

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ АСУТП

А.В. Голубев, А.Н. Никоноров, И.К. Муравьев (ФГБОУВО ИГЭУ им. В.И. Ленина)

Рассмотрены подходы к организации взаимодействия модели объекта управления и управляющего комплекса в учебно-исследовательских АСУТП. Приводятся результаты разработки учебно-исследовательских АСУТП, в которых удалось реализовать взаимодействие программно-технических комплексов (ПТК) АСУТП и систем моделирования путем применения виртуальных контроллеров, средств моделирования в составе ПТК, ОРС-технологий. Показаны особенности реализации указанных подходов на примерах отечественных ПТК на базе учебно-исследовательского комплекса «Полигон АСУТП электростанций».

Ключевые слова: учебно-исследовательская АСУТП, контроллер, программно-технический комплекс, модель объекта, система имитационного моделирования.

Введение

Одним из путей решения проблем, возникающих при проектировании и эксплуатации современных многофункциональных АСУТП на базе ПТК, является использование полигонов АСУТП. Полигоны АСУТП позволяют обрабатывать сложные алгоритмы управления еще на ранних стадиях проектирования технологического оборудования и системы управления, а также проводить обучение и тренировки специалистов по разработке, наладке и эксплуатации автоматизированных систем управления [1-3].

Основная отличительная особенность полигона заключается в возможности выполнения на нем всех основных работ по сквозному проектированию, наладке и вводу АСУТП в действие, а также реализации всех функций обучающих и тренажерных комплексов

с имитационными моделями технологического оборудования, работающими в режиме реального времени.

На базе полигона АСУТП можно создавать учебно-исследовательские АСУТП технологических объектов, которые отличаются от основного (промышленного) прототипа тем, что имеют меньший информационный масштаб (объем моделируемого технологического оборудования и исполнительных устройств) и меньший объем реализуемых функций управления (рис. 1) [4, 5].

Учебно-исследовательские АСУТП позволяют изучать и разрабатывать локальные системы управления технологическими объектами на базе современных ПТК и качественно улучшать учебный процесс подготовки и переподготовки специалистов, а также выполнять научные исследования, направленные на совершенствование алгоритмов автоматического управления технологическим оборудованием и повышение качества функционирования АСУТП.

Такая система получается легко масштабируемой. Выбор масштаба, полноты охвата системой моделируемого оборудования и функций управления, определяется задачами, решаемыми конкретной учебно-исследовательской АСУТП. При этом подсистема управления реализует все задачи АСУТП (контроль и архивацию параметров, технологическую сигнализацию, технологические защиты и блокировки, автоматическое регулирование, функционально-групповое управление) максимально приближенно к реальной АСУТП технологического объекта.

Одной из главных проблем разработки учебно-исследовательских АСУТП является организация взаимодействия модели объекта и управляющего комплекса (показано цветом на рис. 1). Выделим четыре основных подхода к решению этой проблемы (рис. 2).

При отсутствии в ПТК специализированных средств по разработке имитационных моделей и развитых современных средств информационного обмена со сторонними системами возможна реализация модели объекта управления непосредственно в контроллерах ПТК (рис. 2а) [6]. Данный способ очень ограничен по точности и масштабу реализации моделей объекта, так как вычислительные мощности контроллеров ПТК существенно уступают вычислительным возможностям компьютеров рабочих станций. Стоимость системы

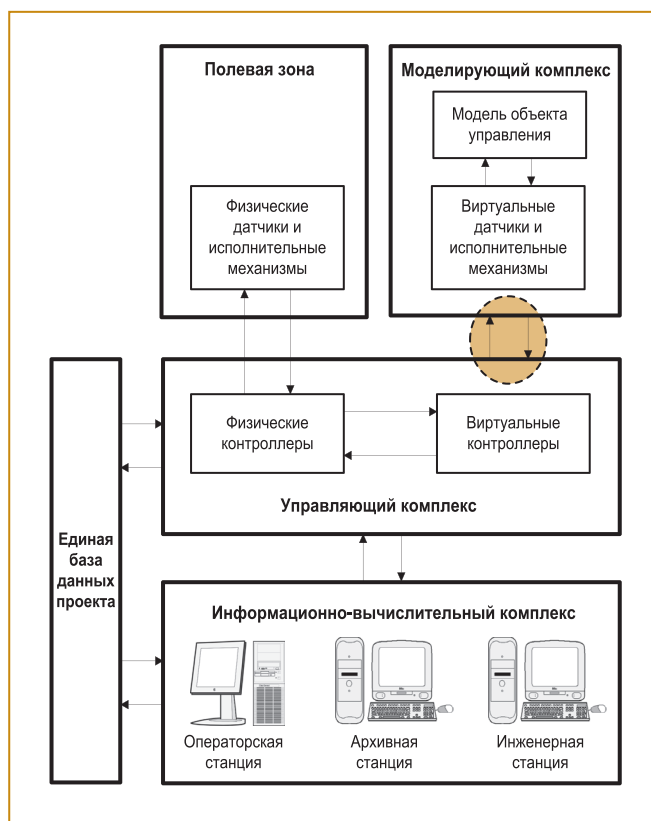


Рис. 1. Обобщенная структура учебно-исследовательской АСУТП

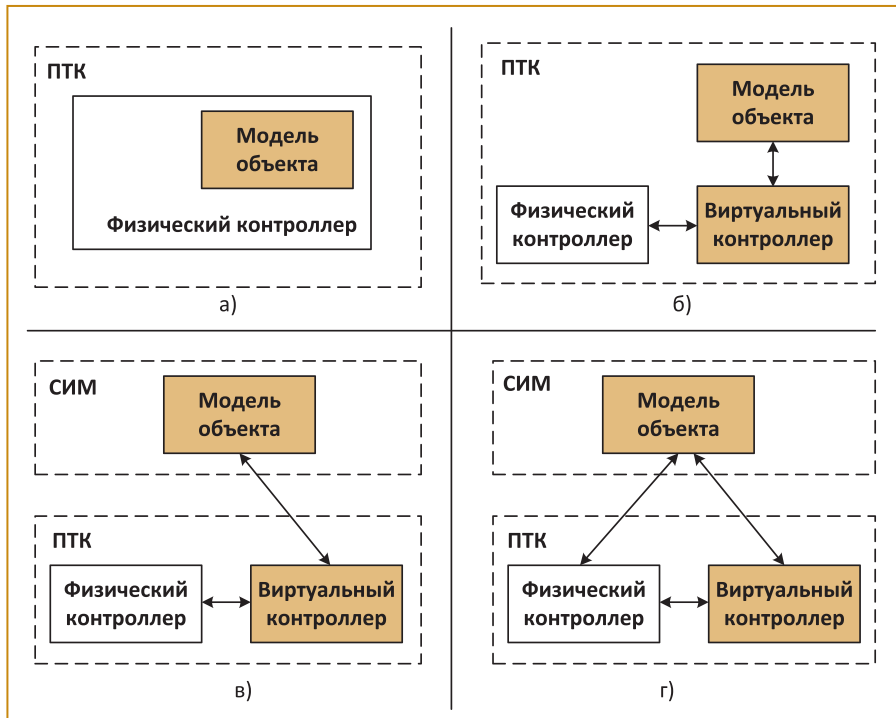


Рис. 2. Варианты организации взаимодействия модели объекта и управляющего комплекса: ПТК – программно-технический комплекс; СИМ – система имитационного моделирования

также значительно возрастает, поскольку требуются дополнительные контроллеры, которые будут решать задачу расчета модели объекта.

В зависимости от степени развития средств моделирования в составе ПТК и средств информационного обмена возможны следующие варианты реализации подсистемы модели: с помощью инструментальных средств моделирования, входящих в состав ПТК (рис. 2б); во внешней системе имитационного моделирования (СИМ) с обменом сигналами через виртуальный контроллер (рис. 2в); во внешней системе имитационного моделирования с непосредственным взаимодействием с физическими и виртуальными контроллерами (рис. 2г).

В целом учебно-исследовательские АСУТП энергоблоков ТЭС с интеграцией моделей в среду ПТК позволяют разрабатывать и изучать системы управления технологическими объектами на базе современных ПТК с сетевой иерархической структурой и качественно улучшать учебный процесс подготовки и переподготовки специалистов энергетических предприятий, а также выполнять научные исследования, направленные на совершенствование алгоритмов автоматического управления технологическим оборудованием и повышение качества функционирования АСУТП объектов энергетики [1, 3-5].

Особенности моделирования в АСУТП с применением виртуальных контроллеров

Развитие технологий программирования, особенно кроссплатформенной разработки, позволило ряду производителей ПТК АСУТП на основе реального

программного ядра контроллера создавать так называемые виртуальные контроллеры, которые можно запускать на компьютерах под стандартной операционной системой. При этом виртуальный контроллер по сетевым каналам и информационному обмену полностью совместим с реальным контроллером ПТК, то есть информационно-вычислительный комплекс ПТК АСУТП не видит разницы между реальным и виртуальным контроллером [7-10].

Среди первых отечественных разработчиков виртуальных контроллеров отметим «Научно-исследовательский институт теплоэнергетического приборостроения» (НИИТеплоприбор). Созданный институтом виртуальный контроллер входил в состав ПТК «Квинт». Возможности технологии виртуализации и ее развитие при

создании АСУТП на базе имитационных средств моделирования в составе ПТК «Квинт» отражены в ряде научных работ [11-13].

Рассмотрим особенности разработки учебно-исследовательской версии АСУТП с применением виртуальных контроллеров на примере ПТК «Квинт» в лаборатории «Полигон АСУТП электростанций». Структура взаимодействия модели с ПТК АСУТП представлена на рис. 3.

Комплекс состоит из модели объекта управления, модели контроллеров, реальных контроллеров и реальных рабочих станций ПТК. На отдельных компьютерах запущена модель ПТК АСУТП, состоящая из одного или несколько приложений «Виртуальный контроллер», эмулирующих контроллеры ПТК, а также менеджер виртуальных контроллеров для их запуска и настройки. На компьютере модели технологического объекта управления (ТОУ) запущено приложение «Система моделирования», эмулирующая технологический объект управления. Связь модели ПТК (виртуальных контроллеров) и модели ТОУ реализуется через динамическую библиотеку «Виртуальная проводка». Масштаб системы моделирования в целом ограничен только мощностями компьютеров модели ПТК и модели ТОУ. Компьютеры рабочих станций ПТК «Квинт» содержат программное обеспечение «Квинтегратор» (SCADA-систему) – набор приложений для проектирования, наладки и оперативной работы АСУТП. Пунктирными стрелками на рис. 3 показан информационный обмен между данными подсистемами по сети Ethernet.

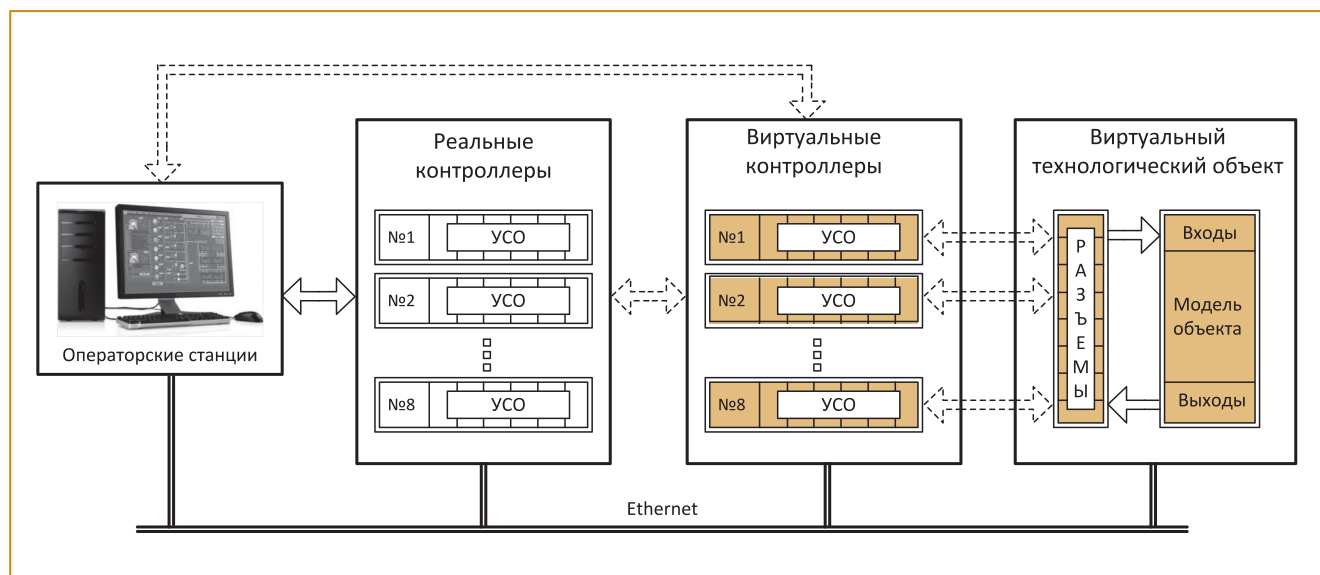


Рис. 3. Схема взаимодействия ПТК и модели объекта управления

Далее представим состав программных продуктов для моделирования и порядок привязки произвольной модели объекта к виртуальным контроллерам на примере ПТК «Квинт» [13].

Виртуальный контроллер — является приложением и эмулирует реальный контроллер ПТК «Квинт» (с интерфейсом Ethernet) в реальном масштабе времени. Виртуальный контроллер собран из программных модулей реального контроллера и адекватен ему в части выполнения технологической программы и сетевого обмена, но вместо реальных устройств связи с объектами (УСО) виртуальный контроллер обеспечивает связь с моделью ТОУ. Рабочие станции ПТК «Квинт» взаимодействуют с виртуальным контроллером так же, как с реальным контроллером. Запуск и настройка виртуальных контроллеров на компьютере выполняется с помощью приложения-менеджера. При запуске каждому контроллеру задаются: сетевой адрес, период цикла выполнения технологической программы и номер сетевого адаптера.

Число приложений виртуальных контроллеров, которые можно одновременно запустить на одном компьютере, зависит от производительности компьютера, размера и сложности технологических программ в контроллерах. Ограничением является лишь возрастающий период цикла. Виртуальные контроллеры могут работать на одном компьютере с рабочими станциями ПТК «Квинт» и даже с моделью технологического объекта управления.

Виртуальная проводка (Проводка) — это интерфейс между виртуальными контроллерами и моделью технологического объекта управления, который эмулирует проводные связи между алгоритмами УСО контроллера и виртуальными разъемами сопряжения с объектом. Причем разъемы уже считаются принадлежностью объекта и входят в модель ТОУ. Посредством Проводки любой аналоговый, дискретный,

импульсный или частотный сигнал может быть передан из модели ТОУ в виртуальный контроллер и обратно.

Проводка поддерживается протоколом NetBEUI и обеспечивает асинхронный обмен сообщениями с сигналами. При этом периоды «прохода» технологических программ в контроллере и модели объекта могут быть различными и находятся в диапазоне 55...220 мс. Величина большего из них определяет период посылки сообщений с сигналами в любую сторону.

Проводка организуется как на стороне контроллера, так и на стороне модели ТОУ. На стороне модели ТОУ Проводку представляет динамическая библиотека Wire. Библиотека Wire написана на C++ Builder 3.0 и реализована как набор функций без объединения их в класс C++. Это позволяет использовать его в других средах программирования, таких как Delphi, Visual C, Pascal и др.

Проводка создает в модели ТОУ виртуальные разъемы и обеспечивает их связь с соответствующими алгоритмами УСО в виртуальных контроллерах. Задание паспорта разъемов настраивает их на определенный тип УСО и эмулирует вставку реальных модулей УСО в каркасы контроллеров.

По паспорту разъема Проводка определяет направление передачи сигналов. Если разъем принадлежит УСО ввода: аналого-цифровой преобразователь (АЦП), дискретно-цифровой преобразователь (ДЦП), импульсно-цифровой преобразователь (ИЦП), то Проводка передает сигналы от него контроллеру, а если УСО вывода: цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), цифро-дискретный преобразователь (ЦДП), цифро-импульсный преобразователь (ЦИП), то Проводка принимает сигналы от контроллера в разъем. Если разъем назначен двустороннему УСО типа ДВВ (дискретный ввод/вывод), то Проводка обеспечивает прием сигналов контроллера

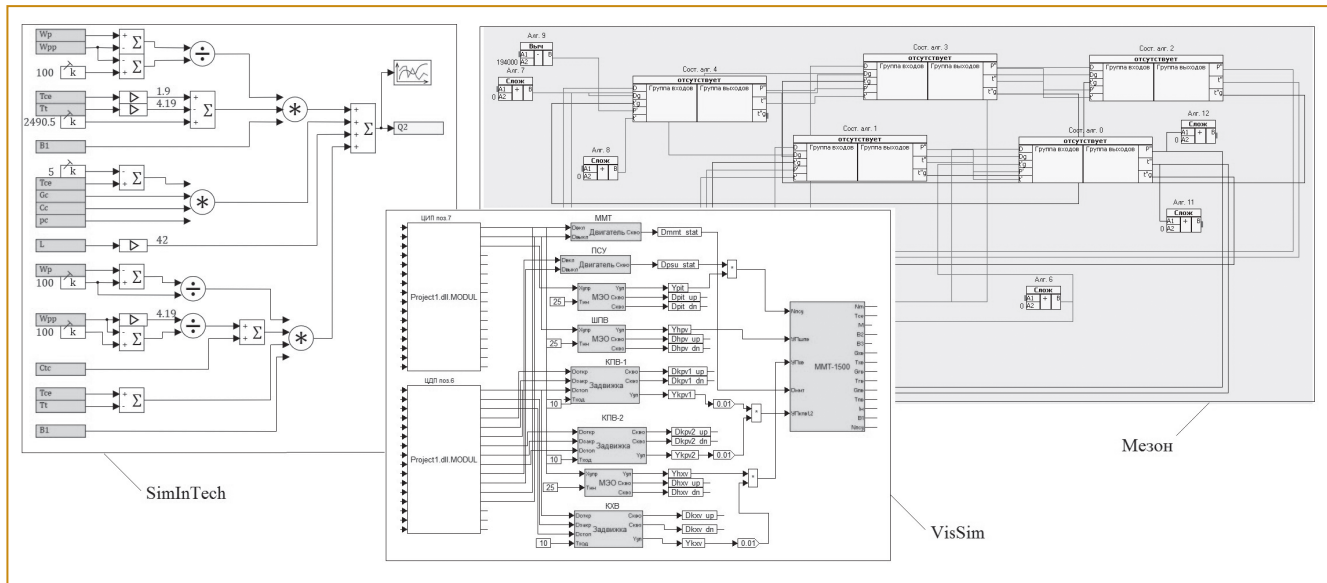


Рис. 4. Фрагменты реализаций моделей ТОУ в системах имитационного моделирования

в начало разьема и передчу остальных сигналов разьема контроллеру.

Модель технологического объекта управления – может быть реализована в любой системе имитационного моделирования (VisSim, SimInTech и др.) (рис. 4), позволяющей подключать или интегрировать внешние программные библиотеки.

Для реализации учебно-исследовательских АСУТП на виртуальном контроллере ПТК «Квинт» используется система моделирования VisSim. В основу математической модели были положены законы неравновесной термодинамики в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих физические законы сохранения массы, количества движения и энергии. В разработанную модель ТОУ были интегрированы модули управления и связи с виртуальными контроллерами ПТК «Квинт». Были реализованы блоки имитации модулей УСО (АЦП, ДЦП, ИЦП, ЦАП, ЦДП, ЦИП) для взаимодействия (передачи и приема) с виртуальными контроллерами.

Например, при реализации учебно-исследовательской АСУТП котла ТПЕ-208, в состав которой входит модель молотковой мельницы ММТ-1500, использовано свыше 1450 блоков для реализации вычислительных расчетов. Для решения систем дифференциальных уравнений выбран метод Эйлера с постоянным шагом интегрирования (0,011 с.). При реализации подсистемы управления в проекте задействовано следующее число виртуальных модулей устройств связи с объектом: АЦП – 6 ед. (задействовано 64 входных канала); ДЦП – 2 ед. (задействовано 26 входных каналов); ЦИП – 2 ед. (задействовано шесть выходных каналов); ЦДП – 2 ед. (задействовано 22 выходных канала).

Более подробно вопрос реализации динамических моделей сложных теплоэнергетических объектов рассмотрен в статьях [1, 4, 5, 14].

Особенности моделирования в АСУТП с использованием систем моделирования в составе ПТК

Новым подходом к интеграции модели и системы управления технологическим объектом в рамках учебно-исследовательской АСУТП является функционирование модели в единой информационной среде ПТК.

Рассмотрим особенности разработки учебно-исследовательской АСУТП энергоблока ПГУ-325 с применением встроенных систем моделирования в составе ПТК на примере отечественного ПТК «Квинт СИ». Имитационная модель энергоблока ПГУ-325 [14] была реализована во встроенной системе имитационного моделирования «Мезон». Здесь же в системе «Мезон» осуществляется организация ввода/вывода сигналов от модели ТОУ к подсистеме управления через модельные блоки УСО и виртуального контроллера (рис. 5). Таким образом, взаимодействие между подсистемой модели и подсистемой управления организовано на уровне информационного обмена между контроллерами управления и виртуальными контроллерами модели.

Информационный объем учебно-исследовательской АСУТП энергоблока ПГУ-325 характеризуется следующими показателями [4]:

- при реализации имитационной модели ПГУ-325 в системе «Мезон» используются 151 макроблок с общим числом алгоблоков 957 ед.;
- при реализации подсистемы управления в проекте задействовано следующее число виртуальных модулей УСО: АЦП – 11 ед., ДЦП – 4 ед., ЦИП – 3 ед., ЦДП – 1 ед.

Все моделируемые средства АСУТП (датчики, регулирующие клапаны, задвижки, насосы, аналоговые и импульсные регуляторы и т.д.) занесены в базу данных АСУТП. Работа с базой данных осуществляется

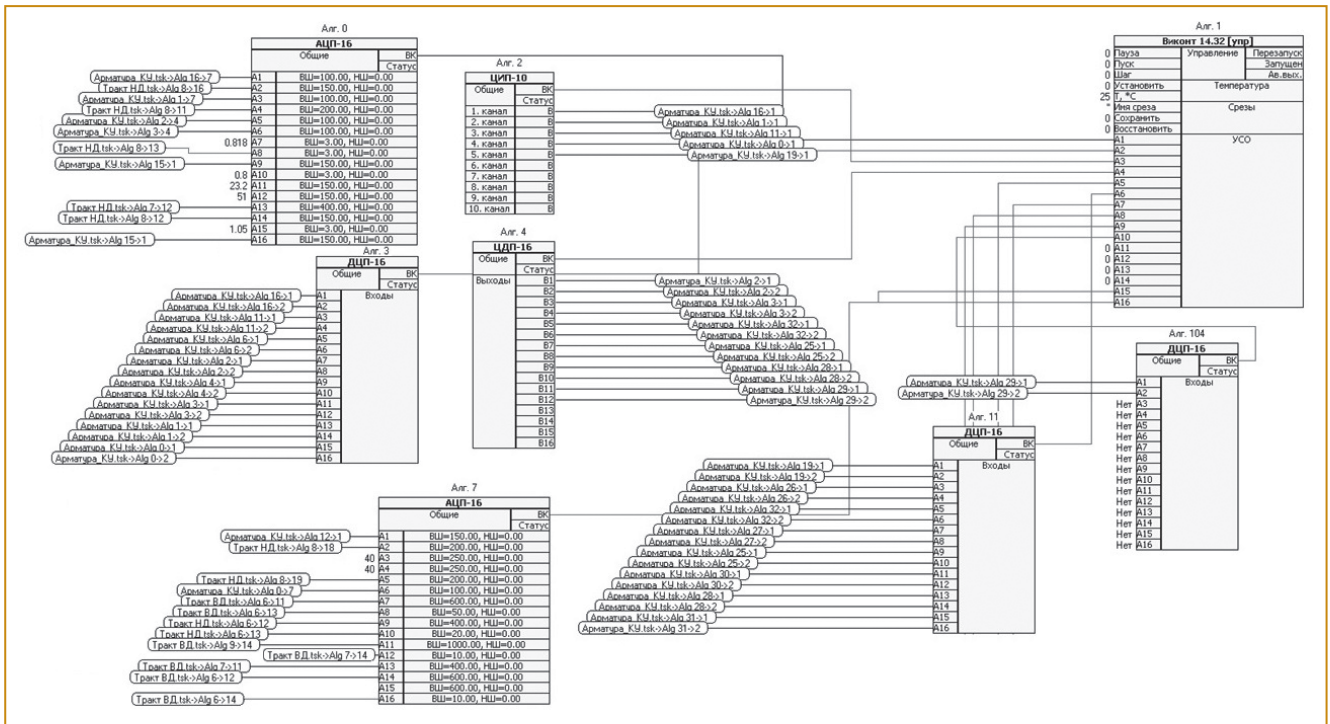


Рис. 5. Фрагмент реализации виртуального контроллера в системе «Мезон»

с помощью приложения «Аркада», которое входит в состав ПТК «Квинт СИ».

Алгоритмы решения основных задач управления реализованы в системе технологического программирования контроллеров «Пилон» на языке FBD (Function Block Diagram), представляющем собой совокупность последовательно выполняемых функциональных блоков. Графический интерфейс учебно-исследовательской АСУТП разработан с помощью системы «Графит», входящей в состав ПТК «Квинт СИ».

Поскольку имитационная модель объекта реализована в той же среде, что и управляющая система, то отдельной процедуры запуска модели и инициализации ее связи с управляющей системой не требуется. Сигналы от модели, имитирующие технологические параметры от датчиков, заводятся на виртуальные контроллеры ПТК «Квинт СИ». На реальные (физические) контроллеры заводятся сигналы от реальных исполнительных механизмов (регулирующий клапан, задвижка, электродвигатели). Загрузка технологических программ в реальные и виртуальные контроллеры может быть выполнена непосредственно из системы «Пилон».

Отладка работы учебно-исследовательских АСУТП проводилась на базе учебно-исследовательского комплекса «Полигон АСУТП электростанций» [3-5, 13-15].

Особенности моделирования в АСУТП с использованием OPC

Наиболее перспективным подходом к реализации взаимодействия модели ТОУ и средств ПТК АСУТП видится в использовании OPC (Open Platform

Communications, ранее OLE for Process Control) протокола – набора программных технологий, которые предоставляют единый интерфейс для управления различными устройствами и обмена данными.

Структурная схема учебно-исследовательской АСУТП при реализации такого подхода представлена на рис. 6. Разработанная структура максимально приближена к реальной АСУТП. Использование OPC-сервера позволяет создавать более гибкое взаимодействие подсистем между собой. Подход позволяет соединить не только виртуальные контроллеры и модель ТОУ, но и подключить реальные контроллеры, датчики и исполнительные механизмы в структуру учебно-исследовательской АСУТП. Основным требованием, позволяющим реализацию данного подхода, является наличие поддержки протокола OPC в ПТК и в системе имитационного моделирования.

Рассмотрим особенности учебно-исследовательской версии АСУТП котла ТПЕ-208, разработанной с использованием SCADA-системы MasterScada и системы имитационного моделирования SimInTech. При разработке были решены следующие задачи.

1. Выполнен анализ котлоагрегата, декомпозиция его на элементы, реализация математической и имитационной модели ТОУ в среде моделирования SimInTech. Создана имитационная модель ПТК с реализацией всех основных алгоритмов АСУТП. Модель ТОУ и модель ПТК как отдельные проекты имеют индивидуальные настройки моделирования и шаги расчета.

2. Выполнена интеграция OPC-сервера для обмена данными между имитационными моделями ТОУ,

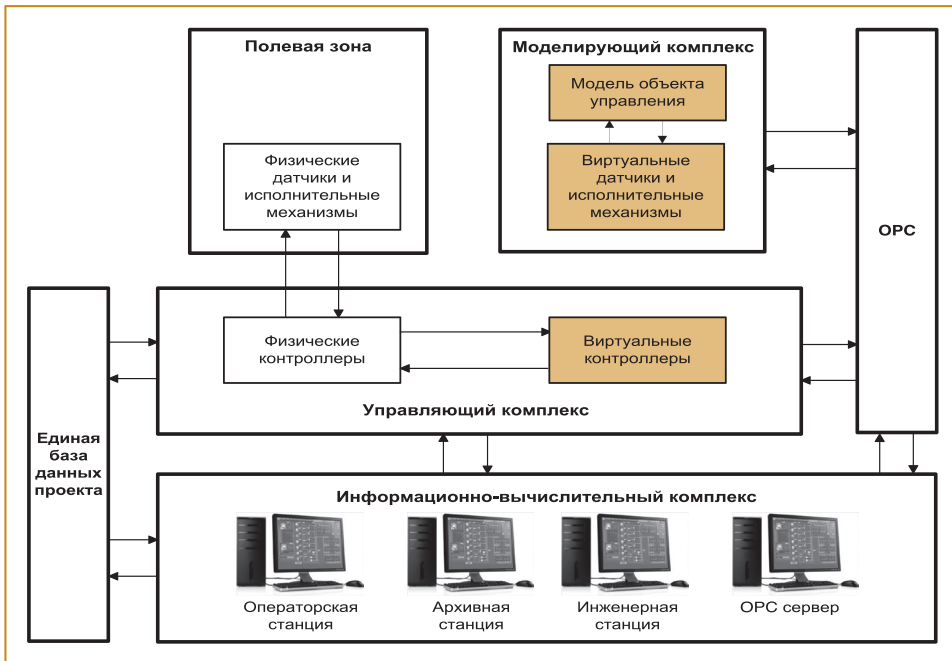


Рис. 6. Структура учебно-исследовательской АСУТП

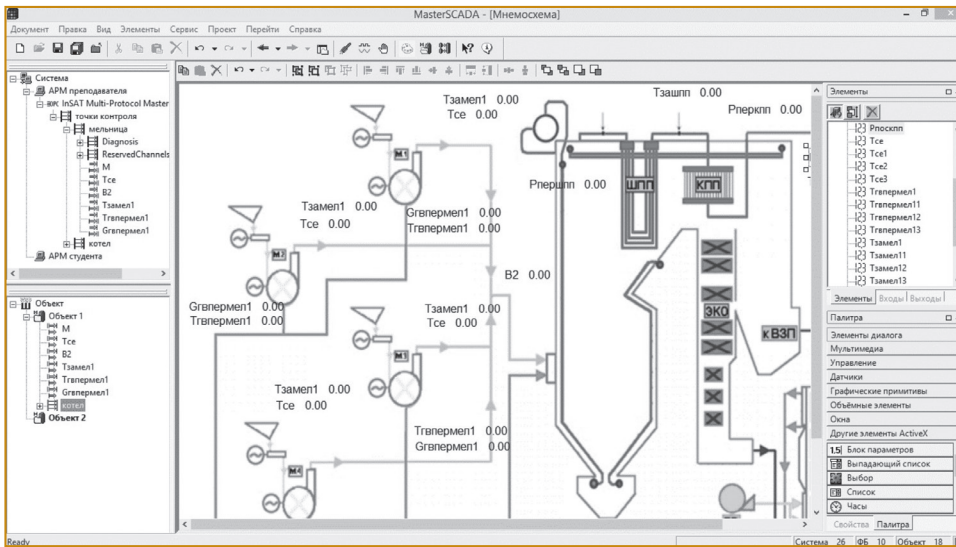


Рис. 7. Фрагмент мнемосхемы котла ТПЕ-208

ПТК и SCADA-системой. Определены основные параметры системы управления, произведена конфигурация тэгов (сигналов, передаваемых в SCADA-систему), разработана база данных сигналов, обеспечивающих синхронизированный обмен информацией.

3. Выполнена разработка человеко-машинного интерфейса в MasterScada, загружены тэги из OPC-сервера, выполнена конфигурация БД АСУТП, созданы мнемосхемы для управления технологическим объектом.

4. Проведено тестирование и отладка проекта учебно-исследовательской версии АСУТП.

В качестве OPC-сервера использован Multi-Protocol Master OPC Server. Определены основные параметры системы управления, произведена конфигурация тэгов (сигналов, передаваемых в SCADA-систему). Период

опроса должен соответствовать требованию к АСУТП < 500 мс и совпадать с периодом опроса в SimInTech.

Учебно-исследовательская версия максимально приближена к реальной АСУТП – все автоматизированные рабочие места (АРМ) функционируют на отдельных компьютерах и взаимодействуют между собой по локальной вычислительной сети Ethernet. Модели датчиков и исполнительных механизмов также реализованы на отдельном компьютере. Обмен данными между имитационными моделями и SCADA-системой осуществляется через OPC-сервер.

Одной из задач, решаемых при реализации учебно-исследовательской АСУТП, являлась необходимость разделения рабочих мест инструктора и обучаемого. Для этого были добавлены OPC-узлы для сервера инструктора и обучаемого, при этом сервер инструктора имеет расширенную функциональность и конфигурацию по управлению системой.

Пример человеко-машинного интерфейса мнемосхемы котла ТПЕ-208 и молотковых мельниц ММТ-1500 представлен на рис. 7.

Выводы

Рассмотренные в статье конкретные примеры учебно-исследовательских АСУТП энергоблоков с присущими им особенностями реализации активно используются в образовательной и научной деятельности при решении учебных и научно-исследовательских задач, что позволяет качественно улучшать учебный процесс подготовки и переподготовки специалистов для энергетических предприятий.

1. Имитационные модели технологического оборудования, работающие в режиме реального времени, находят широкое применение в обучающих и тренажерных комплексах, в частности, в учебно-исследовательских АСУТП, которые являются копиями промышленных прототипов и строятся на

базе ПТК. Одной из главных проблем, решаемых при создании учебно-исследовательской АСУТП, является интеграция модели объекта управления в информационно-техническую среду ПТК.

Показаны основные подходы к организации взаимодействия модели объекта и ПТК. При этом каждый из подходов позволяет обеспечить выполнение всех основных функций контроллеров и рабочих станций при реализации задач управления максимально приближенно к реальному прототипу АСУТП.

2. Разработаны учебно-исследовательские АСУТП, в которых удалось реализовать различные подходы по взаимодействию ПТК и подсистемы моделирования: с применением виртуальных контроллеров, с использованием средств моделирования в составе ПТК, с применением ОРС-технологий.

Подход с применением ОРС-технологий в учебно-исследовательских АСУТП выглядит наиболее перспективным, так как позволяет организовать прямое взаимодействие модели объекта управления не только с виртуальными контроллерами, но и с реальными контроллерами, датчиками и исполнительными механизмами.

Кроме того, интеграция имитационных моделей с применением ОРС-технологий позволяет расширить область применения средств моделирования и использовать их не только для обучения специалистов, но и для решения задач АСУТП по оптимизации и повышению эффективности работы энергетического оборудования.

Список литературы

1. Теория и технология систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн.1. Проблемы и задачи. Кн.2. Проектирование. Кн.3. Моделирование / Под общей ред. Ю.С. Тверского; ФГБОУ ВПО «ИГЭУ им. В.И. Ленина». Иваново, 2013.
2. *Marcano L., Haugen F., Sannerud R., Kotulainen T.* Review of simulator training practices for industrial operators: How can individual simulator training be enabled? // *Safety Science*. – Vol.115, June 2019, P. 414-424.
3. *Тверской Ю.С., Целищев Е.С., Голубев А.В., Никоноров А.Н., Муравьев И.К.* Опыт и особенности инновационной подготовки специалистов по автоматизации на полигоне АСУТП электростанций // *Автоматизация в промышленности*. – 2019. – №9. – С. 14-20.
4. *Муравьев И.К., Никоноров А.Н., Маршалов Е.Д., Муравьева Т.Е.* Разработка учебно-исследовательской АСУТП энергоблока с парогазовой установкой // *Автоматизация в промышленности*. – 2021. – №2. – С. 39-44.
5. *Tverskoy Yu.S., Tselishchev E.S., Golubev A.V., Muravev I.K., Nikonorov A.N.* Experience and features of innovative training of specialists in the field of automation at the proving ground of power plant APCS // *The Third Conference “Problems of Thermal Physics and Power Engineering” (PTPPE-2020)*. IOP Journal of Physics: Conf. Series 1683 (2020) 042058.
6. *Таламанов С.А., Голубев А.В., Харитонов И.Е.* Разработка на стенде ПТК “Квинт” демонстрационной версии системы автоматизации котлоагрегата ТГМП-114 энергоблока 300 МВт // *Состояние и перспективы развития электротехнологий (IX Бенардосовские чтения)*. Тр. междунар. научн.-техн. конф. – 1999. – С. 79.
7. *Барашкин Р.Л., Горелов В.В., Калашиников П.К., Попадько В.Е., Южанин В.В.* Алгоритм взаимодействия программ имитационного моделирования и систем управления технологическими процессами // *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. – 2015. – №10. – С. 35-39.
8. *Андрянов И.Н.* Цифровые двойники и эмуляторы контроллеров // *Автоматизация в промышленности*. – 2020. – №9. – С. 24-27.
9. *Konstantinos Mykoniatis, Gregory A. Harris.* A digital twin emulator of a modular production system using a data-driven hybrid modeling and simulation approach // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 32(1), October 2021.
10. *Попадько В.Е., Барашкин Р.Л., Калашиников П.К., Данилов Д.К.* Разработка учебного программно-технического комплекса для исследования алгоритмов автоматической настройки регуляторов // *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. – 2021. – №8. – С. 63-68.
11. *Davydov N.I.* Experience in developing automatic process control systems on the basis of the Kvint firmware system // *Thermal engineering*. – 1996. – Vol. 12 (43). – pp. 1006-1009.
12. *Вировец М.А., Яганов Р.М.* Реализация и развитие технологии виртуализации при создании АСУТП на базе имитационных средств моделирования в составе ПТК “Квинт” // *Приборы*. – 2012. – №10. – С. 30-37.
13. *Голубев А.В.* Особенности отладки и испытаний алгоритмов управления нестационарными режимами работы энергоблоков // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. – 2010. – №4. – С. 69-71.
14. *Муравьев И.К., Тверской Ю.С.* Исследование на математической модели эффективности совместной работы газовой и паровой турбин энергоблока с ПГУ // *Автоматизация в промышленности*. – 2016. – №1. – С.53-57.
15. *Голубев А.В., Ершов В.Е., Сердобинцев С.П.* Оптимизация работы оборудования электростанций с применением генетического алгоритма // *Автоматизация в промышленности*. – 2020. – № 10. – С. 59-64.

Голубев Антон Владимирович — канд. техн. наук, доцент,
Никоноров Андрей Николаевич — канд. техн. наук, доцент,
Муравьев Игорь Константинович — канд. техн. наук, доцент,
 ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».
 Контактный телефон: (4932) 26-97-57.
 E-mail: kafs@su.ispu.ru