

- пуск в работу осветлителя в режиме заполнения бака осветленной водой;
- пуск в работу механического и Н-катионитового фильтров в режиме заполнения баков частично обессоленной воды и подачи осветленной воды на подпитку теплосети;
- пуск в работу ОН-анионитового фильтра 2-ой очереди в режиме заполнения бака собственных нужд;
- включение в работу фильтра смешанного действия в режиме выдачи химобессоленной воды в машинном зале 1-ой очереди;
- взрыхляющая отмывка механического фильтра;
- регенерация ОН-анионитового и Н-катионитового фильтров;
- выносная регенерация смолы фильтра смешанного действия.

В настоящий момент в разработке находятся задачи, направленные на обучение оператора навыкам работы с отключаемыми защитами и блокировками, а также шаговыми программами.

Каждая из выше перечисленных задач включает исходное состояние модели, список протоколируемых переменных и событий для анализа успешности

и правильности действий оператора, а также инструкции по выполнению задания.

Занятия проходят в учебном классе с двумя четырехмониторными АРМ обучаемых, к которым подключены станция инструктора и две станции технологов. При подготовке к занятиям возможна работа с программой и в несетевой конфигурации на ПК с одним монитором, при этом модель не теряет своей функциональности, что обеспечивает возможность обучения двух операторов одновременно. Модель работает в режиме РВ на компьютере с процессором 1,5 ГГц и объемом оперативной памяти 256 Мб.

#### Список литературы

1. Чернаков В.А., Осадчий М.А., Краюшкин Ю.В., Кориковский К.П., Прокопенко Д.А. Опыт разработки средств пуско-наладки АСУ ТП и пускового комплекса полномасштабного тренажера 3-го энергоблока Калининской АЭС // Автоматизация в промышленности. 2006. №8.
2. Чернаков В.А., Осадчий М.А. Особенности современных моделирующих комплексов сложных технологических объектов (на примере анализатора режимов АЭС с ВВЭР-1000). Приборы 2002. № 7(25).
3. Чернаков В.А., Осадчий М.А., Кориковский К.П., Краюшкин Ю.В. Программный комплекс ЭНИКАД для создания моделирующих комплексов сложных технологических объектов // Автоматизация в промышленности. 2003. №7.

*Чернаков Виктор Алексеевич — ген. директор,*

*Осадчий Михаил Андреевич — научный сотрудник,*

*Григорьев Евгений Валентинович — ведущий инженер,*

*Долгополов Никита Юрьевич — инженер ООО "ЭНИКО ТСО".*

*Контактный телефон (495)323-95-99. [Http://www.eniko.ru](http://www.eniko.ru)*

## ТРЕНАЖЕРЫ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

**В.А. Драсков (ОАО "ДЖЭТ"),**

**Е.В. Егоров (ООО "ЭФО"), И.А.Квитков (ОАО "Электропульт")**

*Кратко представлена история развития тренажеростроения в России. Рассмотрен один из последних проектов, выполняемых российскими специалистами для АЭС в Индии, – полномасштабный тренажер (ПМТ) блочного пункта управления (БПУ) 1-го энергоблока АЭС Куданкулам-1.*

Двадцать лет назад на Чернобыльской АЭС произошла крупнейшая в истории "мирного атома" авария, одной из причин которой официально были признаны неправильные действия персонала в нештатной ситуации. В связи с этим было принято решение о необходимости создания тренажерных центров для атомных станций. В конце 80-х годов это принципиальное решение было оформлено рядом нормативных документов. Согласно новым требованиям, тренажеры должны быть разработаны и установлены на всех АЭС, причем отдельно для каждого из типов используемых реакторов и энергоблоков. Они предназначаются для формирования и закрепления у персонала навыков правильных действий в переходных режимах работы энергоблоков и аварийных ситуациях.

Диспетчерские тренажеры для отработки действий персонала применяются не только на АЭС. Подобные системы разрабатываются также и для энергоблоков тепловых электростанций, однако к тренажерным системам АЭС предъявляются повышенные требования.

Так, если тренажеры тепловых энергоблоков обычно исполняются в виде программного имитатора, воспроизводящего экраны диспетчерских АРМ, тренажеры энергоблоков АЭС в обязательном порядке должны в точности копировать всю обстановку реальной диспетчерской для отработки моторных навыков и психологической подготовки персонала в обстановке, максимально приближенной к реальности. При этом используются сложные математические модели объекта, позволяющие максимально приблизить обстановку учений к "боевой". В результате создание тренажера реакторного энергоблока оказывается чрезвычайно сложным и дорогостоящим проектом, требующим координации усилий большого числа участников, специализирующихся на различных видах оборудования и ПО.

В соответствии с принятыми решениями, в течение последнего десятилетия были введены в эксплуатацию тренажеры на большинстве энергоблоков как российских, так и зарубежных АЭС, построенных российскими организациями. Ранее соответствующих производств в

*История развития тренажеростроения в основном - история идей...*

Журнал "Автоматизация в промышленности"

России практически не существовало. До 1992 г. единственным техническим средством для подготовки оперативного персонала был несовершенный тренажер-прототип энергоблока ВВЭР-440 в учебно-тренировочном центре при Нововоронежской АЭС. В 1992 г. был принят в эксплуатацию полномасштабный тренажер ПМТ-1 Запорожской АЭС (блоком-прототипом послужил 5-й блок ЗАЭС), созданный советско-американским СП "ДЖЭТ". За рубежом же тренажеростроением занимались такие компании, как Westinghouse, General Electric, Siemens, Singer. С последней компанией в рамках совместного российско-американского проекта по созданию учебно-тренировочной базы для АЭС советских проектов было создано совместное предприятие, участником которого с российской стороны был ВНИИАЭС. Впоследствии это предприятие было преобразовано в акционерное общество ОАО "ДЖЭТ". За 10 лет работы ОАО "ДЖЭТ" оснастило полномасштабными, локальными и аналитическими тренажерами 30 АЭС и других организаций (регулирующие органы ГАН и институты) в России и за рубежом.

Кроме ОАО "ДЖЭТ", вопросами тренажеростроения в России занимаются также НИТИ в г. Сосновый Бор (город в 90 км от С-Петербурга, где расположена ЛАЭС) и РНЦ "Курчатовский институт". РНЦ, создав

два полномасштабных тренажера, отошел от участия в этих проектах, переключившись на выпуск компьютерных симуляторов, в том числе для энергоблоков ТЭЦ (так называемых "аналитических" тренажеров). НИТИ специализируется на полномасштабных тренажерах для транспортных и исследовательских реакторов, однако не теряет надежды проникнуть и на рынок систем для АЭС<sup>1</sup>.

На Ленинградской АЭС были созданы тренажеры энергоблоков "первого поколения" — в апреле 1996 г. для III и IV энергоблока, в декабре 2002 г. — для I и II. Они были введены в строй в итоге сотрудничества американской фирмы GSE Power Systems, которая выступила в качестве генерального подрядчика, РНЦ "Курчатовский институт", разработавшего математические модели объекта и ПО, и ОАО "Завод Электропульт", выполнившего точные копии диспетчерских пультов и щитов управления. Тренажеры имитируют в РВ все регламентные операции при пуске/остановке энергоблока в режимах работы с номинальной нагрузкой и на промежуточных уровнях мощности. Они также позволяют проводить отработку действий персонала при работе АЭС в нештатных режимах и при возникновении аварийных ситуаций.

<sup>1</sup> Королева Н.С. Сегодня тренируем. А завтра?// Атомная стратегия. 2005.19

Вид полномасштабного тренажера I и II блоков ЛАЭС показан на рис.1. На снимке хорошо заметно, с какой точностью воспроизведена конструкция пульта 70-х годов. Если бы не несколько TFT-дисплеев на рабочих местах и не пара широкоформатных экранов на синоптическом табло, трудно было бы представить, что система сдана в эксплуатацию в 2002 г. Вся эта искусная имитация, однако, не имела бы никакой практической ценности, если бы не был разработан мощный математический аппарат для адекватного моделирования процессов в реакторе. Математическая модель энергоблока включает до нескольких сотен алгебраических и дифференциальных уравнений, описывающих несколько десятков подсистем (технологических узлов и процессов, сетей управления, регуляторов). Внутри модели рассчитываются значения около 100 тысяч различных параметров, из



Рис. 1

которых оперативному персоналу (слово "оператор" не очень уместно, так как дежурство на пульте несут сотрудники высшей квалификации в ранге ведущего инженера) доступно около 20 тысяч. Разумеется, не все в этом море информации имеет одинаковую важность. Для непосредственного наблюдения операторами выводятся значения наиболее существенных параметров, в отношении остальных применяется сигнализация о выходе за пределы разрешенного диапазона значений. Кроме того, информация структурируется организационными мерами и делением ответственности персонала. Так на АРМ инженера управления реактором выводится минимальное число значений (около десяти) параметров, имеющих критическое с точки зрения безопасности значение, а на АРМ начальника смены — все остальное.

Поскольку двух в точности одинаково сложных систем быть не может, тренажер должен воспроизводить все индивидуальные черты реактора, для которого он создан. Для индивидуальной подгонки модели к реактору в уравнения, составляющие математическую модель энергоблока, включены эмпирические параметры. Процедура точной настройки значений этих параметров называется верификацией. Это длительный и дорогостоящий процесс, во время которого реальный энергоблок заставляют работать в различных режимах, измеряют значения контролируемых параметров, сравнивают их с рассчитанными в модели и подбирают эмпирические коэффициенты в математической модели так, чтобы расчетные значения рабочих параметров в точности совпадали с ре-



Рис. 2. Компоночный проект ПМТ БПУ Куданкулам

ально наблюдаемыми. Таким образом, решается важнейшая прогностическая задача моделирования — достигается известная гарантия адекватности воспроизведения ситуаций, возникновения которых на реальном энергоблоке нельзя допустить ни в коем случае. Для чего, собственно, тренажер и создается.

Разумеется, задача создания тренировочной базы не ограничивается модернизацией существующих АЭС. Еще более актуальна задача снабжения тренажерами вновь вводимых АЭС с реакторами нового поколения. В 90-х годах развитие этого рынка сильно сдерживалось "чернобыльским синдромом", новых станций практически не вводилось, старые закрывались, получили распространение суждения о необходимости перехода на альтернативные, якобы более безопасные, источники энергии. Но реальность такова, что никакой альтернативы развитию атомной энергетики не существует. Установки управляемого термоядерного синтеза еще очень далеки даже от стадии промышленных образцов, тепловые станции расходуют невозполнимые ресурсы стремительно дорожающего органического топлива, а с экологической точки зрения ничуть не лучше атомных. Что касается "альтернативной энергетики" наподобие ветряных, приливных и т.п. электростанций, то все подобного рода сооружения пока остаются дорогостоящими игрушками, пригодными в лучшем случае для решения локальных проблем. Поэтому наметилась тенденция к росту ввода новых генерирующих мощностей АЭС, в том числе и в так называемых "развивающихся странах", представляющих традиционный рынок сбыта для отечественных высоких технологий в области энергетики. Отрадно, что России еще есть, чем ответить на этот стратегический вызов, и наша страна успешно выступает в этом сегменте мирового рынка.

Один из последних по времени проектов реализуется в Индии, где российские специалисты строят АЭС "Куданкулам". Генеральным подрядчиком строительства выступает ЗАО "Атомстройэкспорт". Проект и математическое обеспечение тренажера для этой станции, где используются реакторы ВВЭР-1000, разработало ОАО "ДЖЭТ", а сборку выполняет ОАО "Электро-

пульт". Полномасштабный тренажер энергоблоков АЭС (рис. 2, 3) предназначен для проведения обучения оперативного персонала АЭС во всех режимах нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации и аварийных режимах.

Виртуальную основу полномасштабного тренажера составляет полномасштабная математическая модель, состоящая из нейтронно-физической модели активной зоны, модели первого контура и парогенераторов, моделей второго контура и всех основных технологических систем второго контура и электрической части энергоблока и важнейших вспомогательных систем.

Полномасштабный тренажер физически состоит из трех частей: вычислительного комплекса, реализованного на основе мощного сервера HP ProLiant DL740; системы ввода/вывода, преобразующей вычисленные на основе математической модели значения параметров в стандартные измерительные сигналы для установленных на имитаторах БПУ контрольных приборов; и собственно имитатора пультов управления. В первых тренажерах система ввода/вывода использовалась американская, сейчас используется система производства фирмы



Рис. 3. Идет отладка ПО ПМТ

"ЭЛиПС" (г. Зеленоград). Панели и пульты имитаторов тренажера, как и пульты реальной системы управления, выполнены на основе мозаичной технологии.

Программно-технические средства управления на БПУ 1-го энергоблока АЭС Куданкулам-1 составляют следующие функциональные группы:

1. оперативный контур: АРМ начальника смены блока, ведущего инженера управления реактором и ведущего инженера управ-

ления турбиной; устройство документирования событий; пульт-панели контроля и управления с мозаичной панелью (секции ППБ 1, 2, 3 и 4-го каналов безопасности), системы управления и защиты (СУЗ), обобщенной мнемосхемы и электрической части; два шкафа электропитания вторичных приборов;

2. неоперативный контур: три АРМ (оператора систем вентиляции и противопожарной защиты, оператора вспомогательных систем РО и ТО, систем специодоочистки; оператора систем радиационного контроля); устройство документирования событий; комплект специального оборудования (из состава системы противопожарной защиты).

Программно-технические средства управления на РПУ составляют следующие функциональные группы: пульт-панели 1, 2, 3 и 4-го каналов безопасности; АРМ НСБ (начальник смены блока), состоящий из двухдисплейной рабочей станции и устройства документирования событий; четыре шкафа питания вторичных приборов; восемь стоек устройств дистанционного управления.

Полотно панелей и пультов представляет собой механическую конструкцию секционного (мозаичного)



## ДОСТУПНО. ПО-РУССКИ.

Фирма Phoenix Contact приступила к изданию полного каталога своей продукции на русском языке.

Сегодня на русском языке доступны: краткая форма сводного каталога, каталог электротехнических клемм для монтажа на рейку DIN (CLIPLINE), полный каталог в электронной форме.

**СПРАШИВАЙТЕ У ПАРТНЕРОВ!**



**ООО «ЭФО» ■ ПОСТАВКА ПРОДУКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ:**

T.: (812) 331-0964, 331-0965  
Ф.: (812) 320-1819  
E-MAIL: EVE@EFO.RU

**МОСКВА:**

(495) 933-0743  
MOSCOW@EFO.RU

**КАЗАНЬ:**

(843) 518-7920  
KAZAN@EFO.RU

**ЕКАТЕРИНБУРГ:**

(343) 378-4122  
URAL@EFO.RU

**РОСТОВ-НА-ДОНУ:**

(863) 220-3679  
ROSTOV@EFO.RU

**ПЕРМЬ:**

(342) 220-1944  
PERM@EFO.RU

типа, фиксируемую на опорном каркасе. Секции набираются на основе металлической решетки. Решетка заполняется единичными элементами мнемонической схемы – ячейками с нанесенными неактивными элементами мнемосхемы или без них, единичными элементами индикации и управления. Такая технология позволяет добиться значительных конструктивных и функциональных преимуществ. К конструктивным преимуществам относится возможность создания пультов и панелей практически любых форм и размеров, а также повышенная сейсмостойкость конструкции. Основным функциональным преимуществом является возможность оперативного внесения изменений в конструкцию пультов и панелей заменой мозаичных элементов.

Некоторые элементы мозаичной панели управления выглядят непривычно. Например, отсутствуют привычные пакетные переключатели режимов на АРМ оператора (рис. 4). Вместо них оборудованы органы управления на микровыключателях. Также бросается в глаза отсутствие привычных стрелочных приборов. Они заменены светодиодными барграфами с линейными или круглыми шкалами. Такая конструкция обусловлена требованием наглядности представления критических значений параметров. По мере приближения значений параметров к границам допустимого интервала

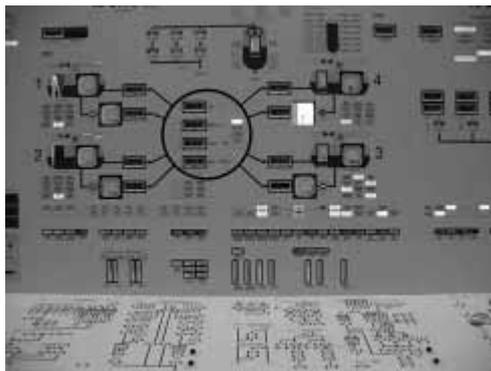


Рис. 4. Мозаичный пульт управления: органы управления на микровыключателях

нормальный цвет подсветки шкалы барграфа (зеленый) меняется на желтый, а при выходе за допустимые границы – на красный. Считается, что это облегчает восприятие обстановки оперативным персоналом. В проекте "Куданкулам" использованы приборы производства петербургского завода "Вибратор".

В заключение необходимо отметить, что атомная энергетика и все связанное с ней была и остается одной из областей, в которой технологическое лидерство России является не мифом, а очевидным фактом. К сожалению, происшедшие в обществе в последнее время процессы отрасль отнюдь не укрепили. Сегодня президент России В. Путин поставил задачу довести в стране долю энергии, производимой на АЭС, до 25%, а глава Росатома С. Кириенко заявил о начале строительства минимум двух новых блоков АЭС ежегодно, начиная с 2007 г., а также указал, что Россия будет занимать "активную позицию на мировом рынке". Хочется верить, что проявляемое ныне на самом высоком уровне внимание к развитию отрасли поднимет ее авторитет и послужит привлечению как средств на ее конкурентоспособное развитие, так и молодых кадров, которые смогут продолжить достойные традиции. Конкуренция на мировом рынке строительства АЭС высока, и если момент для восстановления российских позиций окажется упущен, другой возможности может уже и не представиться.

**Драсков Владимир Алексеевич** – зам. главного конструктора ОАО "ДЖЭТ".  
Контактный телефон (495) 376-15-73.

**Егоров Евгений Валентинович** – канд. физ.-мат. наук, руководитель направления промышленной ООО "ЭФО".  
Контактный телефон (812) 331-09-64. E-mail: eve@efo.ru

**Квитков Игорь Анатольевич** – главный инженер проекта ЗАО "Росэлектропром Холдинг".  
Контактный телефон (812) 527-61-82.

#### Мультипортовые платы RS-232/422/485 для шины PCI Express

Компания Ниеншанц-Автоматика, официальный партнер компании MOXA Technologies в России, объявляет о доступности новых мультипортовых плат последовательных интерфейсов RS-232/422/485 на шине PCI Express. Сегодня эта шина устанавливается во многих современных серверных платформах и промышленных компьютерах, постепенно сменяя традиционные интерфейсы PCI и PCI-X.

MOXA PCI Express состоит из трех моделей: CP-104EL (4 порта RS-232); CP-168EL (8 портов RS-232); CP-118EL (8 портов RS-232/422/485). Интерфейс каждого порта выбирается индивидуально при помощи DIP-переключателя.

После установки мультипортовой платы в компьютер пользователю станут доступны дополнительные последовательные

порты RS-232/422/485, которые функционально аналогичны родным COM-портам компьютера. Дополнительные порты могут быть использованы для подключения модемов, счетчиков, датчиков, терминалов, контроллеров и прочих устройств для решения задач промышленной автоматизации, учета данных, удаленного доступа или управления. Платы PCI Express выполнены в компактном исполнении (Low Profile) и могут быть установлены как в слоты стандартной высоты, так и в тонкие корпуса 2U. По выбору заказчика последовательные порты могут быть оснащены разъемами DB-9 или DB-25. Мультипортовые платы имеют драйверы для большинства популярных ОС: Windows 2000/XP/2003, Linux 2.4/2.6, FreeBSD 4.x/5.x и др.

[Http://www.nnz-ipc.ru](http://www.nnz-ipc.ru)

#### Siemens поставит в Варшаву систему автоматизированного управления дорожным движением

Компания Siemens получила заказ от варшавской службы дорожных работ ZDM (Zarząd Dróg Miejskich) на установку системы автоматизированного управления дорожным движением в центре города. Задача проекта – убедить людей чаще

пользоваться общественным транспортом, сократив время в пути. Муниципальные службы также надеются увеличить безопасность дорожного движения и снизить уровень загрязнения окружающей среды.

[Http://www.siemens.ru](http://www.siemens.ru)