

# **Опыт разработки технических средств обучения на базе платформы ЭНИКАД для персонала атомных и тепловых станций.**

Чернаков В.А., Королев С.А., Выговский С.Б., Краюшкин Ю.В., Кориковский К.П., Минаев Е.В., Сипайло А.И., Осадчий М.А., Мищерин С.А., Ефремов В.В., Галкин И.Э., Страшных В.П., Прокопенко Д.А., Будникова О.А., Ермолаев С. М., Петрикевич М.Б., Григорьев Е.В.

Технический прогресс не стоит на месте, в мире постоянно происходят открытия, появляются новые изобретения, промышленное оборудование с каждым днем становится все более совершенным и сложным. Мир заполняют сложные технологические объекты управления (СТОУ), где число контролируемых переменных и управляющих органов доходит до десятков тысяч. Типичными примерами подобных объектов являются атомные и тепловые электростанции, ядерные энергетические установки различного назначения, химические и нефтехимические производства, а также крупные силовые установки, например, судовые. Эти объекты отличаются высокой "связностью" происходящих в них физических процессов, как между собой, так и с работой АСУ ТП, являющейся необходимым атрибутом таких объектов.

В последние годы на СТОУ все более широко внедряются современные цифровые АСУ ТП. Эти АСУ ТП, обладая целым рядом преимуществ (высокая степень автоматизации управления и надежность, легкость модернизации, высокая степень самодиагностики оборудования) по сравнению с АСУ ТП на элементах жесткой логики (такие АСУ ТП сегодня используются на подавляющем большинстве атомных и тепловых энергоблоков предыдущего поколения), являются гораздо более сложными и используют непривычный для оперативного персонала энергоблоков предыдущего поколения компьютерный способ управления, что значительно повышает роль качественной подготовки персонала СТОУ с цифровыми АСУ ТП. Такая подготовка невозможна без современных тренажеров, использующих полномасштабные высокоточные модели и обладающих высокой степенью адекватности реальному объекту.

История развития компьютерных моделей СТОУ насчитывает уже несколько десятилетий, но в России эта отрасль знаний стала бурно развиваться лишь в последнее время. Это обусловлено рядом факторов:

- Раньше в СССР мощные рабочие станции с развитыми графическими видеоадаптерами типа SUN, Silicon Graphics, HP были практически не доступны, т.к. в СССР они не производились, а поставки с запада были очень ограничены. Быстрое насыщение России в последние два десятилетия современными персональными компьютерами и рост их вычислительной мощности привели к тому, что сегодня любой разработчик может легко получить современный компьютер, возможности которого достаточны для расчета в режиме реального времени комплексных моделей даже таких сложных объектов, как атомные электростанции. Высокие графические возможности современных ПК позволяют разрабатывать высокоразвитые графические интерфейсы, делающие "легким" общение с моделями, имеющими тысячи контролируемых параметров и органов управления, даже для технологов, не имеющих специальной компьютерной подготовки. Оба эти обстоятельства фактически "переводят" комплексные модели из разряда "уникальных инструментов", доступных лишь небольшому количеству специалистов-расчетчиков в профильных НИИ, в разряд массового высокоэффективного инструмента как для подготовки персонала СТОУ, так и для решения различных производственных задач.
- Высокая степень износа и моральное старение АСУ ТП крупных предприятий, построенных в советские времена, привели к необходимости модернизации их АСУ ТП. На смену средствам локальной автоматики на многих предприятиях приходят современные цифровые АСУ ТП, построенные на аппаратных и программных средствах ведущих западных фирм, таких как "Siemens", "Honeywell" и др. Внедрение современных цифровых АСУ ТП требует как более строгого порядка их проектирования: все алгоритмы защит, блокировок, сигнализации, параметры настройки регуляторов должны быть полностью протестированы заранее, до ввода их в память цифровых модулей АСУ ТП. Понятно, что полностью такое тестирование можно осуществить только на обладающей высокой степенью адекватности комплексной полномасштабной модели СТОУ, включающей как модель физических процессов в технологических системах СТОУ, так и модель АСУ ТП.

- Все более жесткими становятся требования надзорных органов к подготовке персонала СТОУ, особенно для взрывоопасных и ядерно-опасных предприятий, где уже сегодня требуется полноценная тренажерная подготовка персонала во всех режимах, включая сложные аварийные. В основе тренажеров, на которых может вестись такая подготовка, должна также лежать комплексная всережимная модель, имеющая высокую степень адекватности реальному объекту.

Следует отметить, что современное состояние вычислительной техники и методов моделирования дает возможность создавать многофункциональные моделирующие комплексы на основе стандартных ПК с процессорами "Intel", позволяющие решать не одну из вышеперечисленных задач, как было ранее, а все сразу даже для наиболее сложных объектов управления, таких как атомные электростанции. Это делает экономически целесообразным разработку таких многофункциональных моделирующих комплексов в различных отраслях промышленности.

Сегодня уровни развития моделирующих комплексов реального времени сильно отличаются в зависимости от отрасли. В одних отраслях, например, в атомной энергетике, накоплен значительный опыт разработки таких комплексов, в других отраслях движение по этому пути лишь начинается.

Поскольку стоимость разработки современного всережимного моделирующего комплекса реального времени для СТОУ высока, то для отраслей, где создание таких комплексов только начинается, был бы крайне полезен опыт тех отраслей, где такие комплексы уже получили широкое распространение.

Исторически одной из первых отраслей, где подобные комплексы начали развиваться, была атомная энергетика. В ней они начали использоваться, в первую очередь в полномасштабных тренажерах для подготовки персонала АЭС, уже несколько десятилетий назад. Этому, прежде всего, способствовало жесткое давление на АЭС со стороны национальных регулирующих органов и МАГАТЭ.

Сегодня ни в одной стране с развитой атомной энергетикой эксплуатация АЭС невозможна без полноценной периодической подготовки персонала на полномасштабных тренажерах (ПМТ). В последнее время на АЭС все чаще, в дополнение к крайне дорогим всережимным полномасштабным тренажерам, имеющим точные копии громоздких блочных пультов управления (БПУ) АЭС, с успехом используются более дешевые компактные компьютерные тренажеры различного класса. Эти тренажеры, в отличие от ПМТ, где осуществляется комплексная подготовка всей смены БПУ, предназначены для индивидуальной подготовки персонала перед выходом на ПМТ. Такая "многоступенчатость" позволяет сделать тренажерную подготовку более качественной и экономически эффективной. По мере перехода на построение БПУ на основе средств современных цифровых АСУ ТП, где используется в основном компьютерный способ управления через экранные форматы рабочих станций БПУ, комплексные компьютерные тренажеры по своим возможностям будут все больше приближаться к ПМТ.

По такому же сценарию идет и развитие тренажерной подготовки для взрывоопасных химических производств и тепловых электростанций. Этому, так же как и в атомной энергетике, будут способствовать как усиление давления регулирующих органов, так и постепенное осознание руководством предприятий необходимости качественной тренажерной подготовки персонала, непосредственно влияющей на безаварийность и эффективность производства.

Основу любого ПМТ или комплексного аналитического тренажера энергоблока составляет всережимная модель реального времени, стоимость разработки которой обычно составляет около 70% стоимости ПМТ. На заре развития тренажеров для АЭС такие комплексные модели разрабатывались практически полностью на основе ручного кодирования. Их создание было очень трудоемким и дорогостоящим. Развитие мирового тренажеростроения постепенно привело к образованию небольшого количества специализированных фирм, к числу которых можно отнести такие фирмы, как, например, STN ATLAS ELEKTRONIK (Германия), CAE (Канада), CORYS (Франция), GPI (США) и др. Эти фирмы стали разрабатывать собственные платформы для создания полномасштабных моделей СТОУ, включающие автоматизированные средства проектирования, сборки и отладки комплексных моделей, пригодные для схожих по структуре объектов в разных отраслях. Такие средства позволили им резко повысить эффективность разработки и сделать сам процесс создания компьютерных моделей более технологичным и документируемым, а в итоге – более качественным, быстрым и дешевым, что обеспечивало этим фирмам выигрыши тендеров на

получение крупных заказов на ПМТ. Сегодня создание современного тренажера уже немыслимо без специализированной системы его разработки, отладки и сопровождения, т.к. в противном случае невозможно обеспечение жестких критериев качества, предъявляемых к тренажерам стандартами, принятыми в атомной энергетике (к примеру, наиболее известный в мире американский стандарт на полномасштабные тренажеры: “Nuclear Power Plant Simulators for use in Operation Training and Examination ANSI/ANS-3.5” и российский стандарт концерна Росэнергоатом «Технические средства обучения» СТО 1.1.1.01.004.0680-2006).

В качестве примера чисто российской платформы для создания полномасштабных адекватных моделей СТОУ, аналогичной платформам вышеуказанных западных фирм в данной статье рассматривается программная платформа ЭНИКАД, предназначенная для разработки и эксплуатации моделирующих компьютерных комплексов различного назначения для СТОУ. Класс таких систем весьма широк и включает в себя тренажеры, анализаторы, системы-советчики, визуализаторы архивных или текущих данных различных технологических объектов.

Откуда появился ЭНИКАД? Немного истории. В далеком 1976 году в МИФИ на кафедре «Автоматика» была начата интересная работа. Необходимо было создать тренажер для подготовки персонала одного из атомных объектов страны. Все было непросто. Разрабатывались приемы моделирования сложного объекта на аналоговых вычислительных средствах - о компьютерах тогда приходилось только мечтать. Проектировались пульта и схемы сопряжения. Проектные работы, монтаж, наладка продолжались долгие 5 лет.

Работа была успешно завершена. Одним из уроков, усвоенных разработчиками, было понимание необходимости большей гибкости в средствах моделирования. Такую гибкость мог дать только компьютер. Но компьютеры, доступные в СССР в 80-е годы были мало приспособлены для сложного моделирования в реальном масштабе времени, да и возможность разработки удобного графического интерфейса для полномасштабной модели у них практически отсутствовала.

В начале 90-х годов в страну хлынули персональные компьютеры, и бывшие электронщики переквалифицировались в программистов. Какими "хилыми" были первые персоналки с операционной системой DOS! Но возможность работы с цветными графическими интерфейсами, удобство создания программ и доступность самого компьютера перевесили все минусы. Тот факт, что персоналки появились в России одновременно со всем остальным миром обеспечил нам широкие возможности для творчества: мир не успел наработать большой объем ПО для персоналок и мы активно включились в эту наработку наравне и одновременно с другими странами в своей области – области компьютерного моделирования, а накопленные ранее в МИФИ большие заделы в области математического описания физических процессов в СТОУ и отсутствие “привязанности” к большому объему наработанного ранее ПО для разработки высокоточных полномасштабных комплексных моделей СТОУ (как у перечисленных выше ведущих западных тренажеростроительных фирм) обеспечили нам определенные преимущества. Так в МИФИ зародилось новое направление работ - компьютерное моделирование в сочетании с широким использованием графического интерфейса. Для внедрения этих разработок в 1991 г., на базе лаборатории «Тренажерные системы», входящей ныне в состав кафедры «Автоматика», была создана специализированная фирма «Экспериментальное научно-исследовательское и конструкторское объединение “Тренажерные системы обучения”» (ЭНИКО ТСО). Эта фирма вошла в созданный при МИФИ «Международный научно-технологический парк “Технопарк в Москворечье”», нацеленный на внедрение инновационных разработок МИФИ в промышленность. ЭНИКО ТСО уже более 18 лет успешно работает в указанной области, постоянно развивая собственную платформу для создания различных моделирующих комплексов СТОУ, получившую название ЭНИКАД (зарегистрированное название - ENICAD) от названия фирмы.

Однако ЭНИКАД был создан не сразу. Первой ласточкой стала система, которую назвали ГИМ - Графический Интерфейс Моделей. Казалось, что тут особенного? В то время по всей стране создавались сотни программ для персоналок, которые использовали графику для общения с пользователями. Однако в ГИМ была заложена плодотворная идея разделения моделирующей и интерфейсной части программы. Связующим звеном служили сами переменные модели, расположенные в COMMON-областях. Графическая часть строилась из отдельных элементов, ассоциированных с этими переменными. После каждого шага счета модели значения переменных передавались графическим элементам, что вызывало их перерисовку. Действия пользователя, в свою очередь, изменяли значения других переменных, тем самым становясь доступными модели.

Синхронизация переменных производилась исполняющей системой ГИМ автоматически на основании специального описания.

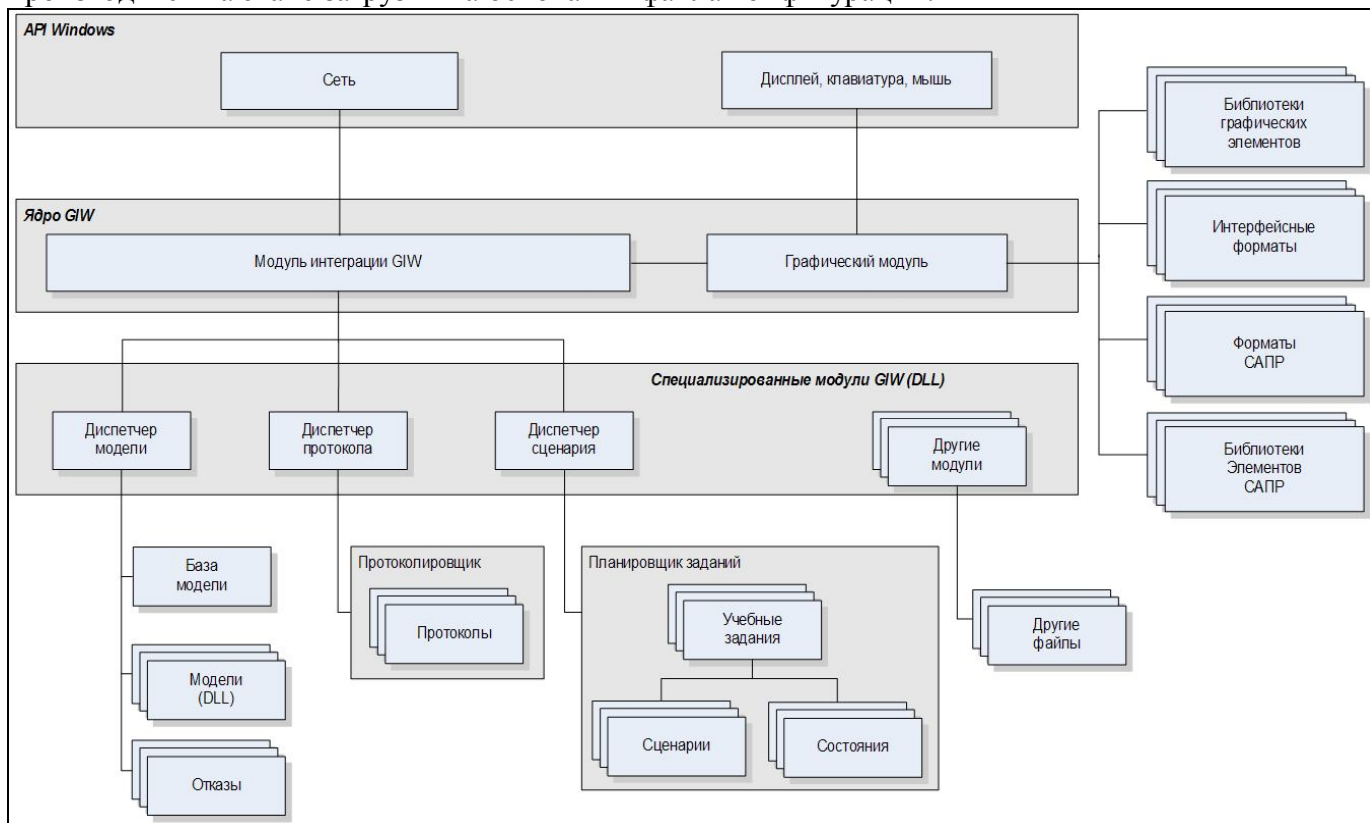
Выбранный подход переводил ГИМ в разряд инструментальных средств. Независимость моделирующей и интерфейсной части позволяла легко модернизировать модель и экранные форматы, объединяя их только при запуске системы. На основе ГИМ в середине 90-х годов был создан ряд компьютерных тренажеров для предприятий атомной энергетики (Курская АЭС, Южноукраинская АЭС и др.).

Однако вскоре проявились недостатки системы ГИМ. Препятствием на пути создания крупномасштабных проектов стала операционная система DOS, предоставляющая слишком мало ресурсов программе. Появление и широкое распространение в 1995 г. 32-разрядной системы Windows стало сигналом к созданию на базе ГИМ новой программной платформы, которая и получила название ЭНИКАД. При создании ЭНИКАД был учтен не только опыт разработки ГИМ, но и опыт разработки аналогичных платформ ведущих тренажеростроительных фирм STN ATLAS ELEKTRONIK (Германия), CAE (Канада), CORYS (Франция), GPI (США), с которыми нашим специалистам удалось детально ознакомиться в процессе совместных работ.

Какие задачи ставили перед собой разработчики ЭНИКАД? Сохраняя архитектурные достоинства ГИМ, было решено развивать систему в следующих направлениях:

- создание единой среды разработки-выполнения для удобства реализации и сопровождения прикладных систем;
- интеграция в систему полнофункционального графического редактора для создания графического интерфейса;
- поддержка и автоматизация создания моделирующего кода;
- создание масштабируемой исполняющей системы, способной функционировать на многопроцессорных и сетевых комплексах;
- поддержка эксплуатации прикладных систем.

Основным компонентом платформы ЭНИКАД, структура ПО которой представлена на рис.1, является программа GIW (Graphical Interface Workshop). Программа реализована по модульному принципу - к ядру GIW могут добавляться специализированные подсистемы (в виде DLL), обеспечивающие требуемую функциональность создаваемой системы. Сборка комплекса производится на этапе загрузки на основании файла конфигурации.



**Рисунок 1. Структура ПО ЭНИКАД.**

Базовыми понятиями являются модель и экранные форматы. Термин «модель» используется в контексте GIW в качестве синонима для источника данных, поступающих в реальном масштабе

времени. Например, моделью может служить программа доступа к базе данных или интерфейсная программа с оборудованием - источником данных. Модель создается из программного кода, который пишется вручную на языке Фортран или Си, либо получается автоматически с помощью одной из интегрированных систем автоматического проектирования (САПР).

Форматы, в свою очередь, представляют собой рисунки в специальном векторном представлении, изображаемые графическим модулем в окнах Windows. Форматы могут быть разных типов. Интерфейсные форматы являются средством управления и представления данных модели, внешний вид и функциональность таких форматов полностью в руках разработчика. Отладочные форматы в виде таблиц или графиков также обеспечивают взаимодействие с моделью. Наконец, форматы САПР, нарисованные по определенным правилам, являются источником получения программного кода.

Попробуем разобраться в архитектуре GIW.

Строительным материалом для форматов всех типов служат так называемые графические элементы. Графические элементы - это специальные объекты со специфическим визуальным представлением и функциональностью. В настоящий момент разработано большое количество элементов. Их можно отнести к следующим классам:

- Статические элементы включают в себя базовые графические примитивы. Множество статических элементов простирается от простейших (отрезок, прямоугольник, эллипс, текст и т.д.) до весьма сложных (фигуры на основе кривых Безье, градиентные заливки, видеофрагменты). Статические элементы предназначены в основном для создания фонового изображения интерфейсных форматов.
- Динамические элементы - это разнообразные изображения, изменяющие свой вид в зависимости от значений переменных модели или, наоборот, изменяющие переменные модели при определенных действиях пользователя. Динамические элементы бывают универсальными (типа кнопок или графиков) или специализированными (изображения арматуры конкретной технологической установки). Динамические элементы являются основой для организации интерфейса с моделью и всегда ассоциированы с одной или несколькими переменными модели.
- Элементы САПР представляют собой базу для создания расчетных схем моделей различных типов (теплогидравлических, логико-динамических, электрических). Характерной особенностью таких элементов является способность порождать фрагменты моделирующего программного кода. Для каждого типа САПР существует свой набор первичных элементов. Для представления типовых узлов оборудования из первичных элементов могут быть созданы макроэлементы, используемые в дальнейшем наравне с остальными элементами.

Графические элементы оформляются в виде подгружаемых библиотек. Идея использования библиотек оказалась очень плодотворной. С одной стороны, это прекрасный способ наращивать и подстраивать элементную базу под нужды конкретной разработки. С другой стороны, ненужные для проекта библиотеки можно исключать, разгружая систему от лишних объектов.

Все аспекты функционирования форматов с размещенными на них элементами находятся под управлением графического модуля GIW. По сути, этот модуль представляет собой универсальный графический редактор с развитым набором функций. Объектно-ориентированная природа элементов позволяет легко модернизировать форматы. Каждый элемент имеет так называемые свойства. Изменяя свойства элемента, разработчик настраивает его под свои нужды. Важно подчеркнуть, что любые процедуры редактирования или настройки элементов выполняются единообразно для любого элемента в системе.

Посмотрим, как реализован поток информации в системе. Основным способом обмена данными между моделью и остальными частями системы является организация совместного доступа к COMMON-областям модели. Для глобальной идентификации данных используются синонимы программных идентификаторов, так называемые технологические имена, обычно хорошо известные специалистам-технологам моделируемого объекта. При этом осуществляется разделение пространства имен различных программных объектов при обеспечении пространства глобальных имен, общих для всего проекта.

Такой подход позволяет:

- эффективно декомпозировать модель в рамках проекта и программировать отдельные модули (объекты) независимо один от другого;

- на базе согласованного интерфейса вести параллельную разработку программных объектов проекта, в том числе разными коллективами разработчиков;
- использовать русские глобальные имена переменных проекта, что дает возможность моделировать все без исключения отечественные технологические объекты.

Поддержка связей моделей средствами GIW обеспечивает корректную передачу данных между различными объектами проекта в однопроцессорной, мультипроцессорной и сетевой вычислительных средах. В то же время исполняющая система GIW гарантирует разделение и сохранение данных отдельных программных объектов, не участвующих в связях, независимо от используемых совпадающих программных имен.

Рассмотрим другой аспект функционирования GIW - поддержку диспетчеризации моделей реального времени. Исполняющая система GIW обеспечивает вызов моделей в соответствии с фиксированной сеткой вызовов, привязанной к реальному времени. В пределах этой сетки для каждого программного объекта могут быть установлены шаг и фаза вызова, а также очередность вызовов моделей, у которых совпадают шаг вызова и фаза. Это обеспечивает правильный старт комплексной модели, а также позволяет строить различные численные схемы средствами исполняющей системы, эффективно распределять процессорное время между различными программными объектами с сильно различающимися динамическими свойствами. Минимальный шаг не ограничен и определяется только потребностями моделирования и вычислительной мощностью процессора. Диспетчер моделей реализует также важную сервисную функцию - замедление или ускорение темпа моделирования.

Для обеспечения работы модели СТОУ в реальном времени имеется возможность распараллеливания процесса вычислений с использованием многопроцессорных вычислительных структур. Исполняющая система GIW полностью берет на себя решение вопросов диспетчеризации и синхронизации моделей, а также обмена данными.

Другой способ повышения производительности - это организация сетевой вычислительной среды. При моделировании в реальном времени сложных систем, в том числе требующих многотерминального графического интерфейса, GIW позволяет размещать модели отдельных систем на отдельных машинах, связанных по сети. При этом синхронизация моделей, связь с базой имен моделей, экраным интерфейсом и средствами отладки осуществляется средствами GIW.

Для функционирования прикладных систем обычно возникает потребность в ряде сервисных функций. Эти функции реализуются в GIW специализированными подгружаемыми модулями.

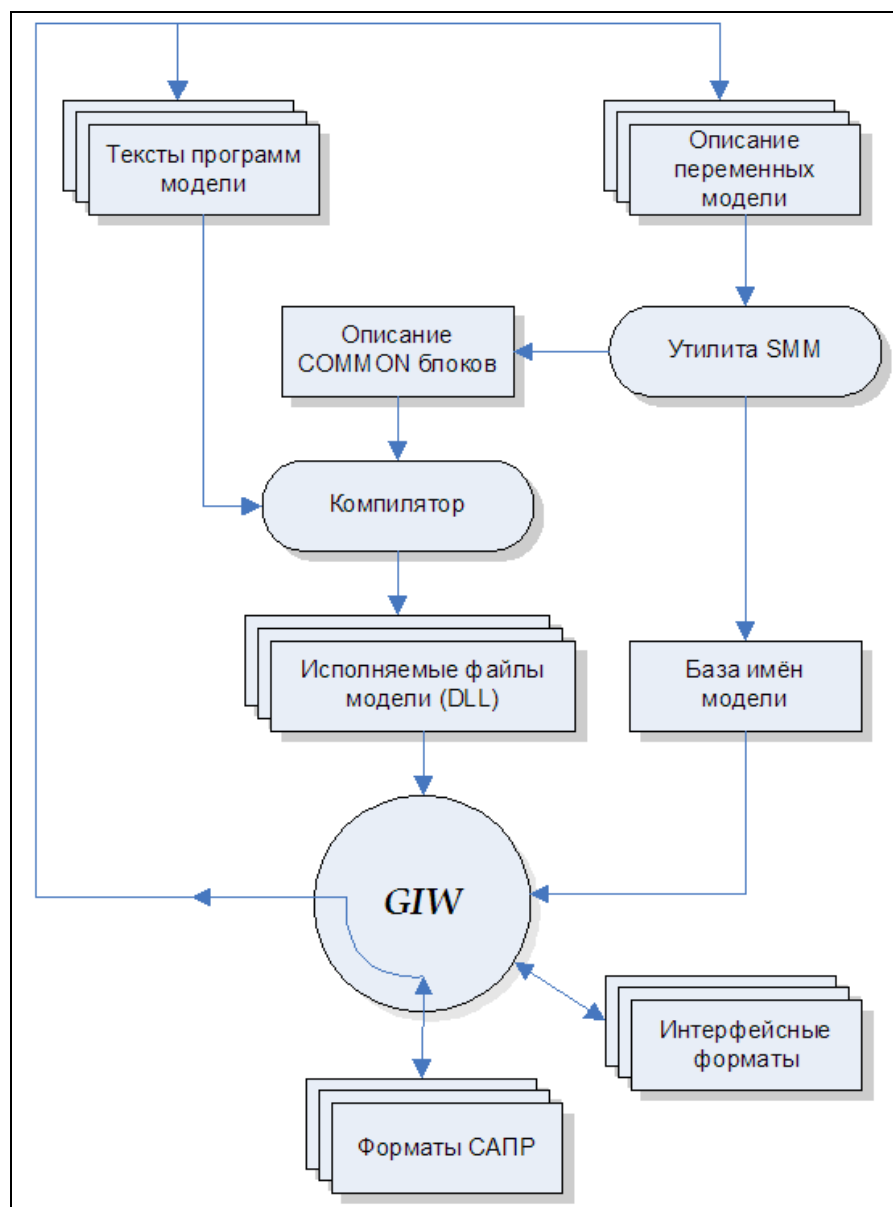
Диспетчер протокола реализует возможность сохранения параметров процесса и управляющих воздействий в файле протокола. Наличие протокола позволяет на количественном уровне исследовать поведение модели, оценивать динамическую реакцию на отдельные события, сравнивать поведение модели в различных условиях работы, накапливать базу протоколов для последующего анализа. По графику протокола в целом или по любой его части можно получить распечатку для документирования результатов численного эксперимента.

Диспетчер сценариев обеспечивает возможность задания управляющих воздействий на модель из сценария, написанного заранее на простом метаязыке. Система используется для создания тестовых или учебных задач. Например, сценарий позволяет унифицировать условия проведения серии тестов для сравнения результатов различных настроек параметров моделей.

Подсистема работы с состояниями модели реализует следующие функции:

- сохранение полного состояния модели процесса или любой его части по выбору;
- загрузку нового состояния модели или любой его части (например, констант настройки отдельного программного модуля);
- откат модели на запомненное предыдущее состояние;
- число возможных откатов и шаг по времени можно регулировать.

Закончив обзор основных подсистем GIW, рассмотрим теперь, как происходит создание прикладной системы, который представлен на рис.2.



**Рисунок 2. Процесс разработки прикладной системы в среде GIW.**

GIW является интегрированной средой и обеспечивает процесс разработки разнообразных моделей технологических систем на всех стадиях: создания расчетных схем моделей и графических форматов, автономной отладки, сборки, комплексной отладки и эксплуатации. Как правило, процесс разработки прикладной системы, за исключением создания исполняемых файлов модели, производится непосредственно в среде GIW. Для систематизации рабочих файлов различных типов используется встроенный менеджер проекта.

В GIW предусмотрена декомпозиция сложных моделей на логически законченные подсистемы, реализуемые в виде отдельных загружаемых модулей. Такой подход обеспечивает возможность автономной разработки отдельных частей модели с последующей их интеграцией на заключительных этапах проектирования. Модели в GIW могут строиться как при помощи встроенных в него средств автоматизации (САПР моделей автоматики, САПР моделей теплогидравлических систем и САПР моделей электрических систем), так и путем ручного программирования, как например, созданная ЭНИКО ТСО модель нейтронной физики в активной зоне реактора типа ВВЭР, аттестованная ГАН РФ. Познакомимся с особенностями САПР разных типов.

Модель сложной технологической системы, как правило, включает в себя модели физических процессов, происходящих в системе, а также модели технологической автоматики, защит, блокировок и управления, т.е. модели логико-динамических систем.

САПР систем автоматики предназначен для упрощения создания моделей логико-динамических систем. Структура такой системы включает в себя набор динамических звеньев и функциональных преобразователей аналоговых и логических сигналов, соединенных друг с другом направленными связями. Расчет параметров состояния каждого звена схемы производится

последовательно, а порядок обхода элементов схемы определяется на основе анализа направленного графа этой схемы с учетом возможных обратных связей. Для выявленных контуров обратных связей производится коррекция запаздывания на расчетный шаг.

В основе представления исходной информации о структуре системы, ее элементах и параметрах лежит графическое представление логико-динамической схемы алгоритма, реализуемого системой.

Элементы схемы реализуют все возможные динамические, статические или специализированные функциональные элементы системы. Такие элементы поставляются в виде библиотеки стандартных элементов в составе САПР автоматике, а также могут изготавливаться самим пользователем на базе уже существующих элементов. Для изготовления специализированных элементов схем используется та же самая графическая среда, что и для разработки самих схем системы. Программный код элемента может быть получен как при обработке соответствующей схемы элемента, так и написан вручную с использованием всех средств и возможностей программирования в стандарте FORTRAN-90. Это дает возможность наряду с большой наглядностью и простотой схемы использовать для обработки сигнала сложные программные алгоритмы.

Мнемоника элементов для вставки в схемы САПР автоматике создается одновременно с описанием кода элемента, его данных и точек подключения и соответствует стандартным изображениям соответствующих логических, аналоговых или смешанных элементов.

При таком подходе к изготовлению элементной базы схем САПР появляется возможность моделирования схем устройств технологической автоматике и логики методом прямой аналогии с отражением всех реальных элементов схемы устройства и связей между ними. Большая по объему схема САПР автоматике может быть разбита на произвольное число отдельных листов схемы с сохранением связей между ними. Такое множество листов схемы системы обрабатывается как единая схема.

Результатом компиляции схемы САПР автоматике является программный код этой схемы, а также файлы объявления переменных, используемых этой схемой, и начального состояния переменных схемы САПР. Начальные значения переменных состояния элементов схемы САПР задаются в интерактивном режиме при рисовании схемы и позволяют «стартовать» такую схему как автономно, так и в составе комплексной модели без ложных импульсных сигналов или переходных процессов, не обусловленных внешними сигналами. Также в интерактивном режиме при проектировании схемы САПР задаются все константы - параметры настройки элементов схемы.

САПР систем автоматике позволяет производить автономную предварительную отладку технологической системы без включения ее в полный проект. Для этого на основе схемы САПР автоматике собирается отдельная модель, которая может быть запущена в отсутствие других моделей под управлением GIW.

Среда разработки позволяет контролировать сигнал в любой точке схемы САПР автоматике в реальном времени и изменять параметры настройки элементов.

Для связи с другими системами в рамках комплексной модели используются элементы типа «разъем». В случае автономной работы полученной модели системы они выступают как источники граничных условий для нее.

Каждый лист схемы моделируемой системы оформляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к аналогичной конструкторской документации. Распечатка таких схем системы является полным отчетным документом по модели этой системы и содержит всю информацию о структуре связей элементов схемы, параметрах их настройки, внешних связях системы и необходимых параметрах начального состояния системы.

Средствами САПР автоматике создана полная библиотека функциональных модулей управляющих систем автоматике, включающий основные элементы средств УКТС для управления основными приводами, а также ряд элементов комплексов КАСКАД, предназначенных для построения схем основных регуляторов энергоблоков с реакторами ВВЭР и РБМК предыдущего поколения. Для современных энергоблоков с цифровыми АСУ ТП (Калинин-3, Ростов-2) созданы аналогичные библиотеки для средств ТПТС и КТПС-ПН. На основе наработанной общей и специализированной элементной базы производится детальное моделирование управляющих систем энергоблоков ВВЭР и РБМК при создании моделирующих комплексов различного класса.

В дополнение к САПР автоматике, с целью повышения эффективности сравнения версий и



анализа ПО программно-технических комплексов (ПТК) ТПТС в ходе ПНР 3-го энергоблока Калининской АЭС, на базе платформы «ЭНИКАД» был создан программно-инструментальный комплекс для автоматизации сравнения версий, тестирования и анализа ПО (ПИК АСТАПО), который обеспечивает выполнение следующих функций:

- считывание штатного архива GET-проекта с инженерной станции ПТК ТПТС и представление его на стандартных средствах ПК под ОС WINDOWS;
- автоматическое сравнение двух версий ПО ПТК ТПТС с выдачей протокола отклонений. Автоматическая сверка позволяет на порядки сократить время на анализ внесенных в ПО изменений. Сверка штатными средствами ТПТС требовала каждый раз ручной сверки на соответствие огромного количества GET-планов (объем GET-проекта для 3-го энергоблока Калининской АЭС составляет ~ 65 000 листов, и сравнение “вручную” двух версий GET-проекта такого объема требует огромных трудозатрат, что не приемлемо в ходе ПНР, когда происходит быстрая смена версий GET-проекта);
- автоматическая генерация модели по штатному архивному сбросу инженерной станции ПТК ТПТС;
- полная динамизация (визуализация прохождения алгоритмов) GET-планов, отсутствующая на инженерной станции ПТК ТПТС.

САПР моделей теплогидравлических систем предназначен для создания динамических моделей теплогидравлических сетей, включая разнообразное тепломеханическое оборудование в их составе. Он позволяет проектировать модели с использованием набора стандартных (базовых) теплогидравлических элементов, таких как объемы воды и пара, трубы, ступени турбин, насосы, теплообменные аппараты, обратные клапаны, запорная и регулирующая арматура, датчики основных параметров КИП, а также специализированных (составных) элементов.

При расчете моделей теплогидравлических систем используется неявная нелинейная схема с внутренними итерациями. На каждой итерации решается система уравнений относительно приращения переменных состояния на данной итерации. Такой подход позволяет существенно уменьшить влияние погрешностей вычислений на результат. При создании базовых элементов САПР теплогидравлики и моделирования различного тепломеханического оборудования используются следующие основные математические модели:

- модель простых объемов с теплоносителем и газами произвольного состава при учете теплообмена через стенку с помещением, зависящим от режима течения теплоносителя и его характеристик;
- модель переноса тепла по металлическим конструкциям элементов;
- неравновесная теплогидравлическая модель двух объемов для сосудов с уровнем теплоносителя, использующая законы сохранения массы и энергии для каждой фазы под уровнем, законы сохранения для каждой фазы и неконденсирующихся газов над уровнем и учитывающая стратификацию фаз при уходе воды из сосуда. В этой модели учитывается тепловая неоднородность и инерционность стенки сосуда, высотная неоднородность пара под уровнем и наличие капель воды над уровнем без теплового равновесия с паром и газом;
- теплогидравлическая модель потока теплоносителя в ветви между двумя расчетными объемами на базе трех уравнений сохранения для пароводяной смеси и двух уравнений для газа с учетом теплообмена теплоносителя со стенкой и со средой в окружающем помещении и скоростного напора в уравнениях импульса и энергии. Модель может описывать динамику процессов в паровых трактах 2-го контура с учетом звуковых ограничений по скорости потока и процессов в 1-ом контуре при полных разрывах трубопроводов с учетом сверхзвукового истечения из места разрыва;
- модель переноса неконденсирующихся газов в потоке теплоносителя с учетом их перехода из растворенного состояния в состояние газовых пузырей и возможного их всплытия по высоте гидравлических трактов при существенном уменьшении конвекции теплоносителя. Модель учитывает вклад газов в давление, энергию смеси и рассчитывает покомпонентный перенос газов в теплогидравлической сети (включение еще двух уравнений сохранения);
- нестационарная модель переноса бора в теплоносителе. Модель учитывает расслоение бора при вскипании воды и его возможное осаждение на твердых частях оборудования 1-го контура, а также неравномерность переноса бора по петлям, через ТВС активной зоны, транспортное запаздывание подачи бора.

Элементы САПР разрабатываются с помощью редактора элементов САПР, входящего в состав GIW. Разработка новых элементов доступна конечному пользователю. Мнемоника элементов схем САПР в основном соответствует стандартным технологическим схемам теплогидравлических систем. Большая по объему теплогидравлическая схема может быть разбита на произвольное число отдельных листов с сохранением связей между ними. Результатом компиляции схемы САПР теплогидравлики является программный код на языке Фортран и другие файлы.

Разумеется, и в этом случае среда разработки предоставляет полный набор возможностей по настройке, отладке и документации моделей.

САПР моделей электрических систем построен аналогично САПР теплогидравлики и позволяет проектировать модели основного и вспомогательного электрического оборудования энергоблоков, а также сетевые структуры энергосистем. Базовыми объектами являются модели таких устройств, как генератор, электродвигатели различных типов, трансформаторное оборудование, кабельные и воздушные линии электропередач сеть бесконечной мощности, измерительные приборы в точках подключения. Моделируется влияние коммутаций на топологию сети. САПР так же предоставляет полный набор возможностей по настройке, отладке и документации моделей, аналогичный САПР теплогидравлики и автоматики.

Важным этапом в ходе разработки любой модели является процесс отладки. Среда разработки ЭНИКАД предоставляет возможность отладки как отдельных модулей, так и всей модели. Отладка может производиться в реальном времени и в пошаговом режиме. Предоставлена возможность получения информации о последовательности вызовов моделей, результатах таймирования отдельных моделей и модели системы в целом. Накопление статистики о времени работы отдельных моделей системы, выполняемое внутренним профилировщиком, позволяет правильно распределять ресурс процессора между отдельными моделями, делать заключения о соответствии той или иной модели требованиям реального времени.

Для контроля и управления параметрами модели используются служебные табличные форматы, позволяющие в режиме реального времени вызывать на индикацию или изменять любые переменные модели. Предусмотрен вывод на контроль переменных любых типов, а также их массивов (полностью или в любом заданном диапазоне индексов). Имеется возможность задавать изменение любой переменной скачком или с заданной скоростью нарастания, что позволяет имитировать различные тестовые сигналы. Кроме того, любая переменная или список переменных модели может быть выведен на отдельный график с последующим документированием.

Подведем итог обзора имеющихся в ЭНИКАД средств разработки и отладки модели реального времени. Можно констатировать, что создана инструментальная система, позволяющая создавать адекватные модели практически любых технологических объектов, включая такие сложные, как тепловые и атомные энергоблоки.

Однако для любого моделирующего комплекса необходима не только модель, но и развитый графический интерфейс с моделью, от качества которого во многом зависит эффективность работы с моделирующим комплексом. Разумеется, дизайн, количество и функциональность экранных форматов интерфейса модели полностью диктуются требованиями проекта. Однако общие принципы организации интерфейса остаются постоянными - любое взаимодействие с моделью осуществляется с помощью тех или иных динамических элементов, размещаемых на формате. ЭНИКАД предоставляет разработчику широкий набор таких элементов.

Для организации разнообразных управляющих воздействий с помощью "мыши" используется универсальный механизм в виде зон управления. Зона управления может иметь прямоугольную, эллиптическую форму или любую другую форму. Зоны управления могут составлять двухмерную прямоугольную, треугольную или даже радиальную решетку. Зоны могут быть независимы или зависимы друг от друга. В любом случае, щелчок "мыши" внутри зоны вызовет изменение переменной модели, тем самым сигнализируя о наступлении некоторого события. Обычно зона управления не имеет визуального представления, что дает разработчику право самостоятельно изобразить поверх зоны адекватный орган управления. Частным случаем зон управления являются кнопки разных видов. Имеются специализированные зоны управления для выполнения служебных функций: перехода на другой формат, вызова подсказки и т.д.

При необходимости передать программе числовой или символьный параметр разработчик может разместить на формате строку ввода. Размер, ориентация, шрифт, цвет - все поддается настройке.

Богатый выбор предоставляется разработчику и для отображения состояния модели. Для экранного интерфейса применимы разные стили оформления: имитация фрагментов пультов и панелей, изображения технологических схем с управляемыми мнемознаками, копии экранов управляющих компьютеров энергоблока. Базовая библиотека элементов включает в себя компоненты всех известных приборов: стрелочных, показывающих, цифровых. Существующие библиотеки мнемознаков охватывают мнемоники, используемые в практике атомных и тепловых электростанций разных типов.

Графический редактор позволяет объединять в группы элементы разных типов. Это дает возможность создания типовых интерфейсных конструкций. Интересно, что группы элементов можно сделать управляемыми от модели, изменяя их взаимное расположение и видимость. Тем самым ЭНИКАД дает возможность анимации.

Любой динамический элемент становится связанным с моделью после назначения ему специального свойства — интерфейсного имени — в форме технологического имени или программного идентификатора. Интересной особенностью графического модуля GIW является способность совмещения редактирования и отображения состояния элемента от модели. Эта функция особенно полезна при окончательной доводке интерфейса.

Но вот разработка проекта завершена. Теперь на сцену выходят другие компоненты платформы ЭНИКАД, призванные облегчить использование прикладной системы.

Подробнее остановимся на использовании ЭНИКАД в области задач, связанных с обучением. В этом процессе задействованы две категории лиц: обучающий, будем называть его инструктором, и обучаемый. Задачи у них несколько отличаются, и в соответствии с этими задачами ЭНИКАД предоставляет различные решения.

Основной модуль в проведении процесса обучения – планировщик заданий. Что это такое, и для чего он нужен?

Представим себе, что мы сделали обучающую систему - тренажер. Процесс обучения организуется в форме курса из ряда занятий. Каждое занятие состоит из сеанса работы на тренажере, настроенного на решение вполне определенной учебной цели. Настройка включает в себя определение круга имитируемого оборудования, начальных условий, цели, условий достижения цели, параметров для контроля качества управления технологическим процессом и т.д. Вся совокупность описаний такого рода, представленная в виде конфигурационных параметров GIW, оформляется в форме задания.

Планировщик заданий позволяет накапливать разработанные и проверенные задания в общей базе. В базе планировщика сохраняются также сопутствующие файлы: сценарии, списки протоколируемых переменных, а также результаты тренировок в форме протоколов.

После конфигурирования задания планировщик передает управление исполняющей системе. При этом на месте обучаемого запускается всё тот же GIW, но с заблокированными функциями редактирования, работы с отказами, возможностью загрузки состояний, и т.п. А на рабочем месте инструктора - консоль инструктора, которая является специализированной версией программы GIW с интерфейсом, адаптированным для осуществления подготовки и проведения учебных занятий.

Консоль инструктора реализует следующие основные функции:

- формирование и работа со структурированным архивом состояний;
- управление форматами, формирование стартовых наборов форматов консоли инструктора;
- управление отказами, в том числе, реализацию триггеров условий и таймеров активизации отказов, формирование панели с редактируемым списком, параметрами, статусом и состоянием отказов;
- формирование УТЗ, включающие, в том числе, описание УТЗ (ссылки на исходное состояние, наборы отказов, форматов, параметры протоколирования и создания промежуточных состояний), идентификацию участников УТЗ, редактирование архива УТЗ;
- контроль состояния тренажера, включая формирование сообщений по следующим событиям:
- отказам отдельных моделей и сетевые ошибки;
- выходам за пределы моделирования;
- действиям по управлению тренажером.

Консоль инструктора также позволяет централизованно запускать произвольные задания на любых компьютерах класса. При необходимости компьютер инструктора может быть подключен в режиме монитора к рабочему месту обучаемого, выполняющего задание. Это позволяет инструктору

вести скрытое наблюдение за действиями обучаемого, вносить в них необходимые коррективы или, наоборот, вводить неожиданные для обучаемого возмущения или отказы.

После завершения задания наступает этап оценивания результатов тренировки. В качестве источника информации используется протокол, накопленный в ходе занятия. Просмотр протокола инициируется из архива протоколов планировщика заданий. Анализ протокола производится в специальной программе просмотра протоколов - последней из рассматриваемых частей ЭНИКАД.

Протокол включает в себя информацию об изменении значений переменных во времени, событиях, связанных с изменениями значений переменных, и системных событиях.

Протокол в общем случае состоит из нескольких фрагментов, называемых траекториями. Начало каждой траектории всегда связано с запуском модели с новыми начальными условиями. Завершение траектории может быть вызвано операцией отката, загрузкой новых начальных условий или завершением сеанса работы.

Программа просмотра протоколов обеспечивает навигацию между траекториями, позволяет просматривать списки событий и изменения переменных, представленных в виде графиков. При необходимости, различные компоненты протокола могут быть распечатаны на принтере или экспортированы в другие программы для составления отчета.

К данному моменту на базе платформы ЭНИКАД разработан целый ряд технических средств обучения для персонала атомных и тепловых электростанций. Остановимся на последних разработках.

Технические средства подготовки персонала 3-го энергоблока Калининской АЭС

На базе платформы ЭНИКАД для подготовки персонала 3-го энергоблока Калининской АЭС был создан целый ряд технических средств обучения, в состав которых вошли:

- тренажер оборудования и систем АСУТП (ТОС АСУТП);
- пусковой комплекс (ПсК) полномасштабного тренажера 3-го энергоблока (ПМТ-3), обеспечивший подготовку персонала до окончания изготовления реплики БПУ и подсистемы УСО ПМТ-3;
- полномасштабный тренажер (ПМТ-3);
- компьютерный тренажер по системе химводоочистки (КТ ХВО), не входящей в состав моделируемых в ПМТ-3 систем.

### **Тренажер оборудования и систем АСУТП**

Работающий на стандартных персональных компьютерах ТОС АСУТП был создан в связи с тем, что переход персонала АЭС от привычного способа управления с помощью ключей к компьютерному оказался сложным. Поэтому потребовалась начать массовую индивидуальную выработку навыков такого способа управления как можно раньше на стандартных ПК. ТОС АСУТП задолго до ввода ПМТ-3 обеспечил:

- изучение структуры АСУТП;
- детальное изучение алгоритмов управления и индикации;
- выработку практических навыков работы с цифровой АСУТП, таких как навигация по экранному формату СВБУ, изучение способов перехода между форматами и их интерактивных меню, приобретение навыков работы с трекболом.

### **Пусковой комплекс (ПсК) и Полномасштабный тренажер (ПМТ-3) 3-го энергоблока Калининской АЭС.**

Создание полномасштабного тренажера для 3-го энергоблока Калининской АЭС имело особое значение в связи с тем, что на этом энергоблоке впервые в России внедрялась современная цифровая АСУ ТП на базе средств ТПТС (TELEPERM ME), производимых в России по лицензии фирмы SIEMENS.

Основной способ управления в этой АСУ ТП - компьютерный, через экранные форматы управляющих рабочих станций блочного пульта управления (БПУ). Он принципиально отличается от способа управления с использованием ключей БПУ на всех предыдущих энергоблоках. Естественно, навыки нового компьютерного способа управления у оперативного персонала Калининской АЭС полностью отсутствовали и именно их нужно было сформировать в первую очередь.

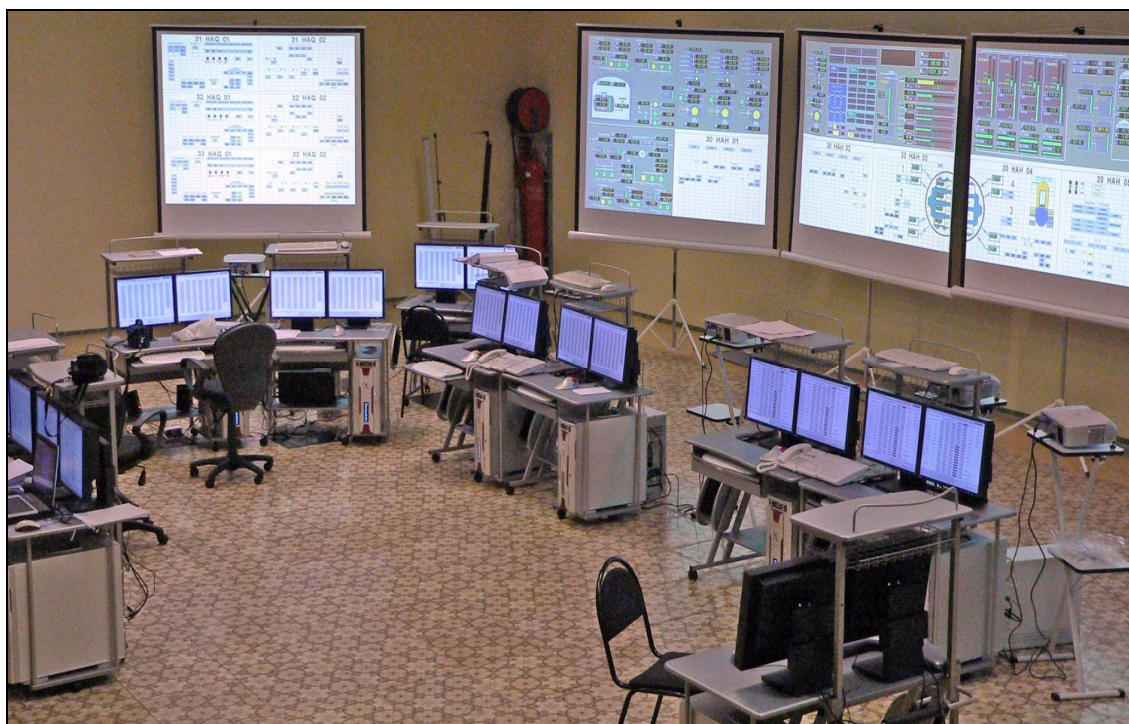
В связи с этим концерном "Росэнергоатом" было принято решение о разработке полномасштабного тренажера 3-го энергоблока Калининской АЭС (ПМТ-3) в 2 этапа.

На первом этапе предполагалось ввести в эксплуатацию компьютерный пусковой комплекс (ПсК) ПМТ-3 на базе проекционных средств имитации панелей БПУ и компьютерных средств управления с рабочих мест операторов.

На втором этапе к пусковому комплексу ПМТ-3 должны были быть подключены пульта и панели, полностью аналогичные реальному БПУ.

Следует отметить, что данное решение концерна оказалось весьма целесообразным, поскольку позволило избежать значительных переделок реплики БПУ ПМТ-3 с целью обеспечения ее адекватности текущему состоянию штатного БПУ энергоблока, на котором в ходе его опытно-промышленной эксплуатации был внедрен целый ряд изменений.

В рамках ПсК ПМТ-3, общий вид которого представлен на рис.3., были реализованы 11 рабочих станций штатной СВБУ, расположенных на БПУ. ПсК ПМТ-3 был введен в эксплуатацию в феврале 2006 г.



**Рисунок 3. Общий вид пускового комплекса ПМТ-3.**

На базе пускового комплекса путем подключения через устройства связи точной реплики штатного БПУ была завершена разработка полномасштабного тренажера 3-го энергоблока Калининской АЭС. Общий вид ПМТ-3 представлен на рис.4.



**Рисунок 4. Общий вид полномасштабного тренажера блока №3 Калининской АЭС (ПМТ-3).**

В состав ПМТ-3 вошли следующие основные модели:

- трехмерная двухгрупповая модель активной зоны, аттестованная ГАН РФ;
- модели теплогидравлических систем энергоблока, созданных при помощи САПР

теплогидравлических систем, входящей в состав ЭНИКАД;

- модели электрических систем энергоблока, созданных при помощи САПР электрических систем, входящей в состав ЭНИКАД;
- модель нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС. Она генерируется полностью автоматически с помощью созданного на базе ЭНИКАД комплекса программных средств по стандартной резервной копии (back-up) GET-проекта;
- модель СВБУ на базе RTA PLS, которая также генерируется полностью автоматически с помощью созданного на базе платформы ЭНИКАД программного комплекса по файлам штатных серверов реального СВБУ;
- модели спец. систем энергоблока.

Эти модели обеспечивают расчет в реальном времени показаний абсолютно всех датчиков АСУТП и воспринимают воздействие всех органов управления энергоблока, расположенных на БПУ. Общее число моделируемых в ПМТ-3 датчиков – 6055 ед., управляемых элементов технологических схем (двигатели, задвижки и т.д.) – 2254 ед.

Следует отметить, что принятые при разработке ПМТ-3 технические решения, а именно - использование в тренажере штатного БПУ без каких-либо изменений и использование в устройстве связи аппаратуры ТПТС - позволили осуществить интеграцию ПМТ, его отладку и прохождение программы приемо-сдаточных испытаний в кратчайшие сроки – 6 недель. ПМТ-3 был сдан в промышленную эксплуатацию 15 июня 2007 года.

### **Компьютерный тренажер по системам химводоочистки (КТ ХВО).**

КТ ХВО был разработан в связи с тем, что контроль и управление системой ХВО осуществляется не с БПУ, а с отдельного местного щита. По этой причине система ХВО не моделировалась в составе ПМТ-3. КТ ХВО разработан и функционирует на базе платформы ЭНИКАД.

Тренажер ХВО включает два основных компонента: динамическую модель физических процессов в технологических системах ХВО и модель АСУТП.

Основная компонента КТ ХВО - комплексная динамическая модель реального времени состоит из теплогидравлической модели оборудования ХВО, модели датчиков и системы «низовой» автоматики (ТПТС-51), модели рабочего места оператора-технолога ХВО, которая включает штатные форматы СВБУ и дополнительные форматы управления ручной арматурой.

Экранные форматы рабочего места оператора полностью дублируют управление всем оборудованием ХВО. С этих форматов осуществляется также задание отказов и ввод «внешних» параметров настройки модели (температуры и давления исходной воды на ХВО, фильтроциклов, некоторых химических параметров).

Остановимся подробнее на описании компонент этого тренажера, поскольку они являются типовыми для всех тренажеров, разработанных на базе платформы ЭНИКАД.

#### **Теплогидравлическая модель оборудования.**

Теплогидравлическая модель оборудования создана с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) моделей теплогидравлических процессов, входящей в состав ЭНИКАД. Поскольку в существующей версии САПР не предусмотрен расчет химических реакций, протекающих в системе ХВО, данный расчет осуществлялся с помощью специально разработанного ручного кода.

#### **Модель нижнего уровня АСУТП.**

Модель нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС-51 автоматически генерируется по СТЕР-коду с помощью программных средств, входящих в состав ЭНИКАД. Отсутствие каких-либо ручных операций при разработке этой модели обеспечивает ее полную адекватность реальному оборудованию ТПТС-51. Для обеспечения наглядности работы алгоритмов управления предусмотрена полная динамизация GET-планов АСУТП ХВО. Графический образ GET-плана, генерируется автоматически и полностью идентичен GET-плану на инженерной станции. Но, в отличие от GET-станции, на нем разными цветами линии, соответствующей логическому сигналу отображается его состояние, а для контроля аналоговых величин может быть открыто неограниченное число специальных окон, в которых выводятся значения аналоговых величин. Непосредственно с графического образа GET-плана может осуществляться и подстройка модели АСУТП путем изменения параметров настройки (коэффициентов, пороговых значений и т.д.) в тех же точках, что и в реальном проекте, включая параметризацию всех масок GET. Это позволяет

использовать полученную модель как для более глубокого изучения АСУТП ХВО, так и в аналитических целях, например, для изучения влияния параметров настройки на качество управления.

Для связи модели АСУТП с динамической моделью оборудования ХВО использована модель измерительных каналов, которая автоматически генерируется по проектной базе КИП. Для каждого измерительного канала предусмотрена возможность индивидуальной параметризации и полный спектр возможных отказов.

Модели приводов задвижек и регуляторов интегрированы с моделью АСУТП таким образом, чтобы обеспечить циклический расчет модели АСУТП без потери управляющих импульсов с шагом, значительно превышающим базовый шаг ТПТС.

Для типовых блоков приводов, выключателей электродвигателей и другого оборудования предусмотрен необходимый в тренажере набор отказов.

#### **Набор технологических и диагностических видеокадров.**

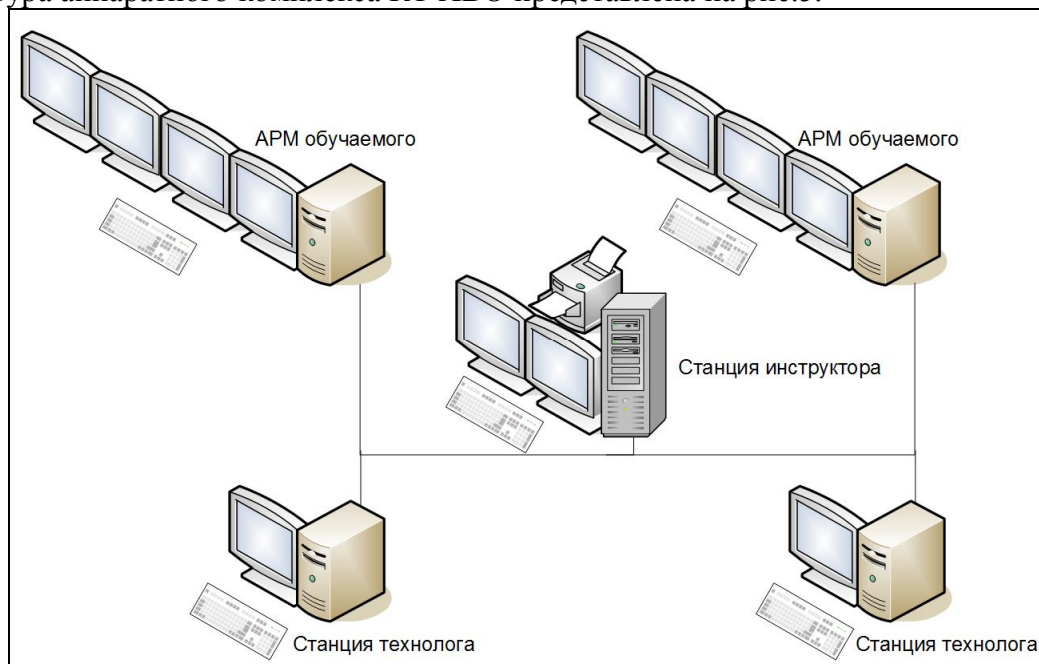
Набор технологических и диагностических видеокадров представлен на рабочей станции оператора технолога. Управление осуществляется при помощи трекбола с использованием специальных управляющих окон.

Моделирование рабочей среды оператора-технолога происходит путем автоматической генерации набора видеокадров и управляющих окон специальными программными средствами ЭНИКАД на основе исходных файлов штатных серверов рабочего места оператора ХВО (в формате M1). Для связи с моделью «низовой» автоматики (ТПТС-51) используются промежуточные базы, генерируемые совместно с моделью нижнего уровня АСУТП по дампам базы сервера СВБУ, которые получают с помощью стандартной экспортной процедуры.

Наряду с набором видеокадров штатной системы управления для КТ ХВО разработан дополнительный набор управляющих форматов. Они, помимо оборудования, контролируемого средствами ТПТС-51, позволяют управлять и диагностировать состояние оборудования, контролируемого «по месту» (ручные задвижки и электрифицированные задвижки с управлением от местных щитов). Расширенные управляющие форматы доступны обучающимся – с них осуществляется управление ручной арматурой, при этом управление электрифицированным оборудованием с этих форматов запрещено. При тренировке на тренажере управление ручной арматурой осуществляется технологом либо оператором с компьютера, на котором доступны только расширенные форматы и не доступны форматы СВБУ. Такое решение принято для адекватного моделирования работы оператора-технолога в цехе.

Кроме того, дополнительные управляющие форматы являются основой для построения рабочей станции инструктора, с которой возможен ввод отказов оборудования, параметров, моделирующих нарушение вводно-химического режима, а также дублирующее (независимое от обучаемого) управление всем оборудованием ХВО.

Структура аппаратного комплекса КТ ХВО представлена на рис.5.



### **Рисунок 5. Структурная схема тренажера ХВО.**

Занятия проходят в учебном классе с двумя четырехмониторными АРМ обучаемых, к которым подключены станция инструктора, которая одновременно является моделирующим компьютером, 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.

### **Тренажеры для тепловой энергетики, разработанные на базе платформы ЭНИКАД.**

В последние несколько лет цифровые АСУ ТП широко внедряются и в тепловой энергетике. Причем переход на новые технологии управления осуществляется одновременно с новыми технологиями электрогенерации. Так бинарные парогазовые установки (ПГУ) с использованием котлов-утилизаторов (КУ), на сегодняшний день, являются наиболее перспективными и широко внедряемыми установками в тепловой электроэнергетике. В связи с этим возрастает актуальность средств обучения на новых строящихся и построенных тепловых энергоблоках.

#### **Тренажер энергоблока Сочинской ТЭС.**

Сочинская ТЭС стала одной из первых в России, где для выработки электроэнергии были использованы новые высокоэффективные парогазовые установки (ПГУ) мощностью 39 МВт. Станция была введена в эксплуатацию в декабре 2004 года. АСУ ТП электростанции было разработано и внедрено ЗАО "Интеравтоматика" на базе современного, предполагающего полностью компьютерный способ управления программно-технического комплекса (ПТК) Simatic PCS7 PS фирмы Siemens со специализированным для энергетики программно-алгоритмическим продуктом Power Solution.

Опыт эксплуатации подобных ТЭС и АСУ ТП в России практически отсутствовал, поэтому крайне актуальным для Сочинской ТЭС было создание полномасштабного компьютерного тренажера не только в качестве технического средства для обучения персонала, но и в качестве моделирующего комплекса, позволяющего отлаживать алгоритмы управления и оптимизировать технологические процессы на тренажере, непосредственно в ходе ПНР энергоблока. Сдача такого тренажера в промышленную эксплуатацию была осуществлена фирмами "Интеравтоматика" (разработка модели АСУ ТП), "ЭНИКО ТСО" (разработка моделей физических процессов в технологическом оборудовании и интеграция ПО тренажера), ОАО "ВТИ" (верификация моделей физических процессов), подразделением Industrial Solution & Services фирмы Siemens AG (поставщик инструментальных средств разработки модели АСУ ТП) в сентябре 2006 г.

Ниже приводится краткое описание тренажера Сочинской ТЭС, инструментальных средств, использованных при его разработке, и опыта его внедрения.

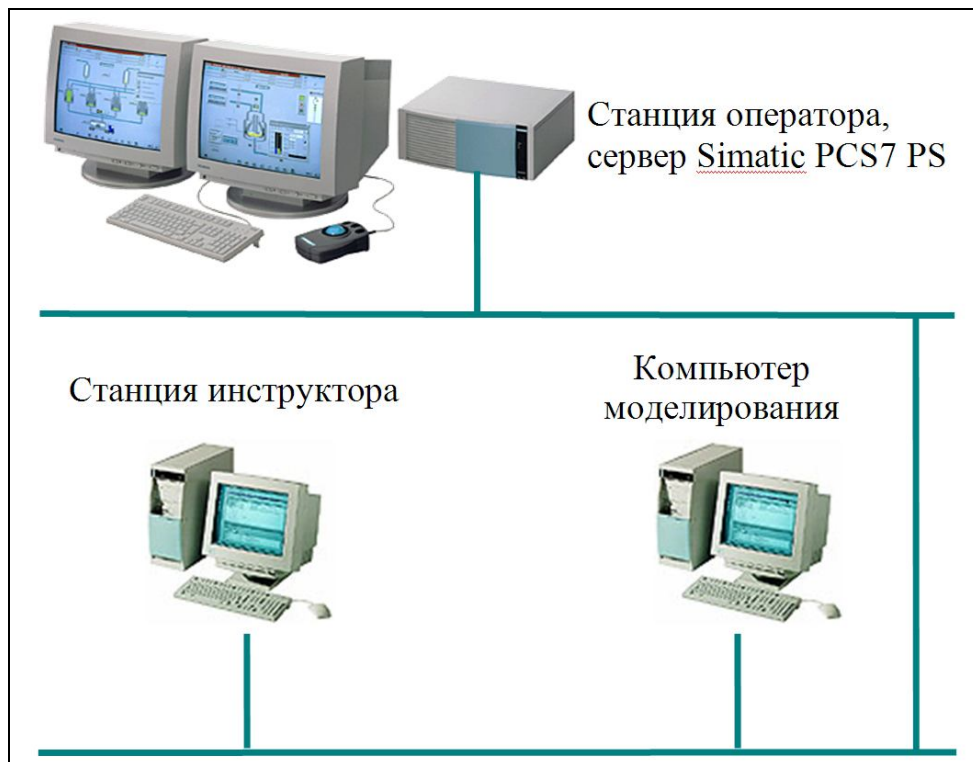
Объектом моделирования являлся энергоблок, состоящий из газовой турбины GT10С фирмы ALSTOM Power Sweden AB с генератором AMS1120 ALSTOM, котла-утилизатора П-103 производства ОАО "ЗиО" и паровой турбины Т-10/11-5,2/0,2 производства ОАО "Калужский турбинный завод" с генератором ТАП-12-2 КУЗ производства ОАО "Электросила".

Основной особенностью тренажера является полная адекватность модели АСУ ТП штатной АСУ ТП на энергоблоке. Это было достигнуто за счет использования для разработки модели АСУ ТП инструментальных средств фирмы Siemens (разработчик средств для реальной АСУ ТП), обеспечивающих разработку модели АСУ ТП полностью адекватной реальному объекту.

Структура аппаратного комплекса тренажера представлена на рис.6. и состоит из трех частей:

1. операторской станции, являющейся стандартной блочной операторской станцией использованной на энергоблоке, что обеспечивает идентичность рабочих мест оператора на блоке и тренажере. Станция оператора совмещена с сервером Simatic PCS7 PS;
2. программного эмулятора контроллера, который работает с блочным проектом АСУ ТП и обеспечивает полное соответствие базового прикладного программного обеспечения тренажера и реальной АСУ ТП;
3. моделирующего компьютера, обеспечивающего в реальном времени расчет модели физических процессов в технологических системах (МФП) энергоблока, разработанной при помощи систем автоматизированного проектирования платформы ЭНИКАД.





**Рисунок 6. Структура аппаратного комплекса тренажера Сочинской ТЭС.**

Обмен данными между функциональными частями тренажера осуществляется по стандарту OPC, так же как и в промышленной АСУ ТП блока.

Число точек контроля и управления, характеризующее объем МФП энергоблока и модели АСУ ТП, характеризуется следующими цифрами:

- аналоговые сигналы - 350;
- дискретные входные сигналы - 280;
- регулирующие клапаны - 34;
- запорная арматура - 118;
- электрические механизмы собственных нужд - 28.

Кроме того, в МФП входит вся арматура с ручным приводом, часть которой выведена на формат инструктора для моделирования неверных действий и ручных операций, связанных с неавтоматизированным управлением.

На тренажере адекватно реализованы следующие основные режимы энергоблока:

1. Подготовка к пуску и пуск энергоблока из любого теплового состояния при заданных внешних условиях.
2. Плановый останов энергоблока без расхолаживания оборудования.
3. Плановый останов энергоблока с расхолаживанием котла-утилизатора, паропроводов и паровой турбины.
4. Аварийный останов энергоблока.
5. Работа энергоблока в регулировочном диапазоне нагрузок (в том числе в теплофикационном режиме) при различных внешних условиях и различном состоянии общестанционных систем.
6. Изменение состава работающего вспомогательного оборудования на энергоблоке, например, подключение теплофикационной установки, отключение насоса и др.
7. Работа энергоблока в нештатных ситуациях, в том числе:
  - отказ любого регулятора;
  - срабатывание любой локальной защиты;
  - резкий сброс нагрузки;
  - нарушение работы узла подпитки конденсатора;
  - нарушение работы конденсатора;
  - нарушение работы любого модуля КУ;
  - нарушение работы основных насосов;
  - нарушение работы любого маслоохладителя ПТ.

Оборудование АСУ ТП моделируется в полном объеме в соответствии с границами

моделирования технологического процесса. И наоборот, МФП энергоблока построена так, что абсолютно все алгоритмы автоматического управления могут быть воспроизведены в тренажере.

МФП энергоблока охватывает основное и вспомогательное тепломеханическое и электрическое оборудование энергоблока в объеме, достаточном для получения навыков управления и анализа ситуаций, возникающих на этом оборудовании. Детализация и объем моделирования определялась как исходя из точности воспроизведения статических и динамических процессов, так и необходимостью обеспечения полноты интерфейса для модели АСУ ТП.

Все элементы оборудования энергоблока, за исключением газотурбинной установки (ГТУ), моделируются в полном объеме. Модель газотурбинной установки, из-за очень малой ее инерционности и высокой надежности (что исключает возможность и необходимость ее регулирования вручную), реализуется в упрощенном виде и представляет собой набор квазистатических зависимостей основных параметров с использованием баланса горения топлива и определяющих работу ГТУ и блока в целом (электрическая мощность ГТУ, расход воздуха, расход топлива, температура газов на выходе ГТУ), базирующихся на алгоритмах управления изготовителя (Alstom). Сами алгоритмы управления реализованы отдельным логико-динамическим модулем.

Модели контроллеров систем автоматического управления газовой и паровой турбин ГТУ, функции которых не входят в блочную АСУ ТП, реализованы в объеме их функциональности и полноты интерфейса с АСУ ТП блока.

При разработке комплексной модели для тренажера блока Сочинской ТЭС были использованы следующие средства разработки:

1. САПР автоматизации платформы ЭНИКАД при реализации моделирования:
  - эмулятора контроллера газовой турбины;
  - эмулятора контроллера паровой турбины;
  - эмулятора логики электрических переключений и защит.
2. САПР теплогидравлики платформы ЭНИКАД при реализации моделирования:
  - оборудования всей тепловой схемы блока за исключением газовой турбины.
3. САПР электрических процессов платформы ЭНИКАД при реализации моделирования:
  - электрического оборудования энергоблоков (генераторы, возбудители, трансформаторы, электродвигатели, оборудование систем собственных нужд).
4. Моделирующий комплекс Simit SCE (SIEMENS) при реализации моделирования:
  - программного эмулятора контроллера, работающего с блочным проектом АСУ ТП;
  - исполнительных механизмов приводов регулирующих клапанов и запорной арматуры;
  - интерфейса рабочего места инструктора тренажера и системных функций управления тренажером (запуск и останов моделирования, загрузка и сохранение состояний).

Платформа ЭНИКАД подробно описана выше, поэтому кратко остановимся на моделирующем комплексе Simit SCE. Объектом моделирования программного комплекса Simit является программируемый логический контроллер – полный аналог реального контроллера, управляющего энергоблоком Сочинской ТЭС, что позволяет даже в процессе наладки АСУ ТП блока иметь на тренажере последнюю версию разработки контроллера. Загрузка полного проекта АСУ ТП в эмулятор занимает порядка 30 минут. В программном комплексе Simit также имеются средства разработки логико-динамических моделей и создания интерфейсных форматов.

В ходе пуско-наладки АСУ ТП блока тренажер наиболее активно использовался для отладки пошаговых программ, в частности, для пошаговых программ разворота блока из холодного состояния. Кроме того, на тренажере оптимизировались видеокadres операторской станции. Отлаженные пошаговые программы и видеокadres автоматически переносились в реальную АСУ ТП энергоблока благодаря свойствам моделирующего комплекса Simit.

Особенно важен был тренажер для тех операторов смены, кто впервые столкнулся с современными автоматическими системами управления блока. На тренажере можно было в спокойной обстановке, не боясь вывести из строя оборудование попробовать осуществить любые режимы и переключения, получить навыки управления АСУ ТП, наглядно посмотреть принципы работы технологических систем, «почувствовать» блок задолго до его пуска.

Тренажер позволил персоналу Сочинской ТЭС своевременно отработать навыки управления и изучить различные режимы работы нового энергоблока, в том числе и те, никогда ими ранее не встречались на реальном объекте, в частности, режимы подключения теплофикационного отбора и работы в теплофикационном режиме (теплофикационное оборудование на момент пуска блока не

было введено в эксплуатацию).

Разработчиком АСУ ТП блока на тренажере было проведено обучение персонала цеха АСУ ТП в рамках программы ввода систем автоматического управления в эксплуатацию.

Внедрение полномасштабного тренажера позволило персоналу ТЭС не только отработать навыки управления, но и детально изучать особенности протекания различных переходных режимов энергоблока. Так, например, в процессе наладки режимов управления паровой турбины происходило срабатывание защит по расходу в циркуляционном контуре высокого давления. Суть явления заключалась в том, что при относительно высокой скорости открытия регулирующих клапанов паровой турбины, происходил провал давления в барабане и циркуляционном контуре высокого давления, из-за чего и возникал срыв насосов. Тренажер позволил операторам детально изучить этот режим.

В заключении следует особо подчеркнуть, что описанная выше технология разработки тренажера блока Сочинской ТЭС позволяет создавать инженерные полномасштабные тренажеры до ввода самого блока в эксплуатацию, что особенно важно для новых типов энергоблоков, опыт эксплуатации которых отсутствует, как в смысле подготовки персонала, так и в смысле инженерной поддержки пуско-наладочных работ.

Кроме того, в составе платформы ЭНИКАД, как отмечалось выше, имеется аналогичный по своим функциональным возможностям Simit SCE (SIEMENS) моделирующий комплекс для АСУ ТП на базе средств ТПТС (Teleperm ME), выпускаемых в России по лицензии фирмы SIEMENS и широко применяемых при создании АСУ ТП как в тепловой, так и атомной энергетике. Это позволяет создавать тренажеры, аналогичные вышеописанному, и для тепловых энергоблоков с АСУ ТП на базе средств ТПТС.

### **Тренажер энергоблока №3 ТЭЦ-27 ОАО «МОСЭНЕРГО».**

В полной мере ситуация с новыми технологиями электрогенерации и АСУ ТП относится к энергоблоку №3 ТЭЦ-27 ОАО «МОСЭНЕРГО». Тренажер этого энергоблока был разработан совместно ЭНИКО ТСО (разработка моделей физических процессов в технологических системах) и ЗАО «Интеравтоматика» (моделирование систем АСУ ТП) и сдан в промышленную эксплуатацию в июне 2008 г.

Объектом моделирования являлся энергоблок №3 ТЭЦ-27 ОАО «МОСЭНЕРГО» (ПГУ - 450Т), включающий две газотурбинные установки типа ГТЭ-160 с генераторами типа ТЗФГ-160-2МУЗ, два вертикальных двухконтурных котла-утилизатора типа П-107, одна паровая теплофикационная турбоустановка типа Т-150-7,5 с генератором типа ТЗФП-160-2МУЗ, вспомогательное общецлочное оборудование, автоматизированная система управления технологическими процессами на базе ПТК SPPA-T3000 фирмы SIEMENS. АСУ ТП энергоблока разработано и внедрено ЗАО «Интеравтоматика».

Программно-технический комплекс (ПТК) SPPA-T3000 является новейшей разработкой фирмы Siemens, представляет собой дальнейшее развитие широко распространенных ПТК TELEPERM ME, TELEPERM XP, TELEPERM XP-R и энергетической версии программного обеспечения SIMATIC PCS7 PC. Контроллерный уровень выполнен на базе аппаратуры фирмы Siemens SIMATIC S7. Система управления газовой турбины реализована на базе быстрого модуля FM 458 SPPA-T3000.

Объем контроля и управления, характеризующий объем модели блока и АСУТП:

1. Аналоговые сигналы ..... 1 188
2. Дискретные сигналы ..... 628
3. Регулирующие клапаны ..... 55
4. Запорная арматура ..... 360
5. Регуляторы с аналоговым выходом ..... 14
6. Механизмы собственных нужд ..... 42

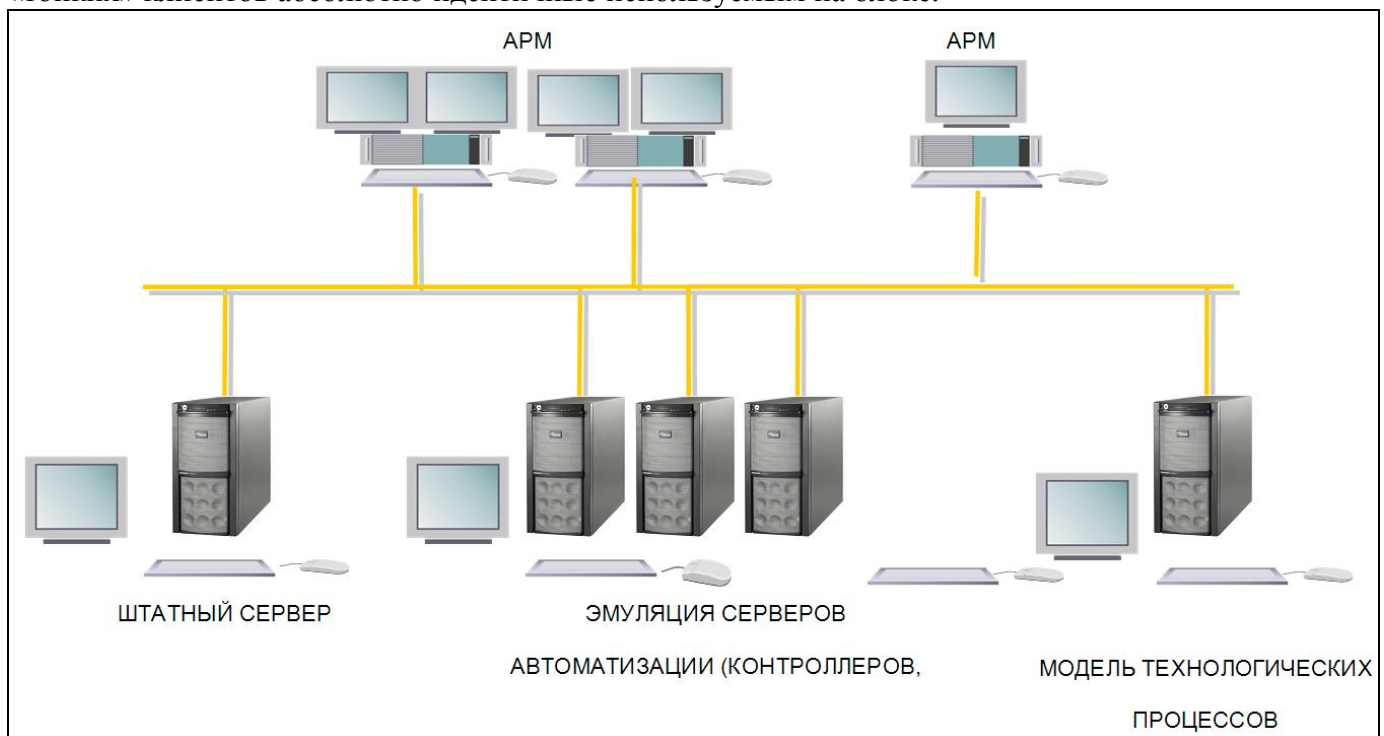
Объект моделирования функционально можно разделить на две подсистемы:

1. основное и вспомогательное оборудование энергоблока;
2. автоматизированная система управления технологическими процессами.

Основной особенностью этого тренажера является то, что модель АСУ ТП, разработанная специалистами ЗАО «Интеравтоматика», максимально приближена к реальной АСУ ТП как по верхнему (уровню сетевого обмена и операторского интерфейса), так и по нижнему (контроллерному) уровням. В связи с чем, задачей модели технологических процессов являлось

обеспечение моделирования во всех режимах работы блока показаний абсолютно всех датчиков, необходимых для обеспечения работы АСУ ТП и адекватное восприятие этой моделью всех управляющих воздействий, формируемых АСУ ТП.

Структура аппаратного комплекса тренажера представлена на рис.7. Верхний уровень АСУ ТП тренажера полностью идентичен верхнему уровню АСУ ТП энергоблока. На тренажере были установлены сервер приложений SPPA-T3000 и две двухэкранные операторские станции на базе «тонких» клиентов абсолютно идентичные используемым на блоке.



**Рисунок 7. Структурно-функциональная схема тренажера.**

Структура серверов автоматизации с устройствами ввода-вывода повторена на тренажере в виде программной эмуляции физических устройств. Общее количество серверов автоматизации в тренажере – девять.

Модель быстрого контура управления газовых и паровой турбин была выполнена на стороне модели технологического объекта, разработанной средствами платформы ЭНИКАД.

Программно эмулированные входы-выходы устройств связи с объектом «общаются» с моделями датчиков и исполнительных механизмов. Обмен данными между технологической моделью и моделью АСУ ТП осуществляется по OPC протоколу.

Системы АСУ ТП моделируются в полном объеме в соответствии с границами моделирования технологического процесса реального блока. Т.е. в модель АСУ ТП полностью вошли системы управления блочных систем и часть алгоритмов управления общестанционным оборудованием для «замыкания» блочных технологических операций. В частности, это касается станционного коллектора пара собственных нужд и блока насосов сетевой воды 1-й ступени. Вторым фактором для определения границ моделирования было требование Заказчика, чтобы на видеокдрах управления, вошедших в состав тренажера не было «мертвых» элементов. Работа общестанционных систем, не вошедших в объем моделирования, имитируется изменением граничных условий.

Объем модели технологических процессов выбран так, чтобы все алгоритмы автоматического управления могли быть воспроизведены в тренажере.

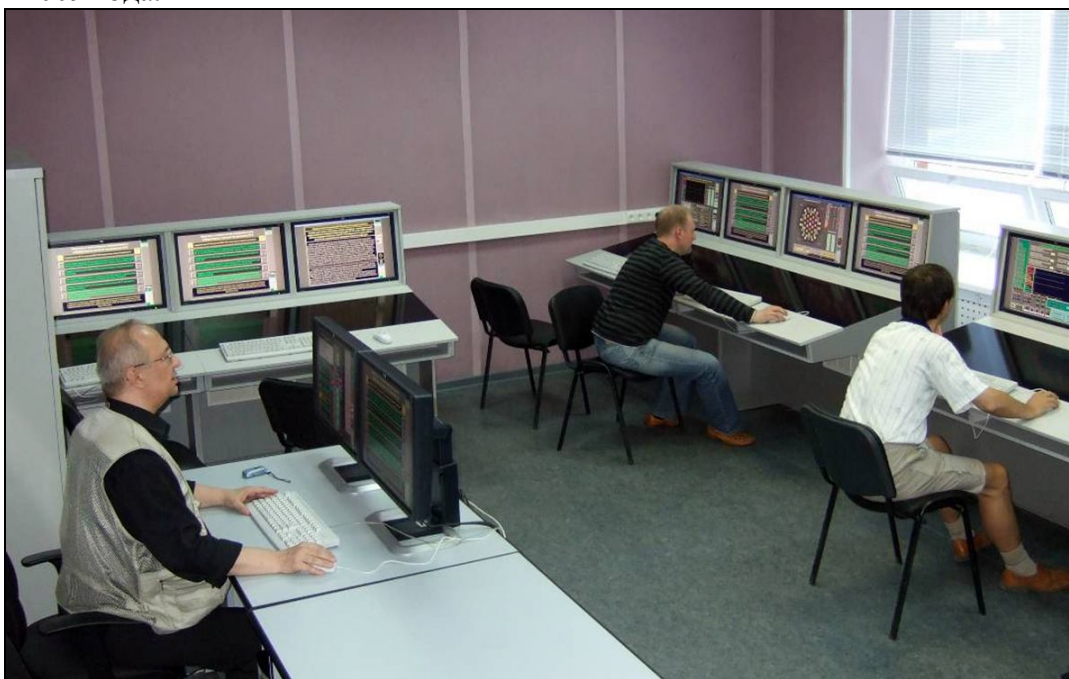
Высокая адекватность модели технологических процессов, разработанной на базе платформы ЭНИКАД, позволила ЗАО «Интеравтоматика» на ТЭЦ-27 впервые в России опробовать алгоритмы логического управления и регулирования на тренажере, до первых пусков объекта. Наличие тренажера позволило провести предварительную наладку таких ключевых алгоритмов, как пошаговые программы пуска (останова) маслосистемы газовых турбин, системы подачи газового и дизельного топлива, системы подавления выброса оксидов азота и программы пуска (останова) газовых турбин в целом. Также была проведена проверка программы автоматического выбора резерва сливных насосов сетевых подогревателей, испробованы различные схемы регулирования уровня в барабанах высокого и низкого давления котлов-утилизаторов и многое другое. Опробование алгоритмов на тренажере, перед их внедрением на блоке позволило

заранее проверять и, в случае необходимости, корректировать алгоритмы управления, что значительно сокращает время пуско-наладочных работ на блоке.

### **Многофункциональный анализатор режимов АЭС с ВВЭР-1000.**

На базе платформы ЭНИКАД в 2000 году была завершена разработка многофункционального анализатора режимов реакторного отделения (МФА-РО) для 2-го энергоблока Калининской АЭС с ВВЭР-1000, относящегося к блокам предыдущего поколения. В период с 2000 по 2007 год с использованием МФА-РО по приглашению МАГАТЭ (в рамках ежегодной конференции по разработке и использованию реакторных тренажеров повышенной сложности в учебных целях, г.Триест, Италия) сотрудниками кафедры «Автоматика» проводились лекционные занятия в Международном Научном Центре теоретической физики им. Абдуса Салама с представителями учебных заведений и исследовательских институтов различных стран мира (свыше 20 стран-участников) по теме: Технологические и физические особенности АЭС с реакторами ВВЭР-1000. Указанный курс лекций получил отличные отзывы слушателей и высокую оценку МАГАТЭ.

В 2005 году МФА-РО был адаптирован для 1-го и 3-го энергоблоков Калининской АЭС и использовался в цикле занятий, проводимых сотрудниками кафедры «Автоматика» МИФИ с представителями ОЯБ и старшим оперативным персоналом АЭС в 2005-2006 годах. Занятия проводились по темам: «Физические особенности активных зон 1,2,3 энергоблоков» и «Вопросы безопасной эксплуатации оборудования АЭС с ВВЭР-1000». В 2007г. МФА-РО был модернизирован под 2-й блок Волгодонской АЭС и установлен в отделе ядерной безопасности этой АЭС. В 2009 г. была осуществлена еще одна модернизация МФА-РО, после чего на его основе на кафедре «Автоматика» МИФИ была создана специализированная лаборатория «Системы управления и защиты ядерных энергетических установок», общий вид которой представлен на рис.8. С использованием модернизированного МФА-РО были подготовлены для студентов старших курсов МИФИ лабораторные практические занятия по теме: «Динамика СУЗ в ЯЭУ с ВВЭР». Занятия начались с мая 2009 года.



**Рисунок 8. Лаборатория МИФИ «Системы управления и защиты ядерных энергетических установок».**

МФА-РО является типичным примером современного многофункционального моделирующего комплекса, поэтому рассмотрим его возможности более подробно.

МФА-РО создан и функционирует на базе платформы ЭНИКАД и может быть использован для информационной и расчетной поддержки эксплуатации в отделе ядерной безопасности АЭС, для подготовки персонала по должностям отдела ядерной безопасности, оперативным должностям реакторного цеха и блочного щита управления, а также для подготовки студентов соответствующих специальностей в ВУЗе.

В целях повышения эффективности процесса обучения в МФА-РО предусмотрена возможность объединения по сети нескольких рабочих станций обучаемых с рабочей станцией инструктора в один дисплейный класс. Инструктор со своей станции может незаметно для

обучаемого контролировать его действия и вводить различные отказы. Это дает возможность одному инструктору проводить тренажерные занятия с целым классом обучаемых, каждый из которых выполняет свой индивидуальный набор учебных задач, выбранных для него из банка заранее подготовленных учебных задач.

Не останавливаясь на типовых для тренажеров на базе ЭНИКАД компонентах МФА-РО, описанных выше рассмотрим две основные его компоненты, обладающие целым рядом специфических особенностей:

- моделирующая система;
- графический интерфейс модели;

Моделирующая система МФА-РО имеет следующие функциональные характеристики:

- обладает необходимой информационной полнотой, т.е. обеспечивает расчет всех параметров, необходимых для анализа режимов основного оборудования реакторного отделения и его вспомогательных систем, управления системами, а также восприятие этих управлений моделью. Общее число моделируемых в МФА-РО параметров – 98405, моделируемых датчиков КИП - 872, единиц арматуры – 353, регуляторов – 56;
- обладает достаточной статической (на уровне приборных погрешностей энергоблока) и динамической точностью для инженерной поддержки эксплуатации энергоблока, прогнозирования эксплуатационных характеристик оборудования 1-го и 2-го контура, применения в учебных целях в ВУЗе и в системе профессиональной подготовки в УТП АЭС;
- обеспечивает расчет в реальном времени всех параметров, необходимых для тестирования АСУ ТП энергоблока;
- обеспечивает необходимые сервисные функции - "старт", "стоп", "откат", "рестарт" процесса и т.д.;
- имеет модульную структуру для облегчения разработки, отладки и настройки модели, а также ее дальнейшей модификации и сопровождения;
- воспроизводит широкий спектр режимов нормальной эксплуатации, режимов с нарушением условий нормальной эксплуатации и тяжелых аварийных режимов, в том числе всех предусмотренных проектом технического обоснования безопасности АЭС, включая максимальную проектную аварию с разрывом главного циркуляционного контура.

Графический интерфейс обеспечивает взаимодействие пользователя с моделью и исполняющей системой для:

- отображения состояния моделируемого в рамках МФА-РО оборудования;
- управления моделями оборудования АЭС в реальном масштабе времени при выполнении инженерных и учебных задач;
- управления ходом выполнения инженерных и учебных задач;
- управления состоянием МФА-РО.

Взаимодействие пользователя с моделью осуществляется через экранные форматы, воспроизводящие технологические схемы систем и содержащие органы управления, "чувствительные" к воздействию "мыши". Общее количество форматов в МФА РО – 48. Примеры экранных форматов МФА-РО приведены на рис.9. Состав экранных форматов и их вид может быть изменен заказчиком без участия разработчика.

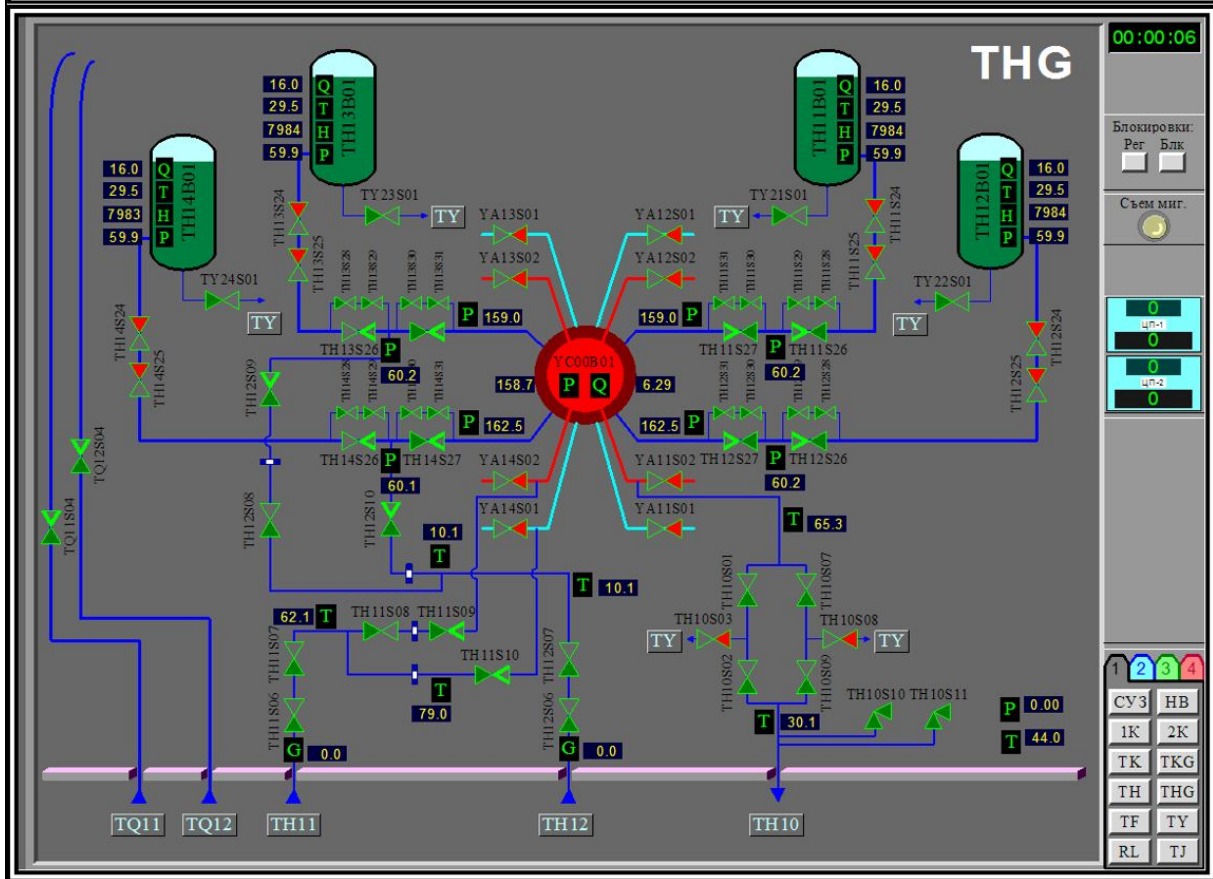
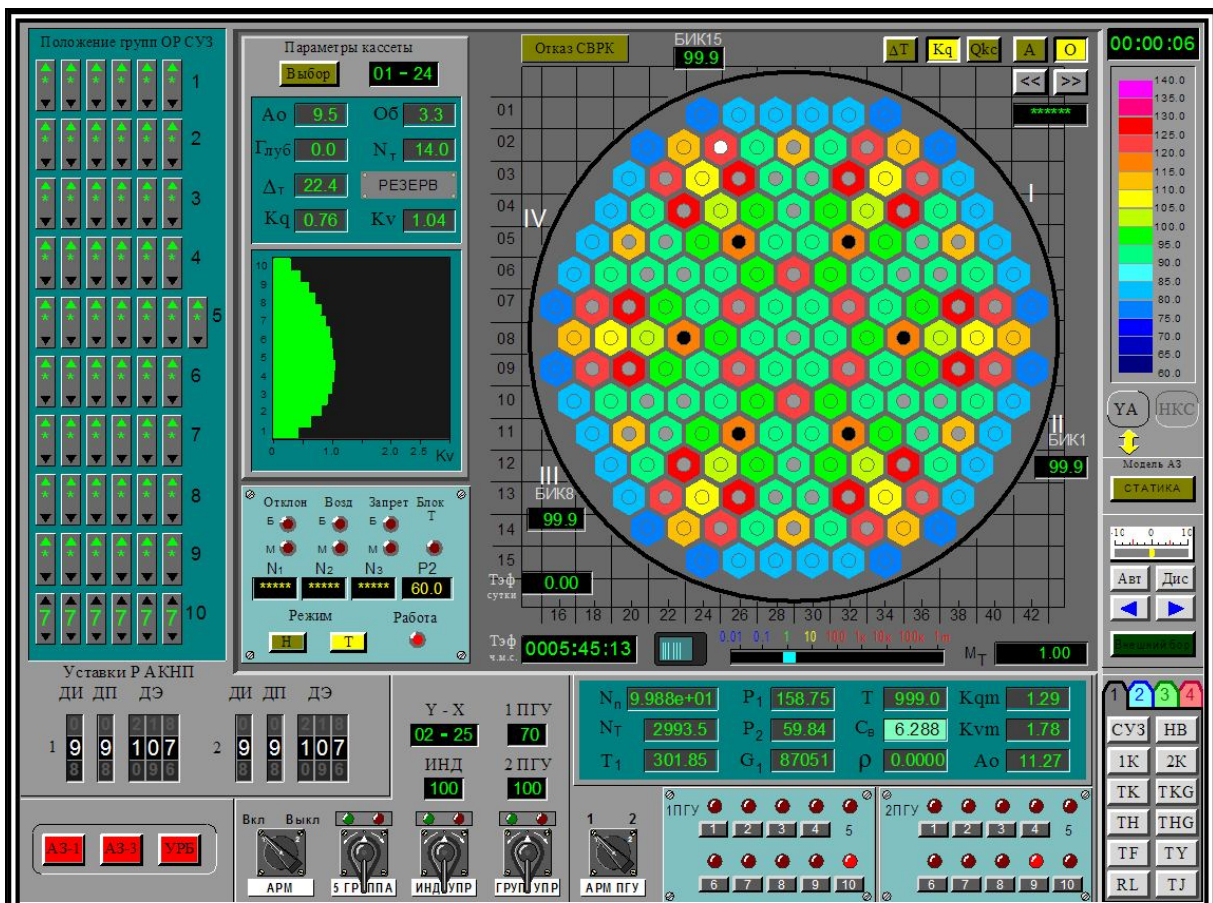
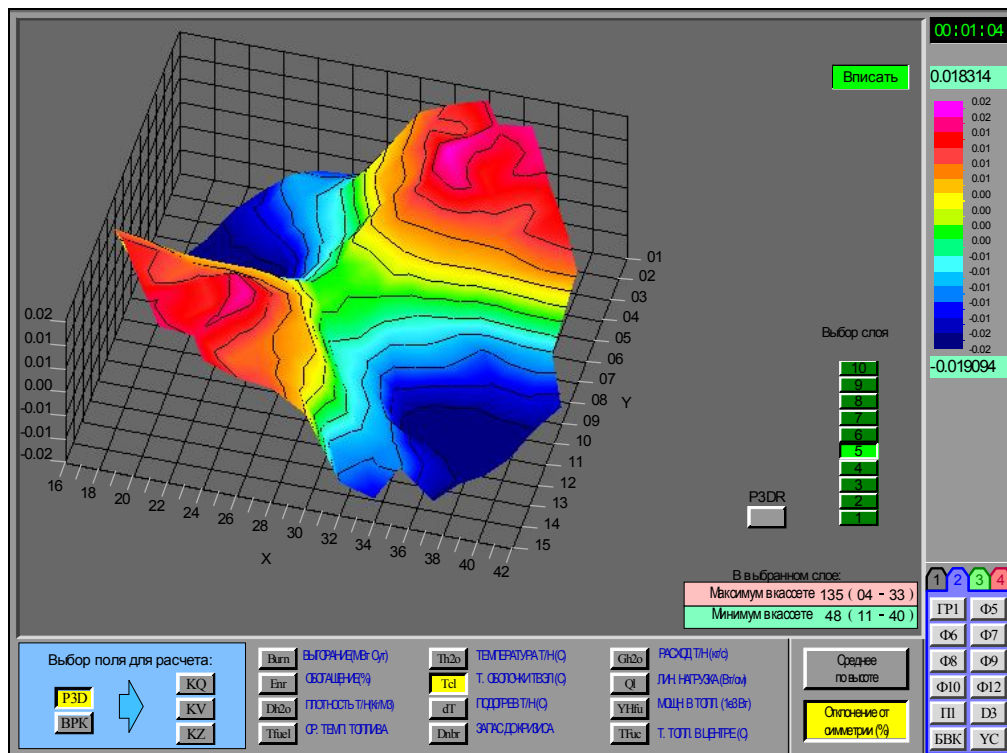


Рисунок 9. Примеры форматов МФА РО.

Особую важность при изучении процессов в активной зоне представляет понимание законов изменения различных пространственных полей в зоне и их взаимосвязь. Для облегчения этого процесса в рамках МФА-РО предусматривается визуализация двумерных и трехмерных распределений параметров поля цветом и в цифровом выражении на картограммах различного вида. Пример такой визуализации приведен на рис.10.



**Рисунок 10. Трехмерный график распределения расчетных параметров внутри активной зоны реактора.**

В МФА-РО имеется возможность выполнения следующих типов задач:

- инженерные задачи эксплуатационного сопровождения и прогнозирования параметров блоков АЭС;
- учебные задачи (контрольные задачи и задачи со свободным сценарием).

При решении инженерных задач пользователь может выбрать исходное состояние энергоблока из банка состояний, если требуется, изменить его, и реализовывать любой свободный сценарий управления без каких-либо ограничений.

В ходе выполнения учебных задач (при использовании МФА-РО в ВУЗе и УТП АЭС) обучаемый должен выполнить действия, направленные на достижение цели, определенной во "вводной" к УЗ. Выполнение задачи осложняется различными, заранее неизвестными обучаемому отказами оборудования, вводимыми автоматически по подготовленному заранее сценарию незаметно для обучаемого. В этом режиме ведется протоколирование технологических параметров, действий обучаемого и их автоматизированная оценка.

Занятие обучаемого сводится к выполнению в любом порядке списка УЗ, определенных для него инструктором. При этом непосредственное участие инструктора при выполнении обучаемым УЗ не требуется: МФА-РО автоматически "ведет" обучаемого. Такое решение позволяет небольшому числу инструкторов эффективно вести обучение больших групп обучаемых.

В рамках МФА также предусмотрено выполнение и УЗ со свободным сценарием, в ходе выполнения которых пользователь сам может вводить необходимые отказы. Такой режим позволяет обучаемому использовать МФА-РО в ходе самообучения, а инструктору – в ходе чтения лекций для демонстрации отдельных режимов и явлений.

В рамках МФА-РО предусмотрена возможность автоматизированного использования реальных данных о состоянии активной зоны от штатной системы централизованного контроля базового энергоблока для получения исходных состояний модели МФА-РО.

С момента, когда были написаны первые строки программного кода ЭНИКАД, прошло более 15 лет. За это время комплекс прошёл путь взросления, шлифовки вы ходе реальных проектов. В итоге удалось создать лицензионно чистый российскую платформу для эффективной разработки обладающих высокой степенью адекватности комплексных полномасштабных моделей СТОУ, не уступающую по своим возможностям аналогичным платформам ведущих западных фирм, но ориентированную, в отличие от последних, на наиболее распространенные в мире персональные компьютеры на базе процессоров Intel с операционной системой WINDOWS, что обеспечивает легкость освоения и распространения платформы ЭНИКАД.

Разработчики ЭНИКАД и сегодня не стоят на месте, активно совершенствуя эту платформы в



ходе крупномасштабных проектов создания по созданию полномасштабных комплексных моделей для тренажеров и тестирования проектов АСУ ТП атомных энергоблоков (Ростов-2, Калинин-4, НВАЭС-2, ЛАЭС-2) в интересах главного конструктора АСУ ТП АЭС России, возглавляющего кафедру «Автоматика» возрождающегося МИФИ, ставшего национальным ядерным университетом нацеленным на подготовку специалистов Госкорпорации «Росатом».