

АЭС 2006 С ЭНЕРГБЛОКАМИ ВВЭР-1200 – НОВЫЙ ПОДХОД К ОТОБРАЖЕНИЮ ИНФОРМАЦИИ ОТ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Ю.А. Баранова*, М.Т. Слепов**

** Новоронежский УТЦ. 396072, г. Нововоронеж Воронежской обл., Промышленная зона Южная 5*

*** Нововоронежская АЭС. 396072, г. Нововоронеж Воронежской обл., Промышленная зона Южная 1*



Качество работы оператора блочного пункта управления во многом зависит от формы и количества информации, отображающей технологический процесс на атомной станции. Иррациональная форма подачи информации может стать причиной увеличения времени обработки информации и ошибок в решениях оперативного персонала. Вопросам удобству работы с потоками информации на АЭС уделяется пристальное внимание, однако процесс представления диагностической информации оперативному персоналу выпадает из рассмотрения как разработчиков систем технического диагностирования, так и проектантов интерфейса блочного пункта управления. Приводятся анализ информации, поступающей с систем технической диагностики, выводимой на верхний уровень, разработка требований к экранным формам и варианты реализации.

Ключевые слова: ВВЭР-1200, система технической диагностики, диагностическая информация, иерархическое построение, представление информации, экранная форма представления, информационный шум.

ВВЕДЕНИЕ

Системы технического диагностирования (СТД) современных АЭС в своем развитии прошли сложный путь от примитивных систем с малым количеством измерительных каналов и ограниченными возможностями по обработке информации к сложным программно-техническим комплексам, интегрирующим в своем составе различные по функциям СТД. Так, например, система контроля, управления и диагностики (СКУД), реализованная в проекте АЭС-2006 Нововоронежской АЭС-2, имеет в своем составе системы

- контроля вибрации (СКВ);
- обнаружения свободных предметов (СОСП);
- акустического контроля течей (САКТ);
- контроля течей по влажности (СКТВ);
- автоматического контроля остаточного ресурса (САКОР);
- комплексной диагностики (СКД);
- комплексного анализа (СКА).

© Ю.А. Баранова, М.Т. Слепов, 2014

Кроме СТД, входящих непосредственно в СКУД, имеются автономные системы, решающие узкоспециализированные проблемы. В первую очередь, это относится к комплексной системе диагностики арматуры (КСДА) и автоматизированной системе вибрационной диагностики. На АЭС-2006 с реактором ВВЭР-1200 планируется эксплуатировать в общей сложности девять диагностических систем, работающих по схожим, но разным алгоритмам.

Традиционно процесс представления диагностической информации оперативному персоналу АЭС выпадает из рассмотрения как разработчиков СТД, так и проектантов интерфейса блочного пункта управления (БПУ). Суть проблемы состоит в том, что для работы с современным поколением СТД нужны специальные знания из области цифровой обработки сигналов, вибрационной динамики роторных машин, физики реакторов и др., которыми оперативный персонал, несмотря на свою квалифицированную подготовку, не обладает. Более того, большинство заключений о состоянии оборудования носит вероятностный характер, в то время как персоналу, ведущему технологический процесс, требуются конкретные ответы на конкретные вопросы. Разработчики СТД проектируют интерфейс систем, ориентируясь на знания и опыт персонала отделов технической диагностики (ОТД), в то время как оперативный персонал привык получать информацию совершенно в другой форме. Отсюда и появляется непонимание между специалистами отделов технической диагностики и оперативным персоналом, которое часто ведет к конфликтным ситуациям. Под понятием «оперативный персонал» имеется в виду не только персонал БПУ, но и оперативный персонал реакторного, турбинного, электрического цехов, цеха тепловой автоматики и измерений, а также отделов, участвующих в ведении технологического процесса на АЭС.

ЭТАПЫ В ОСНАЩЕНИИ АЭС СИСТЕМАМИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для понимания дальнейшего совершим небольшой экскурс в историю оснащения АЭС различными СТД. Авторы условно делят весь сложный путь внедрения, освоения и эксплуатации СТД на четыре этапа.

Первый этап в развитии СТД характерен тем, что не существовало никаких не то, что специализированных систем для диагностирования оборудования, но и порой не было даже инструментальных средств для сбора соответствующей информации, не говоря уже об оперативном отображении обработанной информации о состоянии оборудования. Процесс диагностирования держался часто на энтузиазме отдельных сотрудников.

Если говорить о конкретике, то применительно к условиям Нововоронежской АЭС процесс диагностирования выглядел следующим образом (рассматриваются только вибрационные измерения). Виброакустические датчики устанавливались на контролируемом оборудовании (часто один датчик на один агрегат). Полученный сигнал усиливался, фильтровался и подавался на устройство, которое преобразовывало электрический сигнал в звук. Оператор мог по своему желанию, селективно выбирая нужный канал, прослушать работу каждой единицы оборудования. При этом дефект выявлялся «на слух». Понятно, что говорить в данном случае о точности или надежности выявляемых дефектов можно с крайней осторожностью. Позднее, с появлением первых, еще несовершенных, приборов для многоканальной записи сигналов (магнитографы), осуществляющих быстрое преобразование Фурье (основа спектрального анализа), стала возможной регистрация и обработка информации в лабораторных условиях. Конечно, ни о каком представлении информации в режиме «online» в данном случае не могло идти и речи.

Второй этап характеризуется тем, что для решения задач технического диагностирования были закуплены СТД фирмы «Siemens», частично адаптированные для эксплуатации на российских АЭС. Системы внедрены на первом и втором блоках Кольской АЭС, третьем и четвертом блоках Нововоронежской АЭС. Поскольку каждая система была предназначена на выявление преимущественно только одного диагностического признака (например, повышение акустического шума свыше установленного порога могло указывать на возможность течи), то такой класс систем стали называть локальными системами диагностики (ЛСД) [1]. Длительная эксплуатация СТД с последующей модернизацией как программных, так и технических средств показала, что данные системы выполняют свои функции полностью. Необходимо отметить, что несмотря на некоторый успех в решении задач технического диагностирования проблема представления информации о состоянии технологического оборудования оперативному персоналу так и не была решена. С одной стороны, сами СТД являлись полностью замкнутыми системами, т.к. изначально не предназначались для передачи информации во внешние информационные сети, а с другой стороны, сама информационная инфраструктура блоков была примитивной и крайне неразветвленной. Поэтому обмен информацией между персоналом отделов ОТД и оперативным персоналом происходил в форме бумажных протоколов, актов, записок.

Следующим важным этапом стало объединение ЛСД в комплексы систем. Это можно отметить в проектах третьего и четвертого блоков Калининской АЭС, первого и второго блоков Ростовской АЭС. Там впервые появляется концепция системы контроля, управления и диагностики (СКУД). Системы, объединенные в СКУД, для правильной работы своих алгоритмов получали информацию с систем верхнего блочного уровня, одновременно направляя в общеслечную сеть результаты своей работы. Однако по-прежнему крайне мало уделялось внимания представлению результатов работы СТД. Информация часто была неполной и не совсем понятной оперативному персоналу. Далее в качестве примера будет рассмотрена форма представления информации от СТД на четвертом блоке Калининской АЭС (рис. 1).

И, наконец, четвертый этап предполагается реализовать в проекте АЭС-2006 с реактором ВВЭР-1200 Нововоронежской АЭС-2.

Авторами были изучены сильные и слабые места в представлении диагностической информации оперативному персоналу. Но прежде чем перейти к результатам нашей работы, необходимо разобраться в проблемах объема и характера информации от СТД, необходимой для передачи оперативному персоналу.

ТРЕБОВАНИЯ К ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, ВЫВОДИМОЙ НА ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ

Сформулируем основные требования к информации, поступающей на верхний блочный уровень от СТД.

Интуитивно понятное отображение параметров. Часто происходит так, что «интуитивная понятность» для разработчиков не является таковой для конечных пользователей. Очень наглядным примером для понимания данной проблемы может служить тот факт, что с появлением цифровых приборов конструкторы стремились перевести любое показание прибора в цифровой формат. Но как показала практика, иногда для оператора важно не точное значение параметра с точностью до второго или третьего знака после запятой (как пример), а положение стрелки на шкале в определенном месте, что однозначно характеризовало нормальное или, наоборот, аномальное состояние оборудования. Осознание этого факта вернуло стрелочные индикаторы и в кабины современных лайнеров, и на пульты различных операторов, где мгновенное восприятие информации имеет решающее значение для при-

нения решения. Конечно, положения стрелок на шкалах имитируются компьютером, но от этого ценность восприятия информации несколько не страдает.

Отсутствие информации, способной ввести оператора в заблуждение. Количество информации, отображаемой на экране, называется экранной плотностью. Исследования показали, что чем меньше экранная плотность, тем отображаемая информация наиболее доступна и понятна для пользователя, и наоборот, если экранная плотность большая, это может вызвать затруднения в усвоении информации и ее адекватной интерпретации. Важно определить минимум показаний, дающих максимум информации. Не стоит отображать лишнюю или неточную информацию, так как она может принести вред.

Конечно, можно вывести всю имеющуюся информацию. Вопрос – зачем? Во-первых, оператор все равно не успеет охватить весь информационный объем, повысится риск пропустить что-то действительно важное. В производственных условиях с быстро протекающими переходными процессами несвоевременная реакция на событие или информацию о нем многократно увеличивает негативные последствия. Во-вторых, существуют четкие инструкции, регламентирующие действия оператора, а некий «информационный шум» может негативно сказаться на действиях оператора, особенно в стрессовых ситуациях. В большинстве случаев важен сам факт неисправности: течь, свободный предмет в контуре, повышенная вибрация и т.д.

Последовательное развертывание информации. Проблема отображения информации как любой, так и диагностической, как было показано выше, – это постоянный баланс между необходимой и второстепенной информацией. Достичь идеальной пропорции (некого «золотого сечения») не всегда возможно. Однако если оператору предоставлять сразу не весь объем информации, а только критически важный для оценки ситуации, то, несомненно, восприятие и анализ представляемой информации существенно вырастет. Здесь уместно привести аналогию с обыкновенной лупой. Обычно, люди, стремясь подробно рассмотреть то, что не видно глазом, используют лупу, и тогда мелкие детали становятся больше и лучше различимы. Также происходит и с диагностической информацией: оператор должен, даже мельком взглянув на экран, определить все ли оборудование работает штатно, но в то же время для получения больших сведений о том или ином событии, должна быть реализована иерархическая функция представления все более и более детализированной диагностической информации.

Соответствие стандартам организации интерфейсов, принятым на АЭС. Данное требование стандартно и, по мнению авторов, является максимально понятным. Для работы в едином информационном пространстве необходимо полное соответствие представления диагностической информации стандартам, установленным проектом. Отметим, что в данном случае речь идет именно о способах представления (цветовая кодировка, толщина линий, схематическое изображение оборудования и т.п.) информации, а не о том, что непосредственно выводить на экран.

НОВЫЙ ПОДХОД К ИЕРАРХИЧЕСКОМУ ПОСТРОЕНИЮ ОТОБРАЖЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Для наглядного сравнения нового подхода к представлению диагностической информации и того, что было сделано до этого, проведем анализ экранных форм представления диагностической информации на блоках с реакторной установкой ВВЭР-1000 в проекте четвертого блока Калининской АЭС (рис. 1).

В качестве положительной практики следует отметить, что данная экранная форма полностью соответствует проектным требованиям по отображению информации на мониторах, т.е. цветовое решение элементов, толщина линий, шрифты аналогичны тем,

что имеются на других экранных формах, отображающих состояние других систем, т.е. интерфейс привычен оперативному персоналу и не вызывает трудностей.



Рис. 1. Экранная форма представления информации диагностических систем четвертого блока Калининской АЭС

Кроме того, информация о выявленных аномальных событиях представлена оператору в явной форме. Изменение цвета сигнализирует о регистрации аномального события (в случае отсутствия аномалий – зеленый цвет, при регистрации ударного события или течи – красный). Кроме собственно регистрации события доступна информация о месте регистрации. Привязка к оборудованию достаточно условна, но в первом приближении она достаточна для принятия решений и выполнения корректирующих действий. Однако, по мнению авторов, алгоритм представления информации не продуман разработчиками до конца. Так, например, с представленной экранной формы невозможно перейти на другую форму, содержащую более детальные сведения о выявленном событии, т.е. нарушен принцип последовательного разворачивания информации.

Следующим важным недостатком следует считать неполный набор диагностической информации. На четвертом энергоблоке Калининской АЭС имеется СКУД, в составе которого помимо систем акустического и влажностного течеискания и обнаружения свободных предметов есть, как минимум, система контроля вибрации. Отслеживание уровней вибрации является само по себе важным диагностическим признаком «исправности» оборудования, не говоря уже о том, что существуют четкие границы вибрации (закрепленные руководящими документами), позволяющие однозначно относить оборудование к классам «исправное» или «неисправное». Поэтому закономерен вопрос об отсутствии уровней вибрации оборудования на данной экранной форме. По мнению авторов, вибрационное состояние оборудования не нашло отражения ввиду большой плотности представляемой диагностической информации. Если к имеющимся данным добавить что-то еще, информация перестанет восприниматься.

Рассмотрим другой подход, который будет реализован в проекте АЭС-2006 на Но-

Нововоронежской АЭС-2. На рисунке 2 представлена стартовая экранная форма, доступная оперативному персоналу АЭС. Именно на нее будет выводиться обобщенная информация о состоянии оборудования и с нее же можно будет перейти на другие экранные формы для более подробного изучения аномальных событий и понимания их степени опасности.

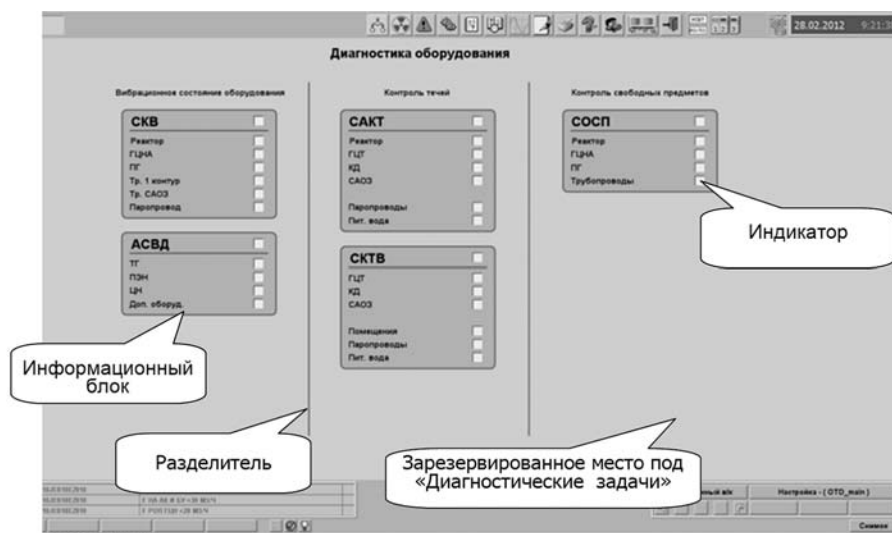


Рис. 2. Экранная форма представления информации диагностических систем для первого и второго блоков Нововоронежской АЭС-2 (проект)

Как видно из рисунка, на стартовой экранной форме отражен минимальный для восприятия набор данных (в том числе информация о вибрационном состоянии оборудования первого и второго контуров). При этом следует отметить, что информационно-диагностических элементов на ней заметно меньше по сравнению с экранной формой четвертого блока Калининской АЭС, что в конечном итоге снижает информационную нагрузку на оперативный персонал. Информация СТД сгруппирована в информационные блоки по выполняемым системами функциям – это «Вибрационное состояние оборудования», «Контроль течей» и «Контроль свободных предметов». Блоки подписаны и отделены друг от друга вертикальными линиями (разделителями). Одно из главных преимуществ такого подхода состоит в том, что оперативный персонал при возникновении аномального события (например, изменение цвета индикатора с зеленого на красный) с одного взгляда определяет, к какому классу событий относится аномалия (повышенная вибрация, появление течи или свободный предмет). Таким образом, необходимый объем информации для принятия корректирующих мер доступен оперативному персоналу в самый первый момент. Для получения более детальной информации существует возможность последовательного развертывания экранных форм с более подробным представлением информации на каждом шаге, при этом авторы считают необходимым ограничить глубину развертывания одним – двумя шагами.

Рассмотрим в качестве примера алгоритм получения информации в случае выявления аномального события в состоянии главных циркуляционных агрегатов (ГЦНА). Для диагностирования ГЦНА используется специализированная система технической диагностики ГЦНА (СТД ГЦНА). Система производит собственно измерение вибрации по всем каналам, сравнение уровней вибрации с выбранными пороговыми значениями и, используя заданные алгоритмы, выдает оперативному персоналу законченные диагностические сообщения. Регистрация аномального события выглядит следующим образом. На стартовой экранной форме (см. рис. 2) два индикатора изменяют цвет с зеленого на крас-

ный: первый – напротив названия системы, зарегистрировавшей событие (СКВ), второй – напротив обозначения оборудования, т.е. ГЦНА. Таким образом, на первом шаге оперативный персонал получает важную информацию – аномалия на ГЦНА, событие зарегистрировано системой СКВ. При переходе на следующую экранную форму (переход предполагается осуществлять простым нажатием на кнопку компьютерного манипулятора типа мышь или трекбола) можно получить более подробную информацию (рис. 3).

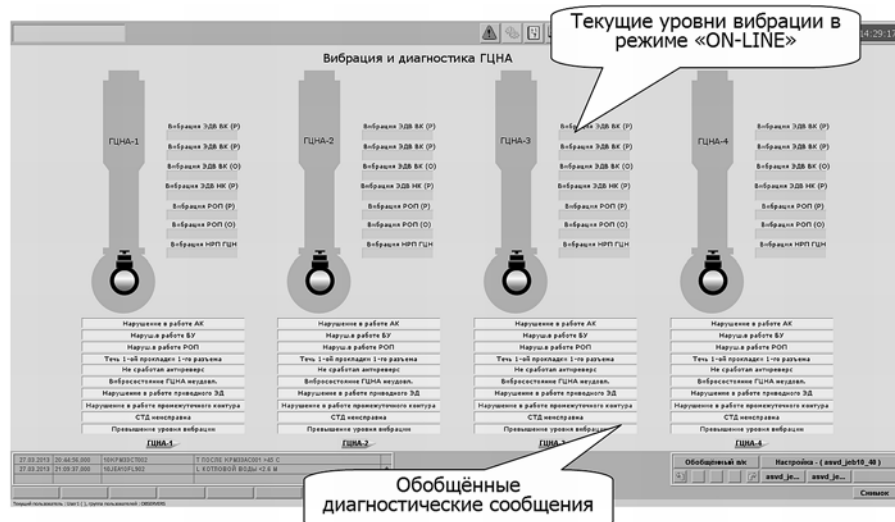


Рис. 3. Экранная форма второго уровня для диагностирования состояния ГЦНА

Если по результатам анализа информации на первой экранной форме определялись только самые общие факторы аномальной ситуации, т.е. аномальная ситуация относилась к одному из трех выделенных классов аномалий, а также к классу оборудования, в представленном нами примере – ГЦНА, то на второй экранной форме класс оборудования сужается до одного конкретного ГЦНА, и также существует возможность отслеживания текущих уровней вибрации в режиме on-line. Кроме того, на данной форме представлены обобщенные диагностические сообщения, позволяющие оперативному персоналу определить в первом приближении причину аномального состояния оборудования.

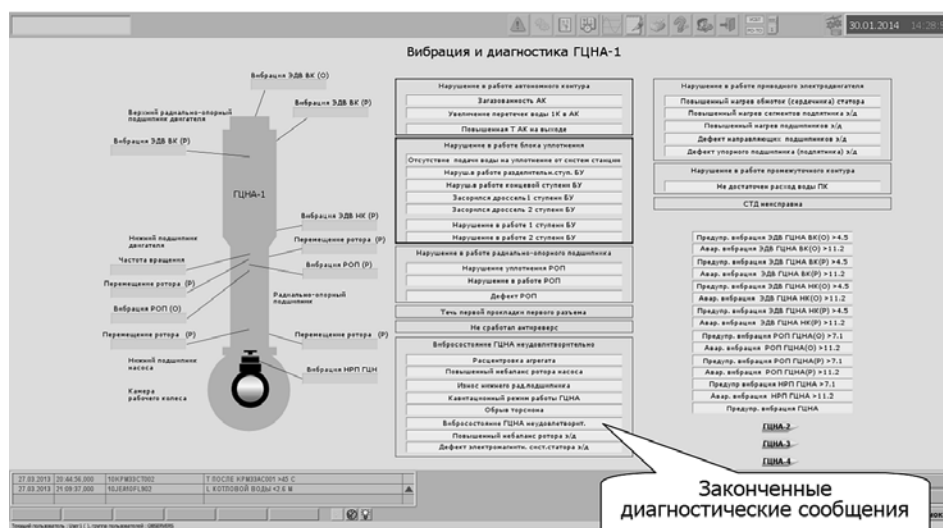


Рис. 4. Экранная форма представления информации диагностических систем четвертого блока Калининской АЭС

Если возникнет необходимость детально разобраться с состоянием конкретного ГЦНА, возможен переход на экранную форму третьего уровня, содержащую самую подробную и детальную информацию о состоянии выбранного ГЦНА (рис. 4).

На этой форме отражены все предусмотренные техническим заданием (ТЗ) на систему диагностирования ГЦНА аномальные ситуации, собранные в информационные блоки по сходным признакам. Таким образом, конечная причина (в виде законченного диагностического сообщения) будет определена именно на этой форме. Кратко резюмируя процесс развертывания, можно легко заметить как увеличивается собственно количество информации на каждом шаге и выделяется объект диагностирования. Обоснованность такого подхода будет оправдана или наоборот не потребуется оперативным персоналом только в процессе эксплуатации блока.

Возвращаясь к рис. 1, необходимо отметить еще одну новацию, введенную авторами, а именно, «Диагностические задачи». Все СТД в процессе своей работы обрабатывают огромный объем поступающей информации, и в результате на выходе получается разноплановый массив данных. Под «разноплановостью» следует понимать то, что одна часть информации не требует специализированной подготовки и особых знаний от оперативного персонала. Это прежде всего относится к превышению измеряемого сигнала каких-либо заранее выбранных значений (уставок).

Именно такие параметры вынесены на стартовый формат. По результатам работы СТД в выходном массиве данных могут также присутствовать спектральные оценки сигналов, различные корреляционные функции и многое другое, что оперативному персоналу совершенно непонятно и в большинстве случаев и не нужно. Это как бы два полюса в представлении диагностической информации. Невольно возникает вопрос, имеется ли нечто среднее в выходном массиве данных, которое, будучи не особо трудным в понимании физического смысла, является и одновременно легко формализуемым. По мнению авторов, безусловно, имеется! Так, например, по результатам работы СКВ можно получить картину смещения основного технологического оборудования вследствие термических расширений. Требуется ли эта информация оперативному персоналу? Не всегда, но требуется! Поэтому данная задача будет вынесена на стартовый формат. По согласованию с проектантами перечень таких задач будет в дальнейшем разработан и представлен на стартовой экранной форме. На рисунке пока они не показаны, т.к. полный перечень в настоящее время находится в стадии согласования.

К настоящему времени представляется ограничить диагностические задачи следующими:

- перемещение основного оборудования вследствие термических расширений;
- виброшумовая диагностика внутрикорпусных устройств;
- диагностика электроприводной арматуры;
- мониторинг усталостного состояния оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены основные вопросы представления информации от систем технической диагностики, а также основные проблемы восприятия такой информации оперативным персоналом АЭС. Сформулированы основные требования к представлению информации на различных иерархических уровнях. Приведены экранные формы, разработанные авторами для блока ВВЭР-1200 Нововоронежской АЭС.

Литература

1. Аркадов Г.В., Павелко В.И., Финкель Б.М. Системы диагностирования ВВЭР. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 391с.
2. Аркадов Г.В., Павелко В.И., Усанов А.И. Виброшумовая диагностика ВВЭР. – М.:

Энергоатомиздат, 2004. – 345с.

3. *Скоморохов А.О., Слепов М.Т.* Контроль достоверности информации в системе вибро-диагностики Нововоронежской АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. 1999. №1. С. 56 – 65.

4. *Skomorohov A.O., Slepov M.T.* Pattern recognition in APL with application to reactor diagnostics // APL Quote Quad. 2000. Vol. 29. No. 3. PP. 164 – 172.

Поступила в редакцию 20.06.2014 г.

Авторы

Баранова Юлия Алексеевна, инструктор службы общих подготовок

E-mail: agaritium@gmail.com

Слепов Михаил Тимофеевич, начальник отдела, кандидат техн. наук

E-mail: slepovmt@nvnpp1.rosenergoatom.ru

UDC 621.039.4

NPP-2006 WITH VVER-1200 TYPE REACTOR – A NEW APPROACH TO DISPLAYING INFORMATION FROM TECHNICAL DIAGNOSTICS SYSTEMS

Baranova Yu.A. *, Slepov M.T. **

* Novovoronezh Center of Education and Training of Personal.

5-th South Industrial Area, Novovoronezh, Voronezh Reg., 396072 Russia

** Novovoronezh Nuclear Power Plant.

1-st South Industrial Area, Novovoronezh, Voronezh Reg., 396072 Russia

ABSTRACT

Operator performance in the main control room (MCR) is largely dependent on the form and amount of the information they receive about the plant status. Unstructured form of information may result in an increase in its processing time and error in the decisions made by the operators.

Analysis of the projects of modern units with VVER reactor plant showed that developers pay close attention to readability of technological information to nuclear power plant (NPP) personnel. However, the process of presenting diagnostic information to operational NPP staff is sadly ignored by both developers of technical diagnostics systems (TDS) and MCR interface designers. Authors classify vibration monitoring systems, loose parts monitoring systems, leakages control systems and others as technical diagnosis systems. The essence of the problem lies in the fact that Russian nuclear systems of technical diagnostics are operated by different departments of the plant and therefore the requirements for displaying information from the staff of various departments are different.

To work with the current generation of systems of technical diagnostics requires special knowledge in the field of digital signal processing, vibration dynamics of rotating machines, reactor physics, and others, which the operational staff lack despite their high quality training. Moreover, most of the conclusions about the state of the equipment are probabilistic in nature, while the staff leading process requires specific answers to specific questions. Designers of TDS develop interface systems focusing on the knowledge and experience of the personnel departments of technical diagnostics, while the operating personnel is used to getting information in a completely different form. Hence, there is a lack of understanding between experts of the department of technical diagnostics and operational staff, which often leads to conflict situations.

This article provides an analysis of the information from the systems of technical diagnostics and attempts to formulate requirements for information output to operating personnel and to design a screen presentation of the information that went into the VVER-1200 project on the basis of this analysis.

Key words: VVER-1200, technical diagnostics system, diagnostic information, hierarchical structure, reporting, on-screen presentation of information, information noise.

REFERENCES

1. Arkadov G.V., Pavelko V.I., Finkel B.M. Sistemy diagnostirovaniya VVER [The Diagnostic Systems of VVER]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2010. 391 p. (in Russian).
2. Arkadov G.V., Pavelko V.I., Usanov A.I. Vibroshumovaya diagnostika VVER [The Vibronoise Diagnostics of VVER]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2004. 345 p. (in Russian).
3. Skomorohov A.O., Slepov M.T. Kontrol' dostovernosti informacii v sisteme vibrodiagnostiki Novovoronezhskoj AES [The validity of information in the vibration monitoring system at Novovoronezh] *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 1999, no. 1, pp. 56–65.
4. Skomorohov A.O., Slepov M.T. Pattern recognition in APL with application to reactor diagnostics. *APL Quote Quad*. 2000, v. 29, no. 3, pp. 164 – 172.

Authors

Baranova Yuliya Alekseevna, Instructor

E-mail: agapitium@gmail.com

Slepov Mikhail Timofeevich, Head of Department, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: slepovmt@nvnpp1.rosenergoatom.ru