

ОПРОБОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ СВРК НА ЭНЕРГОБЛОКЕ №1 НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2

А.В. Семенихин*, Ю.В. Саунин*, М.М. Жук**

* Нововоронежский филиал «Нововоронежатомтехэнерго АО «Атомтехэнерго»
396072, Воронежская обл., г. Нововоронеж, Южное шоссе, 1

** филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС»
396071, Воронежская обл., г. Нововоронеж, промышленная зона Южная, 1



При вводе в эксплуатацию энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2 впервые было проведено опробование системы диагностики входной информации системы внутриреакторного контроля (СВРК), функционирующей в режиме реального времени. Система разработана в Нововоронежском филиале «Нововоронежатомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго» при участии специалистов НИЦ «Курчатовский институт». Целью создания такой системы диагностики являлось обеспечение непрерывного контроля достоверности входной информации в связи с тем, что в новые и модернизированные проекты СВРК включено выполнение защитных функций по локальным внутриреакторным параметрам.

Сформулированы задачи, решаемые при разработке системы диагностики входной информации СВРК, показана структура разработанной системы и даны основные сведения о ее функционировании. Приведены основные результаты опробования системы, которые подтвердили, что она способна в режиме реального времени обнаруживать измерительные каналы контроля с недостоверными показаниями и выдавать соответствующую диагностирующую информацию.

Рассматриваемая СВРК может послужить прототипом для развития подобных систем с включением в них новых функций в измерительных каналах систем контроля и управления АЭС, позволяющих проводить комплексный анализ информации в режиме реального времени для указания причин, раннего выявления и прогнозирования развивающихся дефектов.

Ключевые слова: система внутриреакторного контроля, измерительные каналы контроля, система диагностики, недостоверные показания.

ВВЕДЕНИЕ

Системы внутриреакторного контроля (СВРК) новых и модернизированных проектов энергоблоков АЭС с ВВЭР помимо информационных функций выполняют и защитные функции [1, 2]. Эти функции заключаются в формировании и передаче в иницирующую часть системы управления и защиты сигналов предупредительной и аварийной защиты по внутриреакторным локальным параметрам – максимальному линейному энерговыделению на твэл и минимальному запасу до кризиса теплообмена. В связи с этим

© А.В. Семенихин, Ю.В. Саунин, М.М. Жук, 2017

существенно возрастают требования к техническому обслуживанию СВРК, включающему в себя периодические регламентные проверки и испытания, в том числе контроль достоверности исходной измерительной информации, поступающей на вход СВРК [3, 4].

Контроль достоверности исходной информации является одной из важнейших функций первичной обработки в системах контроля и управления. Проектами СВРК предусмотрены функции по проверке достоверности входной информации, однако они ограничены, так как не используют в полной мере особенности структур информационно-измерительных систем и контролируемых технологических процессов. При этом алгоритмы контроля достоверности информации на основе указанных особенностей широко применяются, в частности, при проведении физических испытаний СВРК при вводе в эксплуатацию и эксплуатации энергоблоков АЭС [5]. Под физическими испытаниями СВРК понимаются натурные испытания, проводимые, согласно нормативным требованиям, для подтверждения работоспособности системы и ее соответствия проектным характеристикам.

В настоящее время фактически уже обозначены требования к использованию на АЭС технологий контроля в режиме реального времени (OLM) для технического обслуживания систем контроля и управления [6, 7]. Поэтому ведутся работы и предлагаются разные способы и методы реализации технологий OLM на АЭС [8 – 11], в том числе и для СВРК на АЭС с ВВЭР [12]. С учетом указанных требований специалисты Нововоронежского филиала «Нововоронежатомтехэнерго» (НВАТЭ) АО «Атомтехэнерго» при участии специалистов НИЦ «Курчатовский институт» разработали свою систему диагностики входной информации СВРК в режиме реального времени. При разработке этой системы был использован большой объем экспериментальных данных, полученных авторами при физических испытаниях СВРК на энергоблоках АЭС с ВВЭР разных проектов.

При вводе в эксплуатацию энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2 было проведено первое натурное опробование разработанной системы диагностики. В работе представлены основные сведения о системе, полученные результаты и перспективы ее использования.

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Основной задачей при разработке системы диагностики входной информации является создание автоматической системы диагностики, функционирующей в режиме реального времени. Для этого требуется разработка и реализация алгоритмов, которые позволяют автоматизировать ряд процедур, выполняемых сопровождающим персоналом при периодическом техническом обслуживании и проверках состояния СВРК в соответствии с регламентами эксплуатации. Действия сопровождающего персонала при выполнении требуемых процедур для их формализации и алгоритмизации были разделены на следующие задачи:

- определение режима работы, в котором находится реакторная установка (РУ);
- определение состояния, которое соответствует требованиям проведения диагностики и оценок достоверности входной информации;
- выполнение проверки и оценки достоверности показаний каналов контроля параметров, которые соответствуют условиям диагностики в определенном режиме работы РУ;
- выдача необходимых информационных сообщений сопровождающему персоналу о результатах проверки и диагностики;
- сохранение в архиве текущих результатов выполняемой диагностики.

Проводить диагностические процедуры, заключающиеся в оценке достоверности показаний измерительных каналов, система должна начинать с режима «горячее состояние» или «минимально контролируемый уровень мощности (МКУ)», когда выполняют-

ся условия для проверки каналов контроля температуры теплоносителя первого контура с расчетом аддитивных поправок. Также в этом режиме работы РУ можно провести проверку каналов контроля общетехнологических параметров, например, перепада давления на главном циркуляционном агрегате (ГЦНА), частоты питания ГЦНА, мощности ГЦНА и других. При работе на мощности выше 10% от номинальной уже выполняются условия каналов для проверок контроля токов датчиков прямой зарядки (ДПЗ) и параметров, участвующих в расчете средневзвешенной мощности РУ.

Все проверки по оценке достоверности показаний измерительных каналов необходимо проводить в стабилизированных состояниях объекта контроля исходя из применяемой статистической обработки. Выполнение условия стабилизированного состояния можно определить по выбранным критериям стабильности характерных параметров для каждого режима работы РУ.

Использованные при разработке системы диагностики методики оценки достоверности показаний измерительных каналов контроля были неоднократно опробованы при выполнении физических испытаний СВРК во время ввода в эксплуатацию и эксплуатации энергоблоков с ВВЭР-1000 разных проектов [5]. Для обработки результатов данных испытаний в настоящее время используется специальное программное обеспечение [13, 14]. В представляемой системе диагностики для оценок достоверности были использованы алгоритмы функционирования указанного программного обеспечения, но модифицированные для применения в режиме реального времени.

Сообщения об обнаруженных недостоверных показаниях анализируемых каналов контроля выводятся на обобщенном формате с цветной индикацией, что позволяет легко воспринимать результаты функционирования системы. Кроме того, для анализа причин недостоверностей существует формат с подробной информацией по результатам выполненного анализа.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ

Система диагностики входной информации СВРК состоит из отдельного компьютера (ноутбука), подключенного через локальную сеть к СВРК.



Рис. 1. Структурная схема системы диагностики входной информации СВРК

На компьютере установлены операционная система MS Windows 7 и специальное программное обеспечение «Диагностика СВРК», которое является определяющим элементом системы и состоит из

- исполняемого файла Diagnose.exe;
- базы данных BD_SVRK.accdb с информацией по параметрам и настройкам для обработки;
- настроечных файлов типов *.ini и *.txt, в которых хранится информация по определению режима работы РУ и выбору интервала времени для проведения расчета;
- шаблонов графиков для быстрого построения зависимостей, необходимых для анализа и оценок поведения контролируемых параметров СВРК;
- текстовых файлов с сохраненной информацией по результатам обработки;
- бинарных файлов – архива полученных значений от СВРК.

На рисунке 1 представлена структурная схема системы диагностики входной информации СВРК, которая дает наглядное представление о системе и взаимодействии между ее составными частями.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ

Получив посылку данных от СВРК, система диагностики заносит ее в буфер. Буфер организован по типу «первый вошел - первый вышел» (FIFO). Размер буфера может быть установлен любым. Как правило, вполне достаточным является 600 посылок, что соответствует длительности сохранения полученных данных за 10 минут. Эта величина может быть изменена по результатам пусконаладочных работ. Размещение данных в буфере необходимо для проведения проверок на множестве значений, а не на точечных данных.

По данным, хранящимся в буфере, система диагностики определяет режим работы РУ. Эта процедура необходима для запуска необходимых алгоритмов оценки достоверности контролируемых параметров. В соответствии с технологическими особенностями выделяются следующие режимы работы:

- не определен;
- холодное состояние;
- горячее состояние (минимально контролируемый уровень мощности);
- мощность реакторной установки до 10% от номинальной;
- мощность реакторной установки выше 10% от номинальной.

Если режим работы РУ – «холодное состояние» или «не определен», то система диагностики не запускает ни одной задачи для оценки состояния проверяемых каналов контроля. В режиме «мощность реакторной установки до 10% от номинальной» запускаются задачи определения достоверности показаний каналов контроля температуры теплоносителя первого контура, перепадов давления на ГЦНА, частоты питания ГЦНА и других общетехнологических параметров. В режиме «мощность РУ выше 10% от номинальной» дополнительно к вышеперечисленным задачам добавляется проверка каналов контроля токов ДПЗ и параметров для расчета средневзвешенной мощности РУ. В режиме «горячее состояние (МКУ)» проводится проверка каналов контроля температуры теплоносителя первого контура с расчетом аддитивных поправок. В этом режиме проводятся проверки, аналогичные проверкам в режиме «мощность реакторной установки до 10% от номинальной». Для определения режима работы РУ используются показания каналов контроля температуры теплоносителя в холодных и горячих нитках первого контура, показания мощности реактора в каналах контроля аппаратуры контроля нейтронной мощности и значения мощности реактора, рассчитываемые в СВРК разными способами.

Оценка достоверности показаний измерительных каналов производится системой «Диагностика СВРК» только при стационарном режиме работы РУ. Требуемое условие определяется системой по контролю набора определенных параметров на стабильность показаний в каналах контроля этих параметров. Для каждого режима существует свой

БЕЗОПАСНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ЯЭУ

набор контролируемых параметров. Стабильность показаний по контролируемым параметрам определяется по данным, хранящимся в буфере.

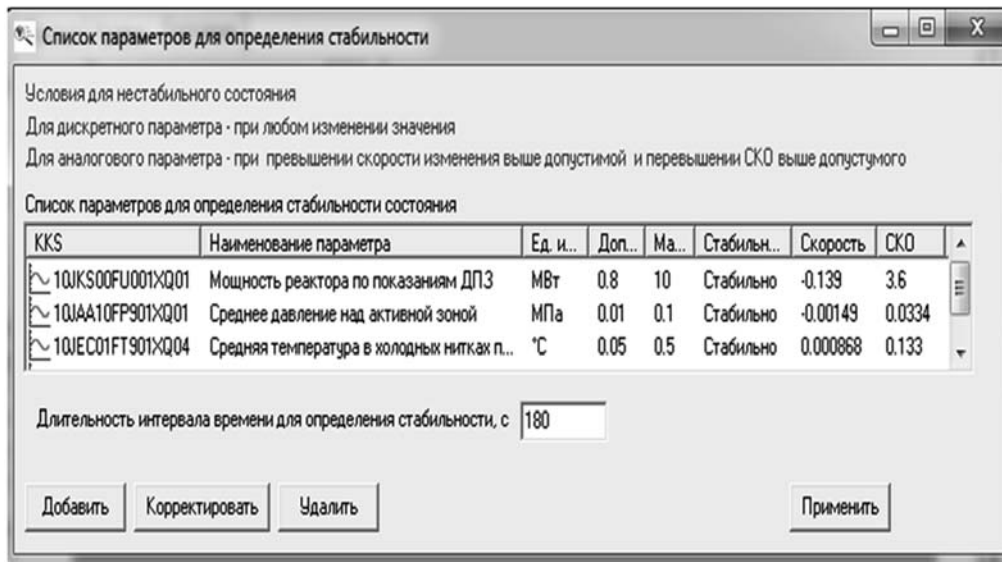


Рис. 2. Окно «Список параметров для определения стабильности»

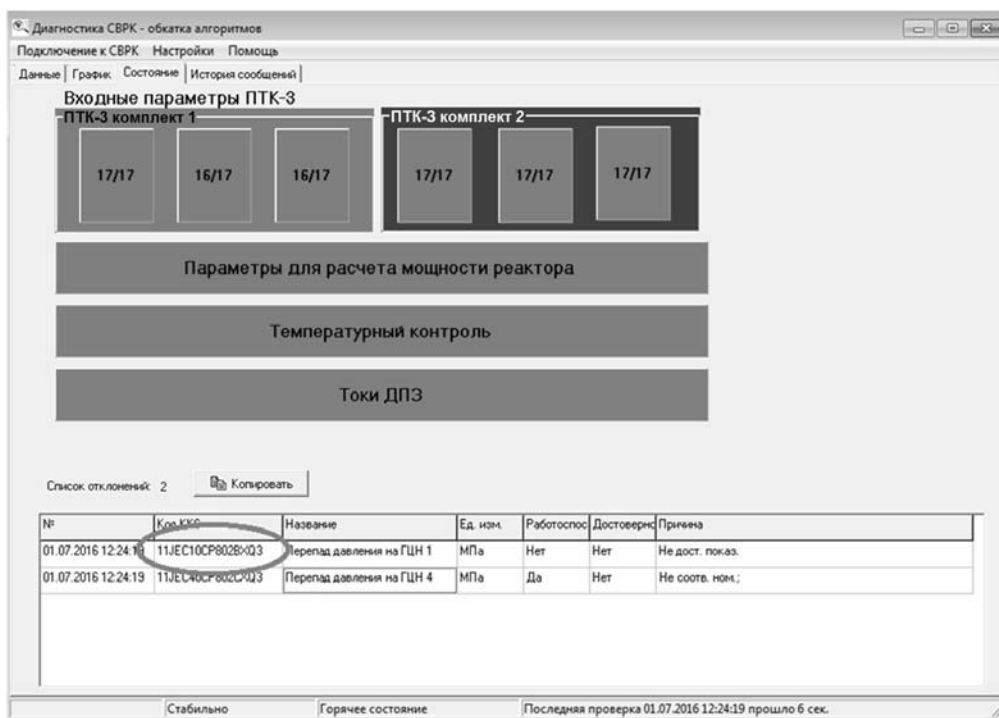


Рис. 3. Обобщенный формат «Диагностика СВРК» с указанием групп с недостоверными показаниями

Условие стабильности показаний различно для дискретных и аналоговых параметров. Если на рассматриваемом временном интервале было изменение показания дискретного параметра, то показание считается нестабильным. Для аналогового параметра условие стабильности на рассматриваемом интервале времени оценивается по скорос-

ти его изменения и по значению среднеквадратичного отклонения. Эти характеристики параметра не должны превышать определенных значений. Для оценки скорости изменения используется алгоритм аппроксимации значений параметра линейной зависимостью. На рисунке 2 приведено соответствующее окно из интерфейса системы.

При выполнении условий стабильности текущего состояния РУ запускаются расчеты на оценку достоверности информации в проверяемых каналах контроля. При выявлении признаков недостоверности на обобщенном формате красным цветом показывается группа, где обнаружен канал контроля с недостоверной информацией (рис. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОБОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

При вводе в эксплуатацию энергоблока №1 НВАЭС-2 разработанная система диагностики входной информации СВРК была впервые установлена на объекте назначения и, таким образом, было проведено ее опробование в натуральных условиях. Опробование показало, что система диагностики работоспособна и отвечает ее назначению, а также позволило своевременно выявить несколько дефектов. В частности, во время опробования на этапе освоения уровня мощности 50% от номинальной системой диагностики были признаны недостоверными показания по одному из каналов контроля перепада давления на ГЦНА-1 (код канала контроля 11JEC10CP802BXQ3) по признаку несоответствия режимному значению. Показания этого канала при работающем ГЦНА-1 составляли около 0,002 МПа. Показания остальных каналов контроля по этому параметру были на уровне 0,630 МПа (см. рис. 3). Как оказалось, штатными процедурами проверок и отбраковок СВРК такой явный дефект не был идентифицирован. В дальнейшем по этому каналу контроля разработчиком СВРК было признано, что такие показания в данном режиме работы действительно являются недостоверными и их необходимо вывести из дальнейшей обработки.

Во время опробования на этапе освоения уровня мощности 90% от номинальной система диагностики обнаружила недостоверные показания в канале контроля перепада давления на ГЦНА-2 во второй стойке первого комплекта программно-технического комплекса защиты (ПТК-3). Недостоверность была определена по признаку отклонения показаний больше допустимого от параллельных измерений перепада давления на ГЦНА-2 в других стойках ПТК-3.

Недостоверные показания перепада давления на ГЦНА-2 привели к расчету запаса до кризиса теплообмена по этой стойке ПТК-3 с повышенной на 5% погрешностью по сравнению с остальными стойками. При непринятии мер по устранению дефекта и его дальнейшем развитии формирование аварийного сигнала по уменьшению запаса до кризиса теплообмена меньше допустимого в этой стойке ПТК-3 имело бы запаздывание, что не произошло лишь благодаря тому, что запас был достаточно велик. Это неотбракованное недостоверное показание перепада давления на ГЦНА-2 использовалось на верхнем уровне СВРК в расчете мощности петли №2 по параметрам первого контура. Поэтому значение мощности петли №2 было ошибочно на 8% больше ожидаемого показания в соответствии с текущим эксплуатационным состоянием. Далее эта ошибка приводила к ошибочно завышенному значению средневзвешенной мощности РУ на 0.7%. Приведенная цепочка алгоритмических зависимостей показывает, к каким последствиям в конечном итоге может привести только одно недостоверное значение во входной информации СВРК. После обнаружения недостоверных показаний по каналу контроля перепада давления на ГЦНА-2 была выдана рекомендация по выводу этих показаний из расчета на верхнем уровне, а также технических мероприятий, заключающихся вprodukte импульсных линий и корректировке нулевого значения.

Еще одним характерным примером результатов опробования было то, что на этапе

освоения уровня мощности 50% от номинальной система диагностики СВРК признала недостоверными показания в одном из каналов контроля токов ДПЗ. Недостоверность показаний была определена по признаку «погрешность выше допустимой величины», что означало наличие шумов, приводящих к увеличению случайной погрешности в этом канале контроля больше допустимого значения. Следовательно, значение мощности РУ по показаниям ДПЗ также рассчитывалось с большей погрешностью как на верхнем уровне СВРК, так и в одном из комплектов стоек ПТК-3, куда поступают показания с этого канала контроля. Шумящий канал контроля тока ДПЗ мог привести к расчету с повышенной погрешностью линейного энерговыделения в месте расположения датчика. Соответственно, при определенном эксплуатационном состоянии могло быть ложно достигнуто превышение уставки по линейному энерговыделению и выработка ложного сигнала предупредительной и (или) аварийной защиты. После обнаружения такого дефекта была выдана рекомендация вывести из обработки информацию этого канала как на нижнем, так и на верхнем уровнях СВРК, что повысило представительность и надежность функционирования системы по контролю энерговыделения в активной зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опробование системы диагностики входной информации СВРК при вводе в эксплуатацию энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2 показало ее работоспособность и выполнение требуемых функций в режиме реального времени в основных эксплуатационных состояниях. Подтверждено, что система оперативно обнаруживает каналы контроля с недостоверными показаниями и выдает соответствующую информацию персоналу АЭС, каким может быть как оперативный персонал, так и осуществляющий техническое обслуживание и (или) инженерно-физическое сопровождение из соответствующих подразделений АЭС. Подтверждение правильности работы системы диагностики было выполнено сравнением выявленных каналов контроля с недостоверными показаниями и перечнем каналов контроля с недостоверными показаниями, который составлялся на основании данных традиционного «ручного» способа обработки информации в ходе пусконаладочных испытаний СВРК на уровнях мощности 50, 75 и 100% $N_{ном}$.

При дальнейшем успешном опробовании системы в течение длительной эксплуатации на энергоблоке №1 Нововоронежской АЭС-2, а также при вводе в эксплуатацию других энергоблоков с ВВЭР система может быть рекомендована в качестве штатной системы для повышения надежности функционирования СВРК и энергоблока в целом за счет автоматизации ряда регламентных процедур технического обслуживания и сопровождения СВРК.

Данная система может послужить основой для развития подобных систем с включением в них новых функций, позволяющих проводить комплексный анализ информации в режиме реального времени для указания причин, прогнозирования и раннего выявления развивающихся дефектов в измерительных каналах систем контроля и управления АЭС [15, 16].

Литература

- 1 Брагин В.А., Батенин И.В., Голованов М.Н. и др. Системы внутриреакторного контроля АЭС с реакторами ВВЭР. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 128 с.
2. Калинушкин А.Е., Козлов В.В., Митин В.И., Семченков Ю.М. Система контроля, диагностики и управления для ЯЭУ большой мощности с водо-водяными реакторами. // Атомная энергия. – 2009. – Т. 106. – Вып. 1. – С. 3-8.
3. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (НП-001-15). Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М., 2015. – 74 с.
4. Саунин Ю.В., Рясный С.И. Комплексные испытания систем внутриреакторного контроля

- // ВАНТ. Серия: Обеспечение безопасности АЭС. – 2011. Вып. 29. – С. 12-18.
5. Саунин Ю.В. Разработка методик комплексных испытаний систем внутриреакторного контроля ВВЭР. / Автореф. дис. канд. техн. наук. - Подольск, ОКБ «Гидропресс», 2010. – 30 с.
6. IAEA Nuclear Energy Series. No.NP-T-1.1. On-line monitoring for improving performance of Nuclear Power Plants. Part 1: Instrument channel monitoring. – IAEA, Vienna, 2008. – 122 p.
7. IAEA Nuclear Energy Series. No.NP-T-1.2. On-line monitoring for improving performance of Nuclear Power Plants. Part 2: Process and component condition monitoring and diagnostics. – IAEA, Vienna, 2008. – 82 p.
8. Хашемиан Х.М. Техническое обслуживание измерительных устройств на атомных электростанциях. - М.: БИНОМ, 2012. – 350 с.
9. Hashemian H.M. The state of the art in nuclear power plant instrumentation. // International journal of nuclear energy science and technology. - 2009. – Vol. 4. – Iss.4. – PP. 350-354.
10. Hines J.W., Davis E. Lessons learned from the U.S. nuclear power plant on-line monitoring programs. // Progress in Nuclear Energy. - 2005. – Vol. 46. – Iss. 3-4. – PP. 176-189.
11. Ma J., Jiang J. Applications of fault detection and diagnosis methods in nuclear power plants: A review. // Progress in Nuclear Energy. – 2011. – Vol. 53. – Iss. 3. – PP. 255-266.
12. Алыев Р.В. Распознавание состояния активной зоны и анализ достоверности информации системы внутриреакторного контроля при эксплуатации топливных загрузок ВВЭР-1000. / Автореф. дис. канд. техн. наук. - Обнинск, 2013. – 22 с.
13. Саунин Ю.В., Добротворский А.Н., Семенихин А.В. Разработка и применение специализированного программного обеспечения при проведении комплексных испытаний системы внутриреакторного контроля реакторов ВВЭР. // Тяжелое машиностроение. – 2008. – № 11. – С. 18-22.
14. Саунин Ю.В., Добротворский А.Н., Семенихин А.В. Специализированное программное обеспечение для проведения комплексных испытаний системы внутриреакторного контроля реакторов ВВЭР. Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР. / Сб. тезисов докладов VI Междунар. научн.-технич. конф. – Подольск, ОКБ «Гидропресс», 26-29 мая 2009 г. – С.105.
15. Hashemian H.M. Integrated online condition monitoring system for nuclear power plants. // Kerntechnik. - 2010. – Vol. 75. – No. 5. – PP. 231-242.
16. Kim H., Na M.G., Neo G. Application of monitoring, diagnosis and prognosis in thermal performance analysis for nuclear power plants. // Nuclear Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 46. – Iss. 6. – PP. 737-752.

Поступила в редакцию 26.06.2017 г.

Авторы

Семенихин Александр Васильевич, ведущий инженер цеха физических и динамических испытаний

E-mail: SemenikhinAV@nvate.ru

Саунин Юрий Васильевич, зам. начальника цеха физических и динамических испытаний, канд. техн. наук

E-mail: yuvsaunin@nvate.ru

Жук Михаил Михайлович, ведущий инженер отдела ядерной безопасности и надежности

E-mail: ZhukMM@nvnpp1.rosenergoatom.ru

UDC 621.039.564

TESTING OF THE ICMS INPUT DATA DIAGNOSTIC SYSTEM AT UNIT № 1 OF NOVovorONEZH NPP II

Semenikhin A.V. *, Saunin Yu.V. *, Zhuk M.M. **

* JSC «Atomtechenenergo»

1 Yuzhnoe shosse, Novovoronezh, Voronezh reg., 396072 Russia

** Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» «Novovoronezh Nuclear Power Plant»

1 Promyshlennaya zona Yuzhnaya, Novovoronezh, Voronezh reg., 396071

Russia

ABSTRACT

A real-time input data diagnostic system of the in-core monitoring system (ICMS) was tested for the first time during the commissioning of Unit № 1 at Novovoronezh NPP II. The purpose of the diagnostic systems is to support continuous ICMS input data validity control in connection with the fact that new and upgraded ICMS designs include the performance of safety functions based on local in-core parameters. Tasks are formulated to be solved in the development of the ICMS input data diagnostic system, the structure of the developed system is shown, and the key information on the system operation is provided.

There were developed algorithms to define main operating mode of reactor plant and its stationary state for the possibility of functioning in automatic regime. Techniques of estimating the reliability of monitoring channels readings used in diagnose system have been repeatedly verified at ICMS physical tests during commissioning and operation of VVER-1000 power units of different projects.

Major system testing results are given, which demonstrate the system to be capable to detect in real time the measuring monitoring channels with invalid readings and to present respective diagnostic data. These results have confirmed that the system is capable to define the measuring monitoring channels with doubtful readings and to give the corresponding diagnostic information. The fulfilled testing has shown, that the developed system can be recommended as project system. It will allow to raising reliability of functioning ICMS at the expense of automation of some maintenance procedures.

Key words: in-core monitoring system, measuring monitoring channels, diagnostic system, invalid readings.

REFERENCES

1. Bragin V.A., Batenin I.V., Golovanov M.N., Kuzhil A.S., Levin G.L., Mitin V.I., Pavlyi I.Yu. *Sistemy vnutrireaktornogo kontrolya AES s reaktorami VVER* [In-core monitoring systems of NPP with WWER]. Moscow. Energoatomizdat Publ., 1987. 128 p. (in Russian).
2. Kalinushkin A.E., Kozlov V.V., Mitin V.I., Semchenkov Yu.M. *Sistema kontrolya, diagnostiki i upravleniya dlya yadernyh energeticheskikh ustanovok bol'shoj moschnosti* [Monitoring, diagnostics and control system for large-capacity nuclear power facilities with water moderated and cooled reactors]. *Atomnaya Energiya*, 2009, v. 106, no. 1, pp. 3-8 (in Russian).
3. *Obschie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnyh stantsiy (NP-001-15)* [General provisions of the nuclear power plants safety maintenance]. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzory. Moscow, 2015, 78 p. (in Russian).
4. Saunin Yu.V., Ryasnyj S.I. *Kompleksnyye ispytaniya sistem vnutrireaktornogo kontrolya* [Full-scale tests of in-core monitoring systems]. *VANT. Ser. Obespechenie bezopasnosti AES*, 2011, v. 29, pp. 12-18. (in Russian).
5. Saunin Yu.V. *Razrabotka metodik kompleksnykh ispytaniy sistem vnutrireaktornogo kontrolya VVER*: Avtoref. diss. kand. teh. nauk. [Techniques developing of the VVER in-core

- monitoring systems full-scale tests]. Podolsk, EDO «Gidropress», 2010. 30 p. (in Russian).
6. IAEA Nuclear Energy Series. No. NP-T-1.1. *On-line monitoring for improving performance of Nuclear Power Plants. Part 1: Instrument channel monitoring.* – IAEA, Vienna, 2008, 122 p.
7. IAEA Nuclear Energy Series. No. NP-T-1.2. *On-line monitoring for improving performance of Nuclear Power Plants. Part 2: Process and component condition monitoring and diagnostics.* IAEA, Vienna, 2008. 82 p.
8. Hashemian H.M. *Maintenance of process instrumentation in nuclear power plants.* Springer Verlag, 2006. 308 p.
9. Hashemian H.M. The state of the art in nuclear power plant instrumentation. *International journal of nuclear energy science and technology.* 2009, v. 4, iss. 4, pp. 350-354.
10. Hines J.W., Davis E. Lessons learned from the U.S. nuclear power plant on-line monitoring programs. *Progress in Nuclear Energy.* 2005, v. 46, iss. 3-4, pp. 176-189.
11. Ma J., Jiang J. Applications of fault detection and diagnosis methods in nuclear power plants: A review. *Progress in Nuclear Energy.* 2011, v. 53, iss. 3, pp. 255-266.
12. Alyev R.V. *Raspoznavanie sostoyaniya aktivnoy zony i analiz dostovernosti informatsii sistemy vnutrireaktonogo kontrolya pri ekspluatatsyi toplivnyh zagruzok VVER-1000.* Avtoref. diss. kand. tekh. nauk. [Recognition of a core state and the analysis of ICMS information reliability at operation of VVER-1000 fuel loadings]. Obninsk, 2013. 22 p. (in Russian).
13. Saunin Yu.V., Dobrotvorskij A.N., Semenihin A.V. Razrabotka i primeneniye spetsializirovannogo programmnoy obespecheniya pri provedenii kompleksnyh ispytaniy sistemy vnutrireaktonogo kontrolya reaktorov VVER [Developing and application of the specialised software for full-scale tests of VVER ICMS]. *Tyazhyoloe mashinostroeniye.* 2008, no. 11, pp. 18-22 (in Russian).
14. Saunin Yu.V., Dobrotvorskij A.N., Semenihin A.V. Spetsializirovannoye programmnoye obespecheniye dlya provedeniya kompleksnyh ispytaniy sistemy vnutrireaktonogo kontrolya reaktorov VVER [The specialised software for full-scale tests of VVER in-core monitoring systems]. *Sbornik tezisov dokladov VI Mezhdunar. nauchn.-tehnich. konf. «Obespecheniye bezopasnosti AES s VVER»* [Abstracts of 6-th Int. Conf. «Safety assurance of NPP with WWER»]. Podolsk, 2009, EDO «Gidropress», p. 105 (in Russian).
15. Hashemian H.M. Integrated online condition monitoring system for nuclear power plants. *Kernteknik.* 2010, v. 75. no. 5, pp. 231-242.
16. Kim H., Na M.G., Heo G. Application of monitoring, diagnosis and prognosis in thermal performance analysis for nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Technology.* 2014, v. 46, iss. 6, pp. 737-752.

Authors

Semenikhin Aleksandr Vasil'evich, Leading Engineer

E-mail: SemenikhinAV@nvate.ru

Saunin Yury Vasil'evich, Deputy Head of Department, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: yuvsauin@nvate.ru

Zhuk Mikhail Mikhajlovich, Leading Engineer

E-mail: ZhukMM@nvnp1.rosenergoatom.ru