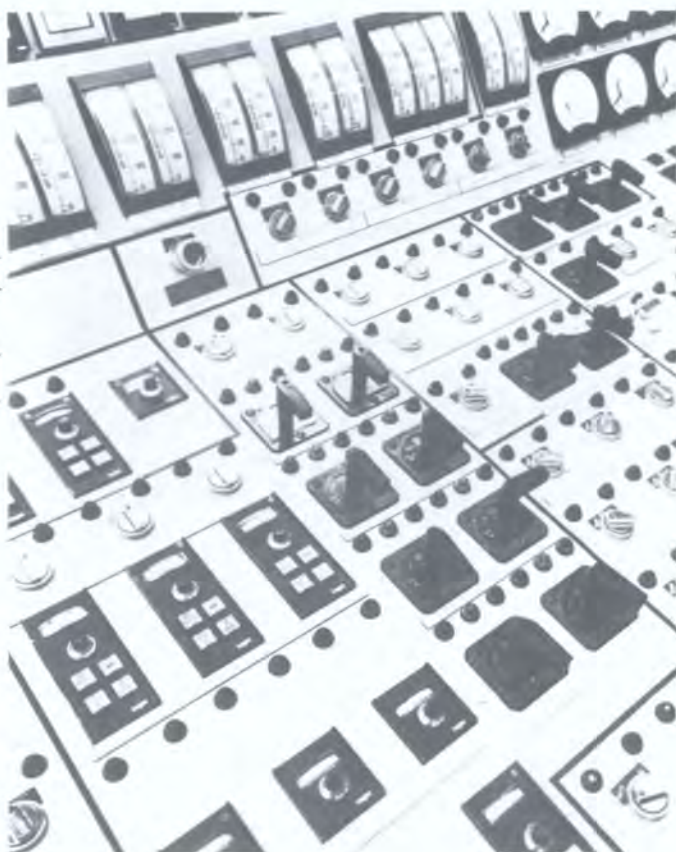


Использование операторами АЭС ФРГ усовершенствованных вспомогательных систем на базе ЭВМ

Все большее внимание в ФРГ уделяется вопросу автоматизации



Пульт управления

В.Э. Бютнер

В процессе развития АЭС значительно возросло и продолжает увеличиваться количество контрольно-измерительных приборов, систем управления, информационных дисплеев, сигнальных устройств и индикаторов, расположенных на блочном щите управления (БЩУ). В ФРГ на современном реакторе с водой под давлением мощностью 1300 МВт имеются 7500 модулей контрольных интерфейсов, 12 000 бинарных индикаторов или дисплеев, 1400 устройств, записывающих измеренные значения, 10 дисплеев с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ) и 8 регистрирующих устройств системы сбора данных, расположенных на блочном щите управления и отдельных контрольных станциях.

Для облегчения работы персонала смены и оказания ему помощи при нормальной работе реактора, а также в случае неполадок и в аварийных ситуациях была значительно повышена степень автоматизации. На АЭС ФРГ степень автоматизации выше, чем на атомных электростанциях в англоговорящих странах. Но, несмотря на это, как в ФРГ, так и во всем мире, существует общепризнанная потребность в дальнейшем развитии вспомогательных систем получения, обработки и предоставления информации*.

Г-н Бютнер — руководитель проекта „Компании по обеспечению безопасности АЭС“ в Гархинге, ФРГ.

*Для получения более подробной информации см. доклад автора этой статьи на симпозиуме МАГАТЭ „Контрольно-измерительные приборы и системы управления и защиты АЭС“, проходившем в Мюнхене в октябре 1982 г., а также обзор П. Фреймейера „Системы электропроводок на АЭС“, etz (март 1981 г.).

В данной статье обсуждается развитие некоторых компьютеризованных вспомогательных систем, предназначенных для операторов АЭС в ФРГ, причем основное внимание уделяется аспектам безопасности. Эти системы предназначены:

- Для регистрации и записи аномальных явлений и аварий
- Для уменьшения информационной нагрузки и передачи только важных сигналов и сообщений
- Для улучшения проверки и наблюдения за сигналами
- Для проведения быстрого анализа обстановки на АЭС (особенно в случае аварий), а также характера и места возникновения аномальных явлений
- Для проведения автоматической диагностики аномальных явлений
- Для расчета технологических параметров, которые не поддаются прямому измерению
- Для оказания помощи оператору в выполнении процедур руководства по эксплуатации

Задачи оператора

Основой разработки и внедрения этих компьютеризованных вспомогательных систем является анализ задач, стоящих перед оператором. Поэтому в данной статье приводится краткое описание задач оператора, связанных с системами автоматической защиты и ограничения.

Минимальное количество персонала, занимающегося вопросами контроля и управления, зависит от организации и руководства АЭС. Обычно в такую

группу входит, по крайней мере, один начальник смены, два оператора реактора (один из них имеет квалификацию начальника смены и является его заместителем), два сменных электрика и два механика. На практике количество персонала смены на современных АЭС выше — вместо двух операторов реактора в смене работают три или четыре, а также один или два оператора пульта управления и четыре электрика. Причина заключается в том, что сменный персонал выполняет много организационных и административных функций (например, составляет наряды на проведение работ по техническому обслуживанию и ремонту и необходимых отключений) или проводит функциональные и повторные испытания.

Сменный персонал отвечает за работу станции на мощности во время пуска, останова и простоя реактора, а также за координацию всей эксплуатационной деятельности на энергоблоке, включая соответствующие вспомогательные установки, в нормальных и аварийных условиях. В случае неполадок и аварий он должен:

- В кратчайшие сроки предупредить возникновение нежелательных последствий аномальных явлений
- Восстановить длительный, гарантированно стабильный и безопасный режим эксплуатации
- Смягчить последствия аномальных явлений и контролировать сложные аномальные ситуации

В соответствии со стандартом ФРГ КТА-3501 система защиты реактора должна автоматически начинать осуществление необходимых защитных мер, что является критерием проектирования реактора*. В силу этого, ручное вмешательство является исключением, и в течение первых 30 минут в нем не должно возникать необходимости (однако ручное вмешательство оператора возможно). Это требуется для того, чтобы оператор мог свободно разобраться в обстановке на станции (поведение, основанное на знании ситуации). В течение короткого периода времени операторы должны проанализировать причины аварии, наблюдать за действиями системы защиты, осуществление которых было начато автоматически, и подготовить операции, необходимые для восстановления безопасного и стабильного режима эксплуатации станции. Однако персонал смены отвечает и за проведение таких мероприятий, как, например:

- Подача сигналов тревоги (например, сигнал пожарной опасности для соответствующих зданий)
- Проверка того, не находится ли кто-нибудь из персонала в опасной зоне
- Оказание первой помощи или проведение, в случае необходимости, спасательных операций
- Информирование и вызов, в случае необходимости, внешней аварийной службы и руководства станции

*См. документ „Система защиты реактора и контроль безопасности“, КТА-3501 (март 1977 г.).

- Регистрация событий (например, в сменном журнале учета или журнале учета отключений оборудования)

Компьютеризованные вспомогательные системы

В данной статье будут обсуждаться только те компьютеризованные вспомогательные системы, которые важны с точки зрения безопасности. Некоторые системы могут быть полезными при нормальном и аномальном режимах эксплуатации или в аварийных ситуациях. В данном случае мы не будем рассматривать вспомогательные функции систем, обеспечивающих нормальный режим эксплуатации. Все анализируемые в данной статье системы находятся на стадии разработки, испытаний или сдачи в эксплуатацию.

Системы и устройства, регистрирующие аномальные явления и аварии

Журналы регистрации отключений оборудования, сигналов тревоги и неполадок, имеющиеся на современных станциях, полезны для последующего анализа и устранения этих отклонений, а также для непрерывного контроля за неполадками и авариями. Используя большее количество печатных устройств, из общего числа журналов регистраций можно выделить, например, отдельный журнал регистраций всех сообщений, поступающих от электрооборудования и аппаратуры управления и защиты (примерно 50 % всех сообщений в существующих журналах регистраций отключений оборудования и сигналов тревоги). Кроме того, можно было бы получать информацию из журналов регистраций отдельных сигналов тревоги, а также отдельные сообщения от подсистем (используя идентификационные номера систем).

Вторая идея заключается в построении графика временных изменений важных технологических параметров (на первом этапе — около 200). Это значительно облегчит проверку и сравнение параметров технологического процесса с точки зрения безопасных пределов. Кроме того, значительно улучшится временная разрешающая способность по сравнению с данными, приведенными в современных обзорах неполадок на АЭС. Эти планы можно было бы претворить в жизнь в ближайшее время и без значительных расходов. Однако идеальные условия реализации этих проектов требуют создания в рамках электроэнергетической компании отдельной группы для обслуживания, усовершенствования и разработки программного обеспечения ЭВМ.

Уменьшение информационной нагрузки

В настоящее время операторы АЭС получают информацию почти о всех событиях, независимо

от степени их важности; всю информацию они должны проанализировать и классифицировать. От их профессиональной квалификации, знаний и гибкости зависит выбор действительно важных сообщений из потока информации. Информационная нагрузка особенно сильно возрастет в случае неполадок. Такая ситуация считается неудовлетворительной. В силу этого для ограничения количества сообщений и сигналов тревоги, поступающих от компьютера, управляющего процессом, разрабатывается специальный метод фильтрации*.

Необходимо гарантировать непрерывность поступления и сохранения смысла сообщений, даже если происходит крупное или неожиданное отклонение от нормального режима эксплуатации.

Уменьшение информационной нагрузки может быть достигнуто за счет:

- Подавления последующих сигналов тревоги, т.е. сигналов, которые обязательно и неизбежно последуют за событием, о котором приборы уже сообщили
- Подавления лишних сигналов, т.е. сигналов, поступающих от подсистем, в отношении которых при данном режиме эксплуатации АЭС не могут быть приняты никакие последующие действия,

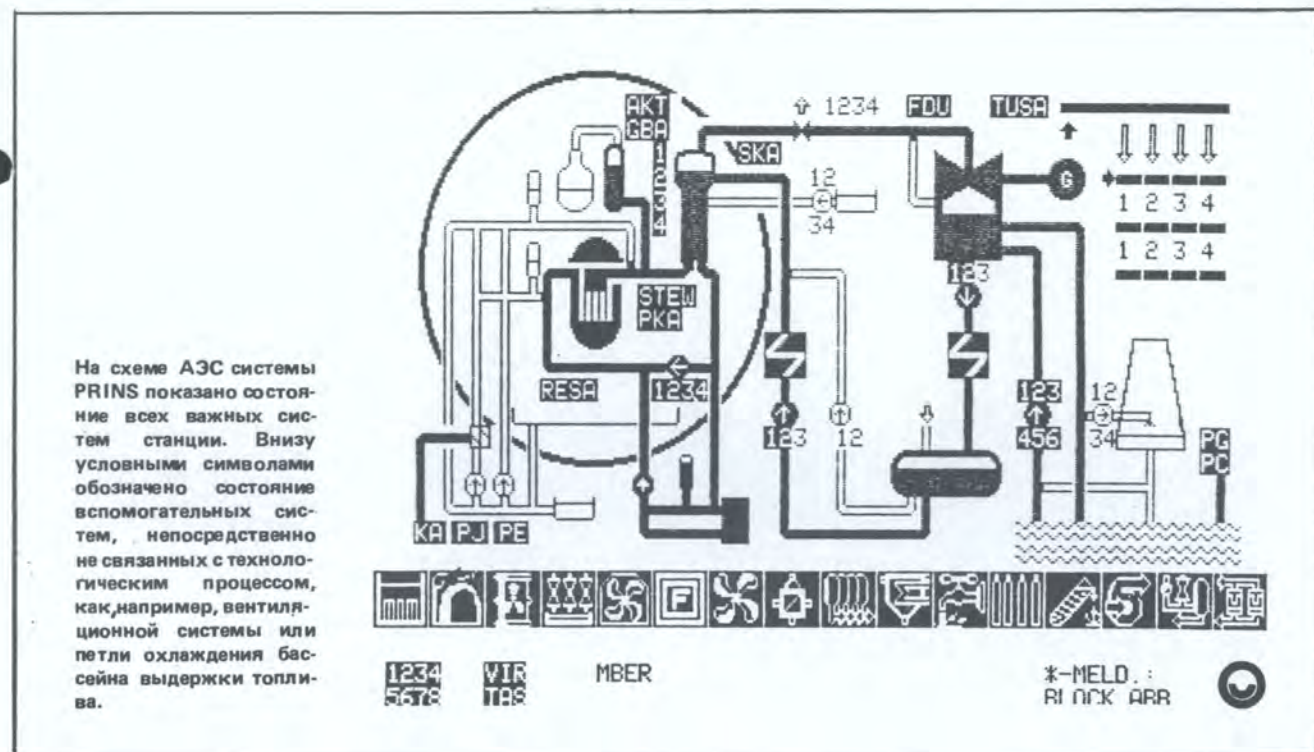
*Более подробную информацию можно получить из доклада Дж. Р. Гете „Концепция анализа сигналов тревоги фирмы „Крафтwerke Юнион“: Средство уменьшения информационной нагрузки на операторов АЭС“; доклад был представлен на семинаре IFAC „Моделирование и управление электростанциями“ в сентябре 1983 г.

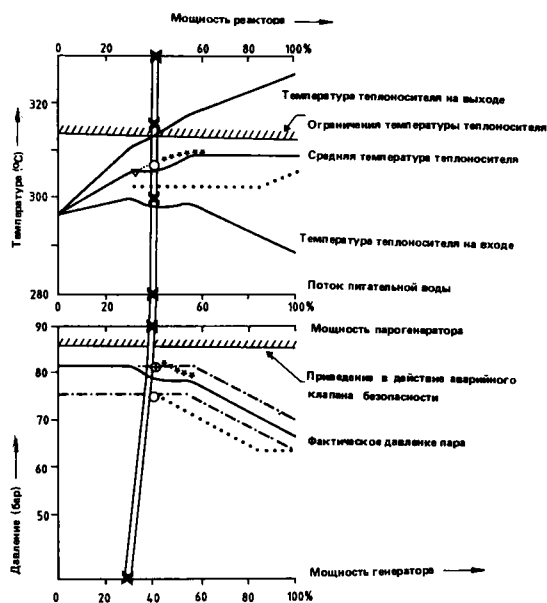
или от подсистем, в которых уже больше нет необходимости

Обе процедуры применяются в комплексе. Оставшиеся после этого сигналы тревоги появляются на дисплее. Такое подавление не влияет на их регистрацию.

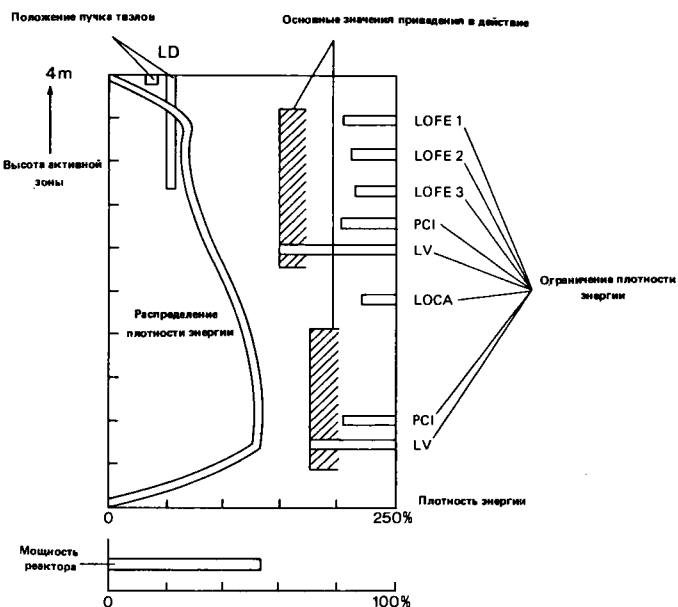
Проверка сигналов и контроль с помощью датчиков

Необходимо, чтобы вся информация, выводимая на дисплей с помощью усовершенствованных вспомогательных систем, была достоверной. Для усиления надежности первичной информации (в частности, благодаря интенсивному слежению, объединению и уплотнению данных с помощью компьютеров), для проверки сигналов и контроля с помощью датчиков будут использоваться новые методы. Применение таких методов на АЭС находится на ранней стадии исследования. Перспективными кажутся три метода. Один из методов заключается в непрерывной проверке датчиков или измерительных систем с помощью анализа достоверности показаний, с использованием логических и физических зависимостей сигналов. Другой метод состоит в проведении анализа флуктуации мощности путем сравнения статистической информации от измерительных сигналов или каналов с их стандартными величинами. И, наконец, можно также рассчитывать фазы технологического процесса с помощью математических моделей (аналитическое или функциональное дублирование) и сравнивать их с резуль-



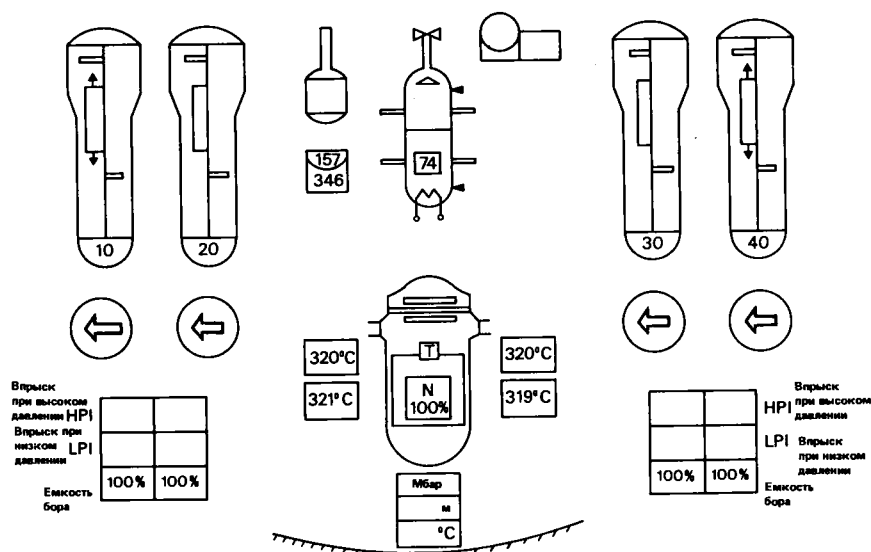


Условные обозначения:
 — Исходные условия расчета нормального режима эксплуатации
 + Фактические параметры технологического процесса
 ○ Фактические справочные значения
 × Фактические сигналы измерения
 — Направление справочных сигналов
 < Целевые значения
 || Энергетический профиль
 * Изменение сигналов
 // Следующий барьер



На диаграмме распределения и ограничения плотности энергии системы PRINS указано уточненное положение пучка твэлов, мощность реактора и распределение плотности энергии по высоте активной зоны, а также ограничения плотности энергии в верхней и нижней половинах активной зоны

На диаграмме частичной нагрузки АЗС системы PRINS указаны все исходные условия расчета нормального режима эксплуатации, а также фактические параметры и изменения технологического процесса



Все важные технологические параметры, необходимые для определения надежного функционирования систем защиты („объем теплоносителя” и „теплосъем”), отображаются на информационном дисплее системы.

татами измерений. Можно объединить эти методы — например, использовать аналитическое дублирование технологических параметров, которые невозможно измерить непосредственно, для проверки их достоверности.

Общий обзор состояния станции: система PRINS

Предлагаются различные методы и способы, которые позволили бы операторам быстро получать общую картину состояния станции. Наблю-

дается также тесная связь с проектами по уменьшению числа и анализу сигналов тревоги, описание которых дается в данной статье.

Фирма „Крафтверке Юнион“ разрабатывает для трех реакторов ФРГ новую систему технологической информации PRINS. PRINS является интегрированной системой, предоставляющей информацию о всех режимах эксплуатации АЭС. Она включает в себя функции систем индикации параметров безопасности и анализа аномальных явлений, а также систем непрерывного контроля за эксплуатацией*.

Для индикации информации предусмотрено до 32 цветных видеодисплеев. Информация, представляемая на дисплеях, в основном включает общие обзоры и диаграммы системы, а также охватывает данные о возможном развитии событий, кривые давления, сигналы тревоги, алфавитно-цифровые и логические данные.

Цель вывода информации на дисплей заключается в том, чтобы:

- Сделать возможным проведение квалифицированных ручных операций для восстановления в случае аварий безопасного режима
- Поддерживать на АЭС безопасный режим эксплуатации
- Ограничить последствия аварий или неполадок
- Сделать наглядным поведение сложных автоматических систем (в частности, систем ограничения)
- Облегчить и обеспечить проведение, например, повторных испытаний или выполнение процедур пуска и останова реактора
- Облегчить проведение анализа причин аварии

Некоторые примеры представления информации системой PRINS показаны на прилагаемых к данной статье иллюстрациях. На каждом из этих дисплеев в среднем обрабатываются 100 бинарных и 30 аналоговых сигналов. Таким образом можно добиться уменьшения информационной нагрузки.

В настоящее время осуществляется еще один экспериментальный проект, цель которого заключается в быстром получении общей картины состояния станции. Во время проверки соответствия фактического поведения какой-либо системы запроектированному не должно возникать необходимости в проверке всех сообщений о включении оборудования или проверке технологических параметров, чтобы обеспечить нормальную работу системы защиты. Такая проверка будет проводиться автоматически, и сообщение будет делаться только в

случае получения неадекватных результатов. То же самое касается и процедур останова реактора. Например, в случае остановки турбины в строгой последовательности должно поступить большое количество сообщений. Для проведения неавтоматической проверки потребуется очень много времени, поэтому она будет осуществляться автоматически аналогично тому, как это было описано выше.

Анализ аномальных ситуаций: система STAR

На АЭС „Библис“ начато осуществление второго экспериментального проекта по испытанию системы анализа аномальных ситуаций, названной STAR*. Первая экспериментальная проверка проходила на АЭС в Графенрейнфельде**. По вопросу анализа аномальных ситуаций и системы STAR опубликовано много сообщений и статей, поэтому мы лишь кратко упомянем о них.

Для выявления аномальных ситуаций используются так называемые модели отклонений от нормального режима эксплуатации. К их числу относятся логические модели (например, диаграммы причин и следствий), физические модели (например, балансы масс, характеристики систем или компонентов) или математические модели (например, 5-точечный линейный фильтр с постоянной памятью). В этих моделях заложена расчетная последовательность событий во время отклонений от нормального режима, которая приводится в действие фоновой базой данных. На них накладываются фактические данные о станции.

Программа анализа отклонений от нормального режима перебирает модели и обнаруживает отклонения, если они есть. Система STAR в основном предназначена для:

- Как можно более раннего обнаружения отклонений от нормального режима, установления основных причин отклонений и возможного распространения, а также для предоставления информации о протекании процесса
- Указания лучших или наиболее подходящих действий по их устранению, если в этом существует четкая уверенность (такие подсказки не должны влиять на действия оператора)
- Предоставления информации для системы анализа отклонений от нормального режима
- Создания гибких моделей, которые, если необходимо, можно было бы легко изменить или расширить благодаря накопленному опыту или в

*Дополнительную информацию можно получить из доклада В. Алейте и К.Х. Гейера на 5-ом Международном совещании по безопасности тепловых реакторов, проходившем в Карлсруэ в сентябре 1984 г., „Функции индикации параметров безопасности являются составной частью системы технологической информации (PRINS) „Крафтверке Юнион“ — „Конвой“; а также из статьи В. Алейте, Х.В. Бока и Э. Руббеля в научно-исследовательском бюллетене фирмы „Сименс“ (т. 13, № 3, 1984 г.) „Видеодисплеи на центральных блочных щитах управления: Система технологической информации фирмы „Крафтверке Юнион“ — PRINS“.

*STAR — это концепция ортогональной конструкции интерфейсов „человек-машина“, применяемых на АЭС; авторы В.Э. Бютнер, Л. Фелкель, Р. Маникарника и А. Запф; доклад сделан на Конференции IFAC по анализу и оценке конструкций систем „человек-машина“ в сентябре 1982 г. в Баден-Бадене.

**См. доклад „STAR — система анализа аномальных ситуаций: Результаты применения на АЭС в Графенрейнфельде“ на Международном симпозиуме по контрольно-измерительным приборам и системам управления и защиты АЭС, Мюнхен, октябрь 1982 г.

случае проведения соответствующих небольших модификаций станции

Оказание поддержки при выполнении процедур руководства по эксплуатации

Многие процедуры, описание которых дается в руководстве по эксплуатации, заключаются в проверке значения или состояния конкретных параметров станции путем их логического объединения и осуществления операций, требуемых на основании результатов проверки. Совершенно очевидно, что применение компьютеризованных вспомогательных систем является благоприятной возможностью для усовершенствования таких процедур. В области экспериментального применения процедур наблюдения за системами защиты реакторов с кипящей водой и с водой под давлением были проведены предварительные исследования*.

Применение такой системы преследует следующие основные цели:

- Наблюдение за системами защиты реактора, а также за вспомогательными системами и системами энергоснабжения осуществляется таким образом, что в случае выхода из строя или непригодности какого-либо компонента будет проведена проверка для выяснения, смогут ли оставшиеся системы выполнить требования безопасности, содержащиеся в руководстве по эксплуатации
- В случае отказа оборудования и нарушения в связи с этим требований безопасности (например, увеличение допустимого времени ремонта, сокращение интервалов повторных испытаний дублирующих систем) должны быть указаны необходимые предупредительные меры или контрмеры
- Осуществление контроля за оставшимся временем ремонта
- Оказание помощи оператору путем составления рабочих схем и схем отсоединения оборудования для процедур технического обслуживания, а также путем предоставления ему документации о результатах повторных или функциональных испытаний (например, в соответствии со стандартами КТА-1202

*Доклад Х. Шюллера и В.Э. Бютнера „Соблюдение параметров безопасности с помощью расчетов технологического процесса“, GRS-A-Report № 916 (март 1984 г.).

и 3506)*. Логически можно представить ввод требований руководства по эксплуатации в компьютер и контроль за их выполнением.

Условия успешной разработки

В заключение можно сказать, что причинами проведения всей этой деятельности в области компьютеризованных вспомогательных систем стали: значительное увеличение числа контрольно-измерительных приборов и систем управления и защиты, необходимость освобождения операторов от выполнения текущих административных задач и предоставления им возможности заниматься исключительно задачами управления и контроля за станцией, а также необходимость уменьшения объема данных и их отбора и необходимость оказания поддержки операторам в случае неполадок или аварий в выявлении причин и осуществлении контроля.

Большинство этих задач невозможно решить с помощью обычного оборудования. Однако новые системы должны соответствовать конструкции обычного БЩУ, процедурам вывода информации на дисплеи и руководствам по эксплуатации. Необходимо обеспечить возможность совместной работы всех систем, новых и старых, а также их соответствие общей концепции. Испытания на тренажере станции должны завершить стадию экспериментального применения, поэтому сменных операторов необходимо интенсивно подключать к разработкам в этой области. Это необходимо для преодоления трудностей, вызванных совместной работой усовершенствованных систем, которые в силу причин, связанных с гарантией качества, документацией, испытаниями или мнениями специалистов, будут разрабатываться отдельно.

Другим необходимым условием успешной разработки является глубинный анализ задач оператора и четкое определение задач системы. Вспомогательные системы должны предоставить операторам новые возможности. Там, где уже имеются готовые системы или процедуры, помощь не требуется. Такие системы не должны приказывать операторам, однако они должны давать им советы.

Конечно, необходимо уделить внимание аспектам эргономики.

*Требования к руководству по проведению технического осмотра, КТА-1202 (июнь 1984 г.), и Испытание систем электротехнического контроля и систем защиты АЭС, КТА - 3506 (ноябрь 1984 г.).