г.

2. Штанц С., Томик Я., Гесе А. Эксплуатационная диагностика термoeлектрических цепей системы внутриреакторного контроля. — Атомная энергия, 1982, т. 52, вып. 4.
3. Тимонин А.С. Сопровождение эксплуатации термодатчиков в ВВЭР. Докл. на симп. «Измерения, важные для безопасности ВВЭР». Смоленице, сентябрь 2001 г.
4. Лыиков Б.В., Прозоров В.К. Реакторная термометрия. М., Энергоатомиздат, 1980.
5. Голянь П., Крупа С. Способ реализации и использования систем наблюдения за точностью и надежностью характеристик измерения температуры ВВЭР-440 на АЭС В1. Докл. на симп. «Измерения, важные для безопасности ВВЭР». Смоленице, сентябрь 2001 г.
6. Шимко Ю. и др. Опыт эксплуатации и предложения по усовершенствованию системы СПАС на ЭМО-6. Там же.

Поступила в Редакцию 5.12.01

УДК 621.039.576

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

*Афремов Д.А., Журавлева Ю.В., Миронов Ю.В., Радкевич В.Е.
(ФГУП НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала)*

В кодах улучшенной оценки, широко применяемых при анализе безопасности ядерных реакторов, используются современные замыкающие соотношения для моделирования физических процессов, априорно не содержащие ни консервативных, ни оптимистических допущений. Тем не менее результаты каждого индивидуального расчета всегда содержат неопределенности вследствие:

технологических отклонений элементов конструкции и требований к системе контроля и управления установки (допуски на размеры, уставки системы регулирования, погрешности измерительных систем и др.);

погрешности, вносимой нодализацией объектов при их моделировании; используемых в коде замыкающих соотношений.

В связи с этим актуальной задачей является анализ неопределенности результатов расчетов. В настоящей работе исследовали неопределенности расчетов, возникающие вследствие погрешности замыкающих соотношений.

В работе [1] выделены три основных метода анализа неопределенностей:

UMAE (Uncertainty Method based on Accuracy Extrapolation) университета Пизы (Италия) [2—5]. Точность расчетов, полученная при моделировании серии теплогидравлически подобных экспериментов, экстраполируется на аварийный режим реактора-прототипа;

Управления по атомной энергии (AEA Technology, Великобритания) [6]. Эксперт выделяет исходные неопределенности в некоторых доверительных границах. Влияние этих неопределенностей затем исследуется в рамках расчетов с использованием граничных варьируемых параметров;

GRS (Германия) [7—9], IPSN (Франция) [9] и ENUSA (Испания) [9]. Это статистические (вероятностные) методы, основанные на задании исходных неопределенностей в виде случайных величин с задаваемым законом распределения.

Вероятностные методы зарекомендовали себя как наиболее обоснованные [1], но до недавнего времени их применение сдерживалось необходимостью большего числа вариантов расчетов. Ситуация изменилась с появлением мощных процессоров.

Авторами реализована методика статистического анализа неопределенности теплогидравлических расчетов на основе идей метода GRS, модернизирован код RELAP5/MOD3.2 и проведен анализ неопределенностей для рассматриваемых задач.

Предпосылки статистического определения погрешности моделирования. Математическая модель объекта основана на совокупности законов сохранения, которые записаны в виде, соответствующем выбранному способу выделения объекта из окру-