

СОСТОЯНИЕ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ЕГО ПОВЫШЕНИЕ

И.В. Прангишвили, А.А. Амбарцумян, А.Г. Полетыкин, Г.Г. Гребенюк, И.Б. Ядыкин

Анализируется состояние систем автоматизации различного уровня в энергетике, отмечаются негативные тенденции их развития в последние годы. Описывается опыт ИПУ РАН по внедрению конкретных систем автоматизации процессов разного уровня для предприятий энергетики. Приводятся новые теоретические результаты по перспективным методам управления поточными технологическими процессами и предлагаются решения по созданию инструментальной системы нового поколения, направленные на существенное повышение уровня автоматизации технологических процессов и, тем самым, на повышение эффективности энергетического хозяйства страны.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние и уровень (степень) автоматизации систем управления в энергетике национального хозяйства России целесообразно рассматривать в соответствии с принятой структуризацией предприятий энергетического комплекса: генерирующие (источники), транспортные и преобразующие (системы передачи энергии) и энергопотребляющие (бытовые и промышленные системы).

Несмотря на различия в технологических процессах, характерных для этих предприятий, и принадлежность к различным отраслям (электроэнергетике и коммунальному хозяйству), имеются общие негативные тенденции в состоянии этих производств, вызванные в значительной степени недостаточным уровнем автоматизации систем управления. Рассмотрим эти тенденции.

Снижение эффективности. Для генерирующих предприятий имеет место традиционно низкий КПД. Наиболее сложными и наукоемкими объектами являются источники электрической и тепловой энергии. Для них характерен большой разброс в экономичности использования энергии топлива. Так, анализ, выполненный ИПУ РАН для Москвы, пока-

зал, что КПД различных ТЭЦ колеблется в пределах 63...86%. В то же время автономные теплоэлектростанции с газопоршневыми энергетическими агрегатами, широко распространенные за рубежом, позволяют получить существенно более высокий (около 90%) КПД переработки топлива в электрическую и тепловую энергии. Коэффициент полезного действия РТС, занятых производством только тепловой энергии, составляет 80...94%. Средний КПД мелких котельных равен 77%.

Эти цифры указывают на важность принципов и технологий производства энергии, но не меньший вклад в эффективность и безопасность этих производств вносят принципы управления, например, применение регулируемых асинхронных приводов для управления расходом теплоносителя. До сих пор на ТЭЦ, АЭС и в котельных применяется, в основном, управление с постоянным расходом теплоносителя, и при необходимости изменения мощности осуществляется неэкономичное «байпасирование» или режимы с неэффективными характеристиками.

В системах передачи энергии снижается оперативность и растут потери. Одно из слабых мест в системе централизованного теплоснабжения — тепловые сети, где теряется

большое количество тепла, а при ремонте поглощается значительная доля всех расходов. Основная причина повреждения трубопроводов — наружная коррозия из-за некачественной тепловой изоляции и отсутствия эффективной гидроизоляции. Помимо недолговечности трубопроводов, тепловые потери отечественных сетей трубопроводов составляют приблизительно 15...20% (для сравнения — в Европе этот показатель составляет 2...4%). Высокие тепловые потери обусловлены, с одной стороны, неэффективной изоляцией стальных труб, с другой стороны, низким уровнем диагностики их состояния.

Высок уровень утечек на трассах. Для сокращения утечек теплоносителя необходимо диагностировать состояние тепловых сетей различными методами, включая метод инфракрасной аэрофотосъемки и др.

На энергопотребляющих предприятиях широко распространены системы отопления и горячего водоснабжения с прямой подачей нагретой воды потребителю (зависимые системы). Анализ работы зависимых и независимых ЦТП показывает большое преимущество последних вследствие возможности регулирования тепловой энергии, подаваемой потребителям. Предварительные расчеты показывают, что переход на

независимую схему позволяет сэкономить 10...15% энергии.

Рост стоимости продукции и услуг. Рост цен на электроэнергию и особенно тепла общеизвестен. Но, кроме всего прочего, и себестоимость продукции энергопредприятий резко возросла. Качество ведения технологических процессов из-за высоких нагрузок на оперативный персонал и несоблюдения регламентов ведет к издержкам топлива, вследствие чего при цене на газ в РФ 17 долл. США за 1000 м³ (а в Германии 170 долл.) мы имеем примерно одинаковую с Германией отпускную цену электроэнергии от ТЭЦ в европейской части страны. Росту стоимости в значительной мере способствует отсутствие развитых систем учета электроэнергии и тепла, так как без приборов нельзя контролировать потери энергии и оценивать эффективность энергосберегающих мероприятий в городе. Источники тепловой энергии и большая часть ЦТП (~80%) оборудованы приборами учета, но только около 7% строений (потребителей) оснащены измерителями. Все новостройки оснащаются подомовыми и поквартирными узлами учета тепла и воды.

Износ основных фондов и их моральное старение, особенно в части систем автоматизации. Подавляющее число энергоблоков в России построены до катастрофы реформ (до 1990-х гг.). Нормативные сроки эксплуатации основного оборудования около 20–30 лет, а компьютерных систем 5–8 лет, но поскольку последние 12 лет практически ничего не обновлялось, то на действующих энергоблоках можно встретить СМ-2, СМ-4, М6000, УКТС и т. п. — технику СССР разработки 1970-х гг. по западным прототипам 1960-х гг. Даже по Москве, при нормативном сроке эксплуатации 25 лет, выработано 400 км тепловых сетей Мосэнерго.

Рост численности обслуживающего персонала в энергосистемах. Численность обслуживающего персонала Мосэнерго в 1992 г. — 37 тыс. чел., в 2002 г. — 47 тыс. чел.

В основе перечисленных негативных тенденций, как и всяких сложных явлений, лежит совокупность факторов. Однако, по мнению многих экспертов и результатов анализа действующих систем, существующий уровень автоматизации энергетических объектов недостаточен для эффективного управления и

функционирования этих объектов, несмотря на большое разнообразие отечественных и зарубежных технических средств, пригодных для обеспечения любого уровня автоматизации. Проблема заключается в консервативных (во многом отсталых, но привычных для пользователей) идеологии и методах управления процессами и объектами, принятых в проектных и эксплуатирующих организациях.

В чем причины стагнации в развитии систем автоматизации энергетических объектов? Перечислим важнейшие из них.

Отсталая методологическая и нормативная база системотехники и проектных работ. Эффективность управления технологическими процессами в энергетике определяется степенью (уровнем) автоматизации решения основных управленческих задач:

- управление параметрами материальных потоков (расходом топлива, температурой, расходом и давлением теплоносителя, параметрами пара и др.);
- управление конфигурацией материальных потоков (структурой потоков).

В действующих и создаваемых АСУТП наблюдается дисбаланс уровня научно-методологического обеспечения и уровня автоматизации решения этих двух групп задач.

Задачи управления параметрами потоков решаются на основе принципа управления с обратной связью по отклонению с использованием континуальных моделей динамики параметров потока. Эти модели известны, хорошо изучены и описаны во многих монографиях и учебниках, они лежат в основе конструкции оборудования, на их базе разрабатываются и настраиваются многочисленные регуляторы, защиты, блокировки и измерительные каналы, входящие в АСУТП.

Вторая группа задач — *управление конфигурацией потоков* — это целенаправленное изменение состава активных элементов объекта и связей между ними и, тем самым, *управление структурой потоков* с целью перевода объекта в качественно новое состояние. Управление конфигурацией применяется при пусках и остановах объекта, при маневрировании мощностью (производительностью), при профилактике, техническом обслуживании, ремонтах, реконструкции. Эти задачи слабо формализо-

ваны и в системе управления лишь частично представляются событиями, параметрами и командами. Управление структурой потока по сути логическое и, в принципе, должно решаться методами функционально-группового управления на основе «жесткой схемы» конечно-автоматных моделей. Однако в практике создания АСУТП в энергетике (например, в проектах АСУТП АЭС с реакторами ВВЭР-1000) разработчики отказались от функционально-группового управления. Это вызвано тем, что технологические алгоритмы, заложенные в проекте, не совпадают с реальными процессами в действующем объекте даже при незначительных отклонениях в конструкции поставленного оборудования. Другими словами, управление по схеме жестких алгоритмов, заложенных в проекте, несовместимо с изменяющейся на сооружаемом объекте технологией. В силу этого, основные этапы выполнения задач смены конфигурации потоков закрепляются в регламенте, должностных инструкциях и неформальных действиях персонала с помощью ДУ каждым исполнительным механизмом индивидуально. Тем самым в АСУТП закладывается чрезвычайно низкий уровень автоматизации управления. Управление структурой потока может решаться на основе развитых схем использования конечно-автоматных моделей (схем с обратной связью). Однако методическая база применения развитых схем применения конечно-автоматных моделей в практике проектирования не сформирована (хотя в ИПУ РАН имеются теоретические результаты, позволяющие значительно повысить уровень автоматизации).

Сформулированная проблема проявляется в практике проектирования в *отсутствии качественной нормативной и методической базы*, опирающейся на результаты фундаментальных исследований в области автоматизации. Как результат — отсутствие единой научно-обоснованной политики, которой могли бы придерживаться разработчики современных АСУТП энергоблоков.

Лоскутный характер систем автоматизации различного уровня. Отсутствие системотехнической и методологической основы интеграции систем автоматизации. К сожалению, развилась практика создания АСУТП «по прототипу», суть которой в перело-



жении функций «прототипа» на новые технические средства и программное обеспечение. Понятно, что при этом функциональные возможности АСУТП остаются на прежнем уровне и, как правило, ограничиваются контролем отдельных параметров и локальным управлением отдельными механизмами производства. Поэтому необходимо пересмотреть подход к функциональному решению задач управления в рамках АСУТП и ее связь с остальными системами автоматизации.

В 1990-е гг. в сфере промышленной информатизации, в том числе и в энергетике, многочисленные системы автоматизации производства 1970–1980-х гг. (КИПиА, телеметрии, телемеханики, диспетчерского управления, управления складским хозяйством и снабжением и др.) естественным образом сгруппировались в два основных направления — АСУТП (системы автоматизации технологических и производственных процессов) и АСУП (системы автоматизации управленческой и финансово-хозяйственной деятельности предприятия). Системы первого направления реализуются в основном на базе программного обеспечения SCADA или DCS (Distributed Control Systems). Они отличаются высокой степенью интерактивности в управлении при наличии дружественного человеку интерфейса MMI. Системы второго направления относят обычно к классу ERP (Enterprise Resource Planning) — планирование ресурсов предприятия или MRP II (Manufacturing Resource Planning) — планирование ресурсов производства. Системы ERP ориентированы на предприятие в целом, а системы MRP — на его технологические подразделения. В реальности четкой границы между уровнем управления производством и АСУТП нет, а есть их некоторое совмещение в силу взаимной неразрывности выполняемых функций. До настоящего времени связь между этими направлениями была минимальной, что было обусловлено различными (зачастую несовместимыми) требованиями подразделений и служб предприятий, использующих те или иные средства автоматизации.

Постепенно между АСУТП и АСУП образовалась промежуточная группа задач, называемая MES (Manufacturing Execution Systems). Она возникла вследствие обособле-

ния задач, не относящихся ни к одной из ранее определенных групп.

Одна из причин возникновения такого направления — попытка выделить задачи управления производством на уровне технологического подразделения. В АСУТП также произошло отделение тактических задач оперативного управления технологическими процессами от стратегических задач ведения процесса. Существует огромное количество инструментальных средств реализации управления на перечисленных направлениях. Ситуация осложняется тем, что каждая из систем часто реализовывалась на основе различных аппаратных, программных и информационных стандартов. Отсутствие нормативных служб и единой стандартизации средств управления приводит к неоправданно высокому затратам на обслуживание и модернизацию оборудования. Отсюда возникает актуальность создания для современного промышленного производства единого информационного пространства и интегрированной АСУ, включающей в себя все перечисленные выше направления автоматизации.

Отсутствие механизмов государственного контроля и мотивации в модернизации управленческой составляющей в оборудовании и процессах. Ликвидация отраслевой науки, Минприбора, многочисленных институтов и региональных ПО «Автоматика», АСУ и других подразделений способствовала в условиях нарождающегося рынка передаче заказов на автоматизацию фирмам-интеграторам, определяющий стиль деятельности которых состоит в перепродаже западных разработок путем переложения функций действующих систем на новые более сложные и дорогие технические и программные средства — так называемое, проектирование по прототипу. Это привело, по меньшей мере, к двум негативным последствиям:

- консервируется функциональность АСУТП прошлых десятилетий;
- цены на технические средства и программное обеспечение на рынке России приводят к затратам, которые нельзя компенсировать выигрышем от самой автоматизации. Заказчики и разработчики, не имея достаточных средств для комплексного решения проблемы, вынуждены решать ее фрагментарно.

Далее, это привело к тому, что в экономике России нет ни одной организации или фирмы, которая могла бы конкурировать с мировыми транснациональными корпорациями, такими как «Siemens» (Германия), EDF (Франция) и другими в области автоматизации. Поэтому перед потенциальными заказчиками в России стоит дилемма: либо самим заниматься интеграцией АСУТП из разрозненных кусков российского и зарубежного производства, либо комплексно заказывать работу у крупных зарубежных фирм. Поскольку доля импортных комплектующих в ценовом исчислении превышает долю российских продуктов, заказчику выгоднее полностью размещать заказ за рубежом. Примером может служить решение ЗАО «Атомстройэкспорт» передать контракт на АСУТП АЭС в Китае фирме «Siemens» (стоимость контракта около 150 млн. долл., несмотря на то, что отечественные отраслевые проектные организации явно нуждаются в заказах).

Список сокращений

АЗ	— аварийная защита
АО	— автооператор
АР	— автоматическое регулирование
АРМ	— автоматизированное рабочее место
БД	— база данных
ДУ	— дистанционное управление
ИПУ	— Институт проблем управления
КИПиА	— контрольно-измерительные приборы и автоматика
НФБД	— неформальная БД
ПК	— программируемый контроллер
ПЛУ	— программно-логическое управление
ПТК	— программно-технический комплекс
РТС	— районная тепловая станция
СА	— система автоматика
СВБУ	— система верхнего (блочного) уровня
СМТП	— событийная модель ТП
ТОУ	— технологический объект управления
ТП	— технологический процесс
ТЭС	— тепловая электростанция
УКТС	— унифицированный комплекс технических средств
ЦТП	— центральный тепловой пункт
MMI	— Man-Machine Interface
SCADA	— Supervisory Control and Data Acquisition

Отсутствие концептуального подхода к управлению энергоснабжением как к единой системе производства, распределения и потребления энергии от каждого отдельного источника до потребителя включительно. Критерием оценки уровня технологии и автоматизации в комплексной системе энергоснабжения должна быть себестоимость полезного отпуска энергии.

Вследствие организационного и экономического разрыва в цепи производство, распределение и потребление энергии:

– у производителя энергии, перепродавца и покупателя отсутствуют стимулы для экономии и совершенствования производства и услуг;

– формируются тарифы, закрытые для общества;

– не осуществляются легко реализуемые энергосберегающие мероприятия, такие как регулирование перетоков теплоносителя между городскими сетями от принадлежащих разным ведомствам источников тепловой энергии.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В ИПУ РАН в течение последних 20 лет с разной степенью интенсивности ведутся работы по автоматизации процессов разного уровня в энергетике страны [1–5]. В содружестве с отраслевыми НИИ и проектными организациями накоплен опыт разработки конкретных систем управления [6–8]. Имеются теоретические результаты по новым, более перспективным методам управления поточными технологическими процессами, которые позволяют перейти от управления с помощью принятых сегодня жестких алгоритмов к комплексному управлению по гибкой схеме с обратной связью на основе динамического событийного моделирования структуры производства и процессов [3, 4].

В чем суть комплексного управления на основе динамического событийного моделирования структуры потоков?

Новизна разработанной в ИПУ РАН концепции комплексного управления определяется сочетанием континуальных моделей динамики параметров потоков и событийных моделей структуры потоков.

Модели структуры ТОО основаны на том, что производственные системы в энергетике с целью преодоления сложности обеспечения эффективного управления, обслуживания и других производственных задач *структурируются* (разбиваются) на отдельные компоненты (установки, переделы, участки, технологические подсистемы и т. п.). Разбиение осуществляется на основе специфики протекающих в отдельных частях ТОО физических процессов (потоков) трансформации материалов, топологии размещения оборудования и восприятия каждого такого компонента как единого целого процесса – некой *конфигурации*. При этом *управление конфигурацией* объекта есть целенаправленное изменение состава активных элементов объекта и связей между ними и, тем самым, управление *структурой потоков* с целью перехода в качественно новое состояние объекта. Задачи управления конфигурацией, по сути, являются задачами управления структурой потоков. Формирование структуры и ее изменения (реконфигурации) представляются как последовательность работ над фрагментами, имеющими некоторый вполне определенный технологический смысл (технологическую функцию). Компоненты – потоки (фрагменты технологической сети) в ходе производства активизируются (принимая состояние с определенной проводимостью), функционируют, выполняют заданную производственную задачу, утилизируются и т. п. Собственно компоненты – потоки, соответствующие переделам, и есть технологические процессы. Вот это свойство производственных систем – возможность структурирования на потоки и управления ими как едиными компонентами – используется в событийных моделях.

Логическая модель структуры ТОО названа *технологической сетью* и включает в себя:

- модели компонентов – агрегатов (арматуры, насосов, емкостей и др.);
- модели материалопроводов (пассивных элементов – труб, проводов и др.);
- процессы – технологически востребованные конфигурации (фрагменты технологической сети).

Каждая из моделей наряду с определением структуры компонента (потокосвые и информационные входы/выходы и связи) содержит динамическую составляющую – *жизнен-*

ный цикл, который определяет набор технологически востребованных состояний компонента, порядок и условия их смены. Собственно состояния компонентов и конфигураций и образуют *поток событий*, который используется для управления. Поскольку поток событий создают введенные модели и механизмы, они и названы *событийными моделями*.

В каждый момент времени в ТОО выполняется конкретный набор технологических работ (физических процессов). Поскольку этот набор всегда выбирается из технологически обусловленных работ, то на модельном уровне это соответствует разбиению всех заранее описанных технологически осмысленных фрагментов ТОО на подмножества активных и пассивных процессов. *Функционирование событийной модели* заключается в преобразованиях текущих состояний всех агрегатов и множество активных и пассивных процессов в последующие. Эти преобразования выполняются циклически, на основе потока событий, по определенным правилам. Событийная модель содержит информацию, необходимую оператору для анализа состояния структуры ТОО и принятия решений при запуске, мониторинге и гашении процессов, и все данные, используемые в жизненных циклах моделей процессов при их выполнении.

Формализация представления структуры ТОО и динамики ее преобразования в виде описанных событийных моделей позволило разработать *механизмы управления процессами* как потоком технологических работ. Поскольку эти механизмы, по сути, заменяют (имитируют работу) оператора при управлении конфигурацией ТОО, для простоты изложения будем считать, что они реализуются автооператором.

При запуске конкретного технологического процесса АО в событийной модели ТОО активизирует экземпляр объекта модели процесса, который является моделью реального ТП. Атрибуты модели ТП – структура, состояния жизненного цикла, параметры потока, состояния функций защит и автоматического регулирования – отражают все, что происходит в реальном ТП во всех фазах его жизненного цикла (проверка реализуемости, запуск, работа в заданном режиме, разборка и т. д.).

Реальный процесс активизируется путем пошаговой настройки всех его агрегатов на состояния, опреде-



ленные в модели ТП и формируемые в соответствии с отклонением текущего состояния технологической сети от требований ТП. Процедуры настройки агрегатов по данным анализа технологической сети выполняются АО.

Поведение АО определено так, что вся функциональность АСУТП направлена на обслуживание запросов моделей технологических процессов, т. е. на обеспечение выполнения динамики их жизненных циклов. Процессы, в свою очередь, выстроены вокруг материальных потоков и призваны обеспечить их функционирование в соответствии с тактическими целями производства. При этом схема комплексного управления процессами в АСУТП представляется в виде следующей циклической процедуры.

1. Работает СА нижнего уровня: структура потоков определена активными процессами; потоки функционируют под управлением регуляторов, защит и блокировок. Формируется множество актуальных событий.

2. Вычисляется состояние событийной модели технологической сети; анализируются состояния активных и пассивных процессов; если коррекции множеств активных и пассивных процессов не требуется, то п. 1, иначе п. 3.

3. Определяется тип коррекции, вычисляется отклонение текущего состояния структуры от требуемого и выполняется один из вариантов: запуск независимого процесса; гашение независимого процесса; запуск присоединяемого процесса; гашение присоединенного процесса; реконфигурирование активного процесса. Обновляются множества активных и пассивных процессов; цикл повторяется с п. 1.

Заметим, что при управлении конфигурациями цель управления заключается в формировании конкретной структуры (или фрагмента структуры ТОО), следовательно, описание требуемой структуры и есть задание цели. Содержание цели — определение фрагмента структуры, требуемых состояний компонентов, параметров потоков и настроек для автоматических управляющих процедур (защит, блокировок, регуляторов и т. п.), действующих над компонентами, если они специфицированы для данной цели. Поэтому такое управление является *комплексным*.

Важно отметить, что модель агрегата такова, что, с одной стороны, реагирует на события — команды сменой состояния и генерацией соответствующих событий; с другой стороны, позволяет с помощью специальных процедур, исходя из текущего состояния сети и цели функционирования, определить требуемое управление на агрегат при его настройке.

Модель ТП в схеме управления служит для представления в АСУТП состояний реальных процессов и имитации их выполнения сменой состояний жизненного цикла модели как функции команд и событий, поступающих в систему, а также для задания цели в задачах управления конфигурацией (координацией).

Благодаря указанным свойствам событийных моделей удалось построить схему управления процессами, основанную на обследовании текущего состояния структуры технологических потоков по их логической модели, с применением в механизмах управления структурой потоков *принципа управления с обратной связью по отклонению* текущего состояния структуры от требуемого.

Анализ возможностей методов управления структурой с помощью событийных моделей показывает, что разработка на их основе SCADA-систем нового поколения позволит коренным образом повысить уровень автоматизации технологических процессов.

В оперативном контуре управления предложенные механизмы *потокowego* управления позволят операторскому персоналу работать не с отдельными исполнительными механизмами и агрегатами, а с материальными потоками, выделяемыми в процессе функционирования объектов. Таким образом, с оператора снимается значительная часть нагрузки в плане мониторинга и управления конкретными агрегатами, что ведет к снижению числа аварийных ситуаций, повышению качества выходного продукта, увеличению производительности труда и повышению эффективности управления.

Итак, применение нового подхода к автоматизации на основе событийных моделей ТП значительно повышает уровень автоматизации и, тем самым, эффективность управления и обеспечивает:

- повышение уровня управляемости технологии за счет введения системных процедур, ведения технологических процессов, включая

проверку реализуемости, запуск наблюдения за ходом выполнения, разборку, сигнализацию, срабатывание защит, запуск основным процессом вспомогательных и т. д., дополнительные возможности контроля деятельности оперативного персонала, проверку корректности заданий на технологические процессы, применение «поточковых» блокировок и др.;

- упорядочивание использования ресурсов, так как ресурс закрепляется за процессом;
- учет и управление ресурсами — контроль выработки моторесурса, планирование ремонта по состоянию агрегатов, замены оборудования, выполнения расходовемых материалов и др.;
- управление знаниями — позволяет оценить уровень автоматизации и степень загрузки персонала, а также качество работы персонала.

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ АСУТП В ЭНЕРГЕТИКЕ

2.1. Энергетические комплексы как объекты автоматизации

На каждом этапе развития автоматизации направления, объем и уровень технических решений при построении управляющих систем определяются свойствами объектов автоматизации как объектов управления и свойствами основных средств автоматизации, а именно, технических средств сбора, передачи, распределения и обработки информации и исполнительных средств, инструментальных средств проектирования, подготовки к пуску и обслуживания в процессе эксплуатации.

Достаточно типична следующая технологическая структура энергетических станций: в значительной степени автономные группы агрегатов и оборудования, объединяемые общим источником энергии — энергоблоками, и общестанционные технологические комплексы.

Для энергетических комплексов — тепловых, атомных и гидравлических станций — значительная часть их свойств, определяющих технические решения по автоматизации, являются общими. К ним следует отнести:

- многорежимность функционирования — пуск, работа на номинальных (нормальных) уровнях мощности, маневрирование мощностью (необходимость перехо-

- дов с одного номинального на другой уровень мощности), работа в условиях предаварийных и аварийных состояний отдельных технологических агрегатов и комплексов, вывод в безопасное состояние станции при возникновении аварий, останов станции в целом или отдельных её технологических комплексов;
- критичность к нарушениям баланса энергии в статике и в той или иной степени в динамике в технологических цепочках агрегатов от источника энергии (котла, реактора, турбины) до выходных электротехнических установок;
 - многоагрегатность и жёсткость координации функционирования агрегатов по режимам работы станции;
 - непосредственная для персонала и экологическая опасность нарушений номинальных условий функционирования многих технологических агрегатов;
 - значительные экономические потери от попадания оборудования в аварийные состояния и от простоев энергоблоков станции;
 - достаточно высокий уровень структуризации технологических агрегатов и оборудования, обусловленный широким применением идеологии блочности компоновок при проектировании станций.

2.2. Функциональные и структурные решения в действующих АСУТП на энергетических объектах

Для определения причин отсутствия роста уровня автоматизации, несмотря на прогресс в технических средствах и базовом программном обеспечении, необходимо разобраться в основах построения схем управления в АСУТП.

Общепризнанное направление развития архитектур современных и перспективных АСУТП для поточных производств заключается в распределенности и децентрализации управления технологическими процессами. Распределенные и децентрализованные системы разрабатываются на основе декомпозиции (разбиения) алгоритмов на компоненты в соответствии с естественным разбиением технологических функций объекта и алгоритмов контроля и управления установками (по горизонтали) и в соответствии с разбиением алгоритмов управления по иерархическим уровням (по вертика-

ли). Так, например, в действующих АСУТП на предприятиях энергетики принято разбиение алгоритмов по вертикали по трем иерархическим (нижний, средний и верхний) уровням управления.

- *Первый уровень* (нижний) включает в себя защиты и блокировки, локальные регуляторы, первичную обработку аналоговых и дискретных сигналов, обработку команд ДУ на исполнительные механизмы. Здесь решаются задачи управления комплексом технологических агрегатов и оборудования только в основных (базовых) режимах, например, в стационарном режиме на заданной мощности с минимальным набором задач, связей, и простейшими алгоритмами, не требующими непрерывного привлечения для обработки информации высших уровней. Такая компоновка задач нижнего уровня позволяет обеспечить максимальную надежность системы для основного номинального режима работы станции. Образно говоря, этот уровень должен быть «железобетонным» по показателям надежности.

- *Второй уровень* (средний) включает в себя задачи координации взаимодействия агрегатов оборудования во всех режимах функционирования станции (функционально групповое или программно-логическое управление отдельными установками), блокировки, защиты в рамках энергоблока, оптимизации режимов эксплуатации (выравнивания энергетических полей, выбора температурных режимов и т. п.), диагностирования агрегатов, оборудования и средств первого уровня, реконфигурации структуры средств первого уровня при отказах, учета наработок, выдачи информации на верхние уровни системы.

- *Третий уровень* (верхний) включает в себя алгоритмы управления объектом в целом и информационную поддержку оператора. Здесь решаются задачи контроля работы всего энергоблока и систем управления первого и второго уровней, анализа аварийных ситуаций, выходящих за рамки возможностей нижних уровней, а также за проектных аварийных ситуаций, обеспечения информацией и включения в процессы управления оперативного персонала.

Приведенное разбиение задач контроля и управления определяет типичную иерархическую функциональную структуру АСУТП энергетических объектов.

Совокупность технических средств целесообразно структурировать «по вертикали», т. е. по уровням, аналогичным функциональной структуре, и «по горизонтали», т. е. привязываясь к достаточно автономным группам технологических агрегатов и оборудования или достаточно автономным функциям системы. Названная целесообразность определяется требованиями к показателям надежности и живучести, независимого монтажа и отладки групп технологического оборудования или условиями их пуска (останова), а также требованиями блочной модернизации оборудования энергоблоков.

Структуризация «по горизонтали» сводится к выделению функциональных подсистем. При структуризации «по вертикали», как правило, выделяют три уровня, в основном ориентированные на три уровня функциональной структуры:

- *первый уровень* (нижний) — максимально унифицированные (по набору типовых средств, но не по их объему), ПТК, содержащие устройства связи с объектом и другими ПТК, исполнительные автоматы и ПК;

- *второй уровень* (средний) — совокупность ПК, взаимодействующих через локальную сеть и обрабатывающих задачи второго уровня функциональной структуры.

- *третий уровень* (верхний) — АРМ операторов, экраны и мнемосхемы общей обстановки, функциональные командные органы, объединяемые, как правило, в блочные пульта управления, резервные пульта, пульта критических, аварийных ситуаций, пульта диагностирования и технического обслуживания всей системы.

В случае особо крупных энергоблоков или энергоблоков, состоящих из средств разных поколений, в структуру включено ограниченное число местных постов управления, предназначенных для управления отдельными агрегатами или группами средств нижнего уровня в режимах отладки и тестирования оборудования, при пусках, остановках или эксплуатации не по штатным технологическим схемам, для углубленного контроля состояния отдельных единиц оборудования.

Все действующие в энергетике системы автоматизации ТП вписываются в традиционную пирамиду систем промышленной автоматизации технологии (рис. 1), ставшую графической метафорой функциональных возможностей всех извест-



ных западных систем автоматизации технологии таких компаний, как «Siemens», «Allen-Bradley», «Modicon» (см. проспекты этих фирм 1980–1990-х гг.), и обсуждаемую в ряде публикаций аналитиков. Пирамида символизирует широкие возможности системы средств автоматизации по связи с исполнительными механизмами *M*, датчиками *S* и технологическими процессами через модули ввода/вывода (*I/O*) – самый нижний слой у основания пирамиды; средний слой – сеть ПК – это инструмент локального управления путем реализации стандартных функций управления (ДУ, АЗ, ПЛУ, АР, сигнализации – ALARM и т. д.), а вершина пирамиды – сервер и АРМ – средства реализации задач управления верхнего уровня системы и через сервер связь с другими системами.

Приведенная на рис. 1 структура является обобщением, ее воплощение на различных объектах различное.

- В атомной энергетике на всех действующих станциях на первом уровне УКТС (монтажная логика); на втором уровне комбинированная логика (УКТС + ПК + возможно, локальная сеть); на третьем уровне сеть компьютеров, включающая в себя сервер и АРМ оперативного персонала и пульта с приборами и средствами индивидуального управления. На некоторых объектах имеются отдельные подсистемы с контроллерной техникой на первом уровне. В проектах реконструкции (Калининская АЭС) предусматривается контроллерная техника (средства программируемой автоматики с переменной структурой разработки ИПУ и «Телерегт» в исполнении ВНИИА).

- В тепловой энергетике на большинстве станций ситуация аналогична и даже оснащенность операторных в основном «пультовая». Однако на отдельных станциях, сооруженных в 1980-х гг., и станциях, модернизированных в 1990-е гг., технические средства достаточно современны: первый и второй уровни – сети ПК различной производительности и специализации, третий уровень – сервер и сеть АРМ, пульт с индивидуальными приборами сокращен до минимума.

В 1999–2002 гг. на предприятиях энергетики начался интенсивный процесс реконструкции существующих систем автоматизации, в котором активно участвует ряд компаний-интеграторов (АЭП, ВНИИА, СНИИП, ВТИ, ТЕКОН и многие

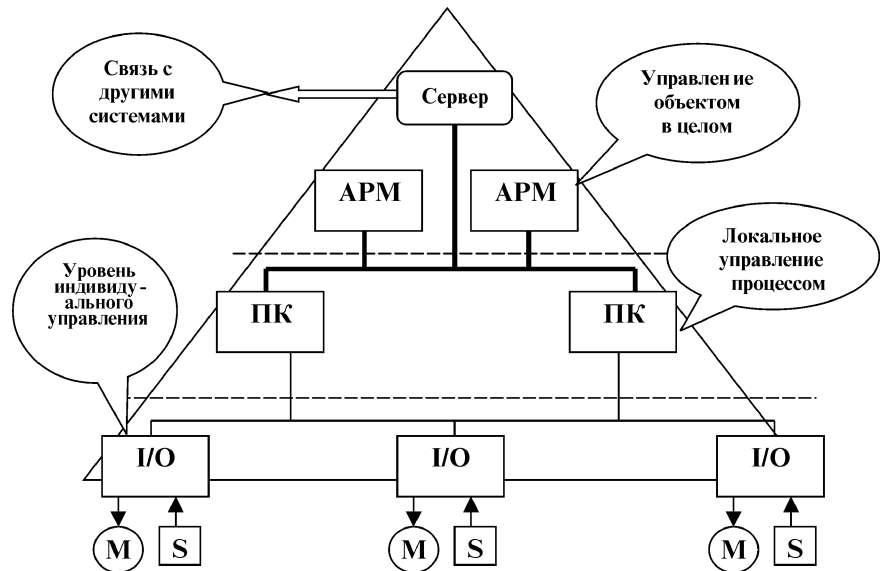


Рис. 1. Традиционная структура АСУТП

другие). Не вдаваясь в детальный анализ различий, недостатков и преимуществ, рассмотрим их основные возможности с точки зрения способности к интеграции в условиях коммерчески самостоятельных генерирующих предприятий, а именно, к обеспечению потребности и доступа специалистов всех уровней к постоянному источнику информации не только для того, чтобы управлять процессом, но и принимать конструктивные решения в вопросах управления производством в целом.

Основные общие свойства предлагаемых решений:

- трех-двухуровневая структура АСУТП: нижний уровень – локальная сеть ПК, верхний уровень – сервер и сеть рабочих станций (АРМ персонала);
- применение на верхнем уровне SCADA-системы;
- функциональная концепция построения системы управления, основанная на модели ТОУ как совокупности параметров, команд и функций; при этом параметры характеризуют технологический процесс, команды на исполнительные механизмы формируются оперативным персоналом и (или) типовыми функциями управления ДУ, АР, АЗ, ПЛУ, ALARM и др.

Основное достижение на современном этапе, проявившееся в той или иной степени во всех перечисленных системах, заключается в ис-

пользовании SCADA-системы как аккумулятора проектного опыта. В самих SCADA-системах основная новация состоит в развитой системе визуализации модели ТОУ как наборе данных в виде всевозможных мнемосхем с аппликацией динамики, построения трендов любых параметров с привязкой к реальному времени, в ведении архива параметров, событий и отчетности.

Система SCADA поддерживает «клиент – серверную» открытую архитектуру. Основной сервер системы осуществляет сбор информации от низовых устройств управления и датчиков, ее обработку и выдачу оператору. Кроме того, он связан с общей базой данных АСУТП. Открытая архитектура позволяет выбирать различные компоненты программного и аппаратного обеспечения независимо от их производителей. В результате расширяются функциональные возможности системы и снижается ее стоимость. Наиболее известными такими расширениями стали продукты iFix компании «Intellution Inc.»; InTouch 4.0 («Wonderware Software Development Corp.»); FactoryLink IV («United States Data Corp.»); Plantworks (IBM); OnSpec («Heuristics Inc.»); Iconics («Genesis»); Paragon («Intec Controls Corp.»). Из отечественных продуктов следует отметить SCADA-систему «ОПЕРАТОР» ИПУ РАН, пакеты Trace Mode московской фирмы «AdAstra», хорошо зарекомендовавшие себя в энер-

гетике, нефтяной и металлургической отраслях.

Таким образом, с точки зрения технических средств АСУТП (системы ПК + серверы различных отечественных и зарубежных производителей) и базового программного обеспечения (SCADA-системы + современные фирменные СУБД) имеются все возможности для создания конкурентоспособных АСУТП. Однако методологическая база АСУТП значительно отстала от средств.

К сожалению, как уже отмечалось, развилась практика создания АСУТП «по прототипу», т. е. с применением новых технических средств и программного обеспечения функциональные возможности АСУТП остаются на прежнем уровне и, как правило, ограничиваются контролем отдельных параметров и локальным управлением отдельными механизмами производства.

Действующие системы автоматизации на предприятиях нуждаются в коренной реконструкции. Это вызвано:

- чрезвычайно низким и неравнопрочным уровнем автоматизации, применением технических средств, не обеспечивающих стыковку с современными системами управления производственной информацией;
- новыми условиями функционирования, обусловленными рыночной экономикой — руководство и специалисты генерирующих компаний и региональных ОАО, ответственные за коммерческую деятельность компании, должны точно знать, какими ресурсами они располагают по топливу на сегодня, каково состояние оборудования и режим работы станции с точки зрения того, что может быть получено завтра.

Структурные изменения 1990-х гг. в энергетике в сфере автоматизации привели к потере роли отраслевых НИИ как инструментов выработки и проведения научно-технической политики. Многообразие технических и программных средств, структурных и архитектурных решений, функциональных возможностей и степени участия АСУТП в каналах управления технологией — вот определяющие характеристики действующих систем на предприятиях энергетики. У руководства департаментов автоматизации различных региональных ОАО появилась проблема выбора дальнейшего развития систем.

С одной стороны, объем автоматизации увеличился, сложность и стоимость аппаратуры возрастает

(современные ПК, серверы, сети, SCADA-системы), затраты ресурсов и времени на проектные работы увеличились, требования к квалификации обслуживающего персонала и затраты на обслуживание возросли.

С другой стороны, интеллектуальный уровень (глубина автоматизации) вот уже 20–30 лет не изменяется. Практически в существующих системах автоматизируются функции телеметрии, автоматического регулирования, защит и блокировок по параметрам, дистанционного и в лучшем случае функционально-группового управления. В функциональном отношении сегодняшние АСУТП практически совпадают с системами КИПиА 1960–1970-х гг. Поэтому имеются потери из-за несовершенства АСУТП: несоблюдение регламента с вытекающими отсюда последствиями; нарушение норм эксплуатации оборудования; слабый контроль работы персонала; нередки производственные потери по причине конфликта потока «технологических действий», планируемых персоналом, и ремонтных и профилактических работ, планируемых в АСУП; «прозрачность» процессов для внешних контуров управления технологией недостаточна (обеспечивается лишь на уровне параметров процессов); степень контроля работы оборудования неудовлетворительна для задач АСУП (контролируется работа только автоматизированных приводов).

В значительной мере неравномерным и зачастую неудовлетворительным уровнем автоматизации объясняется низкий КПД источников энергии в городских хозяйствах.

2.3. Анализ функциональности современных АСУТП

В системах управления сложных технических объектов, в том числе объектов энергетики, на процессы параллельно воздействуют десятки (иногда и сотни) различных субъектов управления (устройств, каналов, структур, служб), имеющих различную природу, место расположения и инструменты воздействия на процессы. При этом используются всего три приема (схемы) управления, которые в системотехнике принято называть видами управления.

- *Управление параметрами потоков* (фазовое, координатное) — управление в контурах автоматического регулирования (регулирование уровня, температуры, давления, расхода и

др.). В составе АСУТП эти контуры управления реализуются многочисленными регуляторами на нижнем уровне (УКТС, КИПиА, ПК).

- *Управление структурой (конфигурацией) объекта* — целенаправленное изменение состава активных элементов объекта и связей между ними и тем самым управление структурой потоков с целью перехода в качественно новое состояние объекта. Управление конфигурацией осуществляется при пусках и остановках объекта, при маневрировании мощностью (производительностью), профилактике, техническом обслуживании, ремонтах, реконструкции. Это управление реализуется в контуре оперативного управления АСУТП в основном средствами ДУ и (или) персоналом (обходчиками) для неэлектрифицированной арматуры. Конфигурация потоков изменяется и средствами автоматической защиты, однако это скорее необходимость локального изменения структуры, чем целенаправленное изменение структуры.

- *Управление техническим состоянием* применяется с целью обеспечения работоспособности объекта и самой системы управления. Оно реализуется в контуре неоперативного управления и по сути является супервизорным. Управление техническим состоянием инициируется и планируется технологами, административным персоналом, плановыми службами и осуществляется инженерными службами, ремонтными подразделениями и т. п.

Рассмотрим, как различные средства АСУТП участвуют в решении задач управления технологическими процессами и состоянием оборудования.

Под *каналом управления* далее будем понимать совокупность аппаратных, программных, организационных и иных компонентов, участвующих в выполнении какой-либо функции (задачи) управления. Можно выделить следующие каналы (рис. 2):

- автоматический контур: каналы измерения и управления (нижний уровень АСУТП, включая регуляторы, блокировки и т. д.) — здесь в основном решаются задачи управления фазовыми координатами потоков;
- операторский контур: каналы, включающие в себя оператора, компоненты верхнего и нижнего уровня АСУТП — здесь решаются задачи управления параметрами (режимами) установок и отдельных приво-



дов и управления конфигурацией объекта (структурой потоков);

- супервизорный контур — здесь решаются задачи разработки рекомендаций по управлению параметрами (режимами) установок на основе анализа ситуации (хода процесса) технологом, управления специалистами техническим состоянием технологического оборудования (организация профилактики, ремонта, модернизация и т. п.) и определения целей (задач) изменения структуры объекта средствами операторского контура.

Управление в человеко-машинной системе, каковой является АСУТП, строится по следующей традиционной схеме.

Шаг 1. Оценка ситуации и определение рассогласования между текущим и требуемым состояниями объекта.

Шаг 2. Оценка рассогласования. Если рассогласование в пределах нормы, то переход к шагу 1, иначе шаг 3.

Шаг 3. Определение реально достижимого состояния, наиболее близкого к исходному.

Шаг 4. Определение последовательности управляющих воздействий на исполнительные механизмы, переводящей объект из одного состояния в другое.

В данной схеме принципиальны два момента: выбор параметров для определения состояния системы (объекта) и обеспечение перехода из одного состояния в другое путем вы-

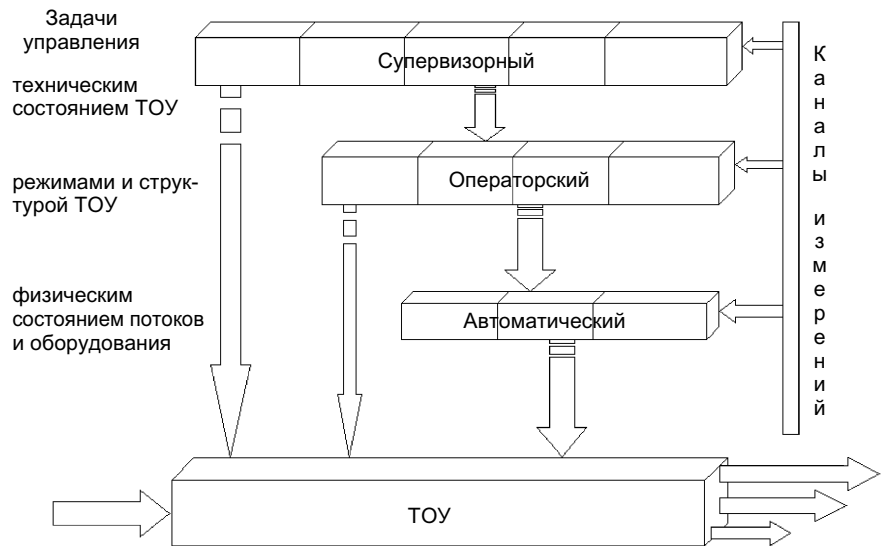


Рис. 2. Каналы управления технологией

дачи оператором последовательно-сти команд — воздействий на исполнительные механизмы или запуска процессов, осуществляющих этот переход.

В таблице указаны средства, применяемые в каждом из каналов для управления по традиционной схеме.

Схема управления предполагает работу диспетчера с двумя БД — формальной, поддерживаемой SCADA-системой, и НФБД, отражаемой в знаниях персонала и должностных инструкциях (рис. 3). В НФБД так-

же аккумулируется опыт персонала («ноу-хау») по выполнению задач управления для преобразования потоков, оценке состояния материальных «носителей» потоков — арматуры, клапанов, насосов и т. д. Ею пользуется и административный персонал при составлении заявок на профилактику и ремонт оборудования.

Таким образом, НФБД является фактически основной в деятельности оперативного персонала и более информативной. Она находится вне АСУТП и поэтому недоступна вы-

Средства АСУТП, применяемые в различных каналах для управления по традиционной схеме

Этапы	Каналы		
	Автоматический	Операторский	Супервизорный
Сбор данных	Датчики, измерительный тракт	Датчики, измерительный тракт	Датчики, измерительный тракт
		Визуальный осмотр	Визуальный осмотр оборудования
Анализ данных	Формирование отклонения, «собственные» данные, «смежные» агрегаты	Регламент, формирование инициирующего события	Тренды параметров, отчеты
			НФБД, формирование инициирующего события
Принятие решения	Смежные производства	Оператор, технолог, НФБД	Процедуры подготовки решения
Выполнение	Автоматические устройства	Операции (ДУ или «ручные») настройки выбранной структуры	Восстановление штатного состояния оборудования
		Смена параметров регуляторов	
		Смена характеристик агрегатов	



Рис. 3. Соотношение формальной базы данных и системы понятий, с которыми работает оператор

шестоящим информационным системам, какие бы глубокие и продвинутые системы коммуникации мы ни привлекали для интеграции этих систем. Фактически оперативность и точность решения задач управления структурой потоков зависит от субъективного фактора, вследствие чего возникают многочисленные потери в технологии.

Отсюда следует вывод: традиционные SCADA-системы, хотя и представляют много средств для ведения БД параметров и их визуализации, неудовлетворительны с точки зрения снижения нагрузки на оперативный персонал, аккумуляции «умений», генерации исходных данных для АСУ вышестоящих уровней.

Для выяснения «точек роста» функциональности АСУТП проведен качественный анализ соотношения задач АСУТП и оснащенности каналов управления средствами АСУТП.

Приведенная таблица отражает и схему выполнения задач каналов. Эффективность АСУТП определяется степенью (уровнем) её участия в их выполнении.

Задачи канала управления фазовыми координатами потоков (давлением, температурой и т. п.) решаются на основе принципа управления с обратной связью по отклонению с использованием хорошо изученных континуальных моделей динамики потока и выполняются автоматически даже в самых простых системах (в таблице автоматическое выполнение задач помечено серым цветом;

как видно, он преобладает в данной колонке). Возможности автоматизации здесь еще не исчерпаны, однако, это не тема данной публикации.

Задачи операторского и супервизорного каналов, в особенности управление конфигурацией и техническим состоянием, по сути, являются задачами управления структурой потоков. Формирование структуры и ее изменения (реконфигурации) представляются как последовательность работ над фрагментами, имеющими некоторый вполне определенный технологический смысл (технологическую функцию). Эти задачи управления слабо формализованы и в системе управления лишь частично представляются событиями, параметрами и командами. Основные этапы выполнения таких задач закрепляются в регламенте, должностных инструкциях и неформальных действиях персонала, при их исполнении использующего графическую модель таких фрагментов – мнемосхему и средства ДУ арматурой. Как видно из таблицы, основные средства, представляемые АСУТП для задач этих каналов – мнемосхема и тренды по параметрам. Поскольку это графические модели, то они доступны только для визуального анализа, выполняемого персоналом умозрительно в НФБД. Таким образом, основные инструменты анализа – НФБД и регламенты – находятся, как уже отмечалось, вне АСУТП (см. рис. 3). Низкий уровень автоматизации этих каналов иллюстрируется соотношением серого и белого цве-

та в соответствующих столбцах таблицы.

Сформулируем основные проблемы, часто встречающиеся при создании интегрированных систем автоматизации.

- Трудности оперативного персонала в реализации традиционной схемы управления в связи с необходимостью постоянного перехода от формальной БД (по параметрам, хотя и визуализированной) к потокам НФБД и, в особенности, к реализации процедур управления исполнительными механизмами и преобразования структуры потоков с помощью неформализованных (или слабо формализованных) процедур – например, указаний обходчикам и др.

- Интеграция в составе региональных ОАО и РАО ЕЭС требует «прозрачности» не только по данным (значениям параметров), но и по технологическим процессам – каким путем были достигнуты эти значения и что будет с ними через некоторый промежуток времени. Важно знать, какое оборудование задействовано в образовании данного количества энергии.

- Последовательность действий оперативного персонала по организации сложных ТП (процедуры управления инициализацией ТП, поддержанием регламентных параметров исполнения ТП и его оптимизация) находится вне системы. Не происходит накопления знаний («ноу-хау»).

- Управление ресурсом оборудования, участвующего в конкретных технологических цепочках (последовательностях), невозможно на уровне модели ТОУ как набора данных: управление технологическими последовательностями не входит в задачи SCADA-систем, и поэтому в их составе нет соответствующих инструментов; во-вторых, значительная доля запорной арматуры, участвующая в технологическом процессе, не электрифицирована, а, следовательно, ее нет в БД, и она не участвует в «анимационных» картинках.

- Управление качеством требует ведения архива АСУТП не только по параметрам, но и по процедурам, использованным в организации ТП.

Стремление решить перечисленные проблемы приводит к заключению о необходимости декларации новых идей (принципов) и разработки новых механизмов организации систем управления технологическими процессами.



3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ

3.1. Создание SCADA-систем нового поколения

В ИПУ РАН получены теоретические результаты по новым методам управления структурой ТОУ с поточной технологией [3–5]. Суть этих результатов в построении логического управления структурой на основе динамического событийного моделирования объекта. Разработаны принципы построения событийных моделей для агрегатов, технологических процессов и технологических сетей, характерных для энергетического производства. Разработаны механизмы функционирования событийных моделей и механизмы управления структурой ТОУ при типичных операциях над ТП: запуск, гашение, реконфигурация и т. п.

Краткое неформальное изложение сути динамического событийного моделирования структуры потоков и комплексного управления на основе этого моделирования представлено в § 1. Здесь мы изложим назначение моделей и несколько подробнее схему управления.

Набор событийных моделей, включая модель агрегата, модель ТП и модель структуры производства – технологическую сеть, достаточен для имитации описанной схемы поведения структуры поточной технологии. В этих моделях, атрибутах и жизненных циклах достаточно информации для управления ТОУ.

Модель технологической сети TN предназначена для моделирования структуры производства, цель которого заключается в организации и поддержании требуемых параметров различного рода потоков (например, потоков топлива, теплоносителей, охлаждающей воды, электроэнергии и др.).

Модель агрегата предназначена для представления в АСУТП структуры преобразователя потока (узла) и имитации его работы сменой состояний жизненного цикла как функции команд и событий, поступающих на него. Состояния жизненного цикла представляют операции, выполняемые узлом над входным потоком. Модель узла содержит функции (задачи) управления преобразованием потока, проходящего через узел (функции регуляторов, защит, блокировок).

Модель ТП предназначена для представления в АСУТП состояний

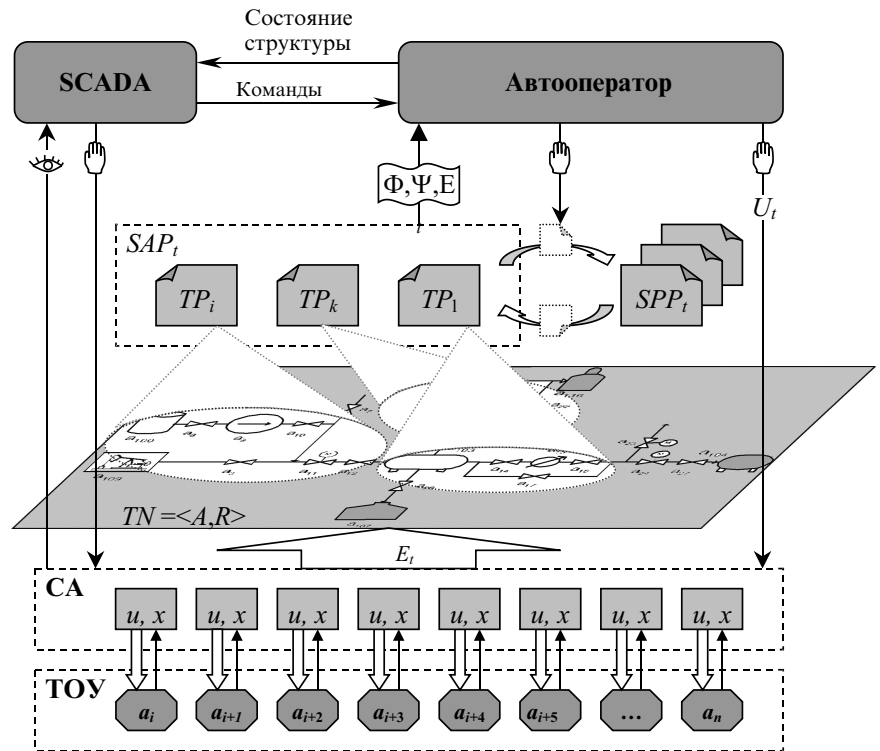


Рис. 4. Схема управления ТП на основе событийной модели

реальных процессов и имитации их выполнения сменой состояний жизненного цикла модели как функции команд и событий, поступающих в систему. Модель характеризуется: структурой; событием и временем начала; событием и временем окончания; основными параметрами потоков в заданной структуре; множеством технологически осмысленных состояний (режимов); условиями (правилами) его запуска и существования; жизненным циклом. Состояния жизненного цикла представляют собой фазы выполнения процесса: проверка реализуемости, подготовка к выполнению (настройка агрегатов на требуемые операции и запуск обеспечивающих процессов), выполнение технологического процесса в заданном режиме и разборка процесса при наступлении соответствующего события.

Схема управления на основе событийных моделей конструируется так, чтобы вся функциональность АСУТП была направлена на обслуживание запросов моделей ТП, т. е. на обеспечение выполнения динамики их жизненных циклов. Процессы, в свою очередь, выстроены вокруг материальных потоков и призваны обеспечить их функциониро-

вание в соответствии с тактическими целями производства.

Схематически управление процессами на основе событийной модели представлено на рис. 4. Процедуры управления выполняются автооператором.

При выполнении конкретного технологического процесса АО в событийной модели EM активизирует экземпляр объекта TP_j , который является моделью реального ТП. Это обеспечивается перемещением объекта TP_j из множества пассивных SPP_t в множество активных SAP_t процессов. Атрибуты объекта TP_j – структура, состояния жизненного цикла, параметры потока, состояния функций защит и автоматического регулирования – отражают все, что происходит в реальном ТП во всех фазах его жизненного цикла (проверка реализуемости, запуск, работа в заданном режиме, разборка и т. д.).

Функциональность АО определена совокупностью процедур – операций над процессами TP_j и моделью технологической сети TN , которые обеспечивают запуск и гашение независимых процессов, присоединение и отсоединение процессов к действующим и реконфигурацию

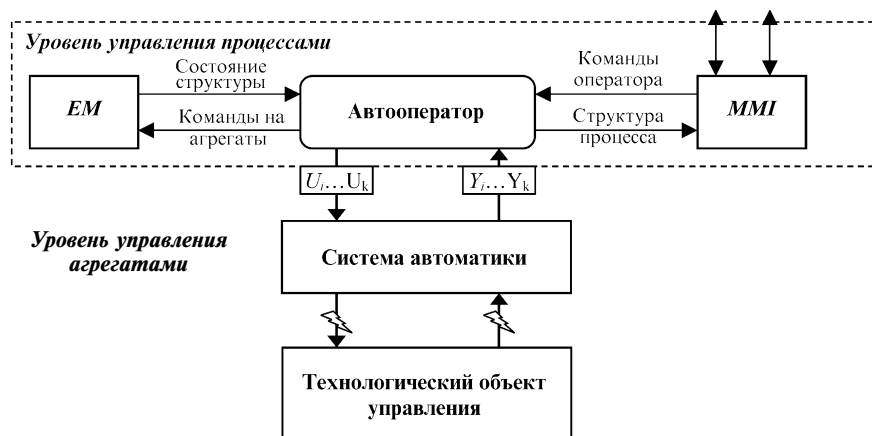


Рис. 5. Обобщенная структура АСУТП на основе событийного управления

действующих. Каждая из этих операций выполняется на основе сравнения реального состояния модели технологической сети TN и требований процесса TP_j и формируется управление (по отклонению) только на те узлы, состояние которых не соответствует требованиям процесса TP_j . Каждый активизированный процесс ответственен за часть реальной технологической структуры (на рис. 4 это показано высвеченными овалами); таким образом модели ТП управляют структурой потоков в соответствии с целями производства.

Таким образом, предложено включение механизмов управления на верхнем уровне АСУТП по следующей схеме: $TOU \leftrightarrow CA \leftrightarrow [AO \leftrightarrow EM \leftrightarrow MMI \leftrightarrow \text{Оператор}]$ (рис. 5), квадратные скобки означают рамки событийной модели.

Отметим, что все процессы ведут себя одинаково, обрабатывая подобные жизненные циклы (с точностью до количества и имен конкретных механизмов или исполнителей). Поэтому схема управления выстраивает иерархию процессов, где каждый вышерасположенный процесс взаимодействует со своими компонентами (которые, в свою очередь, тоже могут быть процессами) по определенному сценарию (протоколу).

Предложенное комплексное управление по схеме замкнутого контура на основе событийных моделей предусматривает реализацию традиционных функций верхнего уровня средствами SCADA-системы (компонента ММИ), но вместе с тем предоставляет инструменты для мониторинга, управления и ведения базы данных процессов и событий, с ними связанными; тем самым достига-

ются цели повышения качества ведения ТП, снижения нагрузки на персонал и обеспечения «прозрачности» АСУТП для корпоративных информационных систем.

Анализ возможностей предложенных методов комплексного управления показывает, что на их основе целесообразно создание SCADA-систем нового поколения, обобщенная архитектура которых представлена на рис. 5.

Основные компоненты предлагаемой системы: событийная модель EM , включающая в себя модели агрегатов, объединенных в модель технологической сети TN , и модели процессов $TP = \{TP_j | j \in I_{TP}\}$, АО – совокупность упомянутых процедур – операций над процессами TP_j ; ММИ – модули традиционных SCADA-систем.

Управление процессами предлагается реализовать на основе событийной модели EM по следующей схеме:

- в TOU функционируют процессы (потоки), оборудование индивидуально контролируется и управляется системой автоматики, все происходящее архивируется и отображается средствами ММИ;
- модель EM отслеживает изменения в объекте по потоку событий путем периодического пересчета жизненных циклов агрегатов из модели TN , процессов из множества $TP = \{TP_j | j \in I_{TP}\}$ и функций готовности Ψ_j для всех $TP_j \in SAP_j$, как это определено выше, имитирует состояниями своих компонентов реальные процессы;
- автооператор, в соответствии с потоком событий от EM и через

ММИ от оператора имитирует действия последнего по анализу состояния TOU , сопоставлению этого состояния с требованиями активизированных процессов и вырабатывает команды ДУ на исполнительные механизмы TOU в соответствии с требованиями моделей процессов.

Механизмы управления предусматривают формирование команд управления на основе отклонения текущего состояния структуры технологической сети от требований к структуре со стороны технологического процесса. Отклонение определяется по результатам обследования структуры потока по его событийной модели.

Таким образом, схема управления должна обеспечивать выполнение всех требуемых потоками задач над процессами, отслеживать их динамику по жизненному циклу и по требованию последнего осуществлять диалог с оператором в заданных рамках (в заданном диапазоне в соответствии с регламентом и должностными инструкциями). В этом случае оператор выступает как исполнитель. Напротив, если условия существования процесса TP_j исчерпаны (разрушены) и в его описании нет подходящей реконфигурации, то оператор должен, исходя из стратегических целей его уровня, выбрать новый процесс TP_k такой, что он не входит в коллизию по структуре (ресурсам) с уже активизированными процессами, и запустить его. В этом случае, как и в традиционной АСУТП, оператор выступает в роли носителя стратегических целей и арбитра, и вся функциональность АСУТП должна быть направлена на обеспечение выполнения этих целей.

Предлагаемая схема естественно вписывается в ММИ, и поэтому в принципе событийная модель EM может включать как команды на автоматизированные приводы, так и на исполнительные механизмы с «ручным» управлением. В последнем случае команды интерпретируются как «наряд-заказы» оперативному персоналу, а подтверждение через диалог их реализации является дисциплинирующим фактором в исполнении должностных инструкций. Более того, фиксация диалога позволяет вести учет моторесурса неавтоматизированного оборудования.

Применительно к процессам в предлагаемой системе решаются следующие задачи управления:



- составление структуры процесса в рамках имеющегося оборудования (технологической сети *TN* в терминологии событийной модели);
- анализ текущего состояния привлекаемых компонентов и при необходимости приведение их в состояние, требуемое запуском процесса;
- запуск процесса на выполнение (возможно, подав на вход процесса и всем компонентам необходимые материалы и ресурсы);
- контроль (вычисление) отклонения реального процесса от задания и, попутно, накопление истории параметров, ресурсных трат (отработанных моточасов или человеко-часов, израсходованной электроэнергии и пр.);
- в зависимости от размера и (или) характера отклонения процесса от эталона (нормы) определение характера управления — изменение настройки отдельных компонентов или структуры в целом;
- при необходимости изменения структуры, перебор (просмотр) возможных реконфигураций процесса, выбор и выполнение необходимой; при требовании другого процесса погашения действующего, освобождение всех используемых агрегатов (компонентов) для их подготовки к включению в другой процесс.

Отметить, что все процессы ведут себя одинаково, отрабатывая подобные жизненные циклы (с точностью до количества и имен конкретных механизмов или исполнителей). Поэтому схема управления выстраивает иерархию процессов, где каждый вышерасположенный процесс взаимодействует со своими компонентами (которые, в свою очередь, тоже могут быть процессами) по определенному сценарию (протоколу).

Предложенная архитектура предусматривает реализацию традиционных функций верхнего уровня средствами SCADA-системы (компонента MMI, взаимодействие с СА и т. п.), но вместе с тем предоставляет инструменты для мониторинга, управления и ведения базы данных процессов и событий, с ними связанными; тем самым достигаются цели повышения качества ведения технологических процессов, снижения нагрузки на персонал и обеспечения «прозрачности» АСУТП для корпоративных информационных систем.

Определяющая новация в предлагаемой концепции управления на основе событийных моделей заклю-

чается в моделировании поведения ТОУ как совокупности СМТП. Событийная модель ТП структурирует поведение ТОУ как последовательность выполняемых работ с используемыми в этих работах ресурсами и получаемыми результатами, привязкой к этим работам значений соответствующих параметров продуктов, ресурсов и т. д.

Введение новой сущности — СМТП, как уже отмечалось в § 1, значительно повышает эффективность управления.

Каким образом введение СМТП скажется на загрузке технических средств системы управления?

Введение СМТП в значительной степени расширяет объем БД и предъявляет к SCADA-системе более жесткие требования к открытости и сопрягаемости с новыми приложениями, реализующими механизмы конструирования и ведения СМТП. Предлагаемое расширение верхнего уровня АСУТП позволяет реализовать дополнительно к традиционным следующие задачи управления.

Управление процессами:

- планирование последовательности конфигураций технологических процессов;
- реализация плана (запуск, гашение);
- оперативное управление текущими процессами.

Управление ресурсами:

- учет и контроль выработки ресурса каждой единицей оборудования;
- планирование ремонтов и замены;
- контроль расходуемых материалов.

Управление знаниями:

- учет, хранение и анализ типовых конфигураций ТОУ;
- использование «процедур» с участием персонала;
- анализ эффективности работы персонала по критериям качественного ведения ТП (минимум защит, равномерность загрузки оборудования, щадящий режим и т. д.).

3.2. Система верхнего (блочного) уровня АЭС

Создаваемая в ИПУ система верхнего (блочного) уровня АСУТП АЭС [6] — это система автоматического сбора, хранения и представления информации о текущем состоянии ТОУ и автоматизированного дистанционного формирования команд

управления механизмами и алгоритмами АСУТП. Она создается с целью обеспечения централизации контроля и управления ТП для достижения:

- экономически эффективного производства электроэнергии;
- соблюдения эксплуатационных пределов;
- соблюдения пределов и условий безопасной эксплуатации оборудования;
- ограничения радиационного воздействия, обеспечивающего не превышение установленных пределов на персонал, население и окружающую среду в нормальных и аварийных условиях;
- улучшения характеристик технологических процессов и работы технологического оборудования;
- уменьшения трудоемкости эксплуатации оборудования, улучшения ремонтпригодности технических средств, снижения численности обслуживаемого персонала, улучшения потребительских характеристик элементов АСУТП;
- улучшения условий труда персонала, сокращения его числа и уменьшения последствий от ошибочных действий оператора.

Система верхнего (блочного) уровня представляет собой распределенную вычислительную систему, основными элементами которой являются АРМ, дублированные серверы и локальная вычислительная сеть.

Взаимодействие СВБУ со смежными программно-техническими комплексами АСУТП осуществляется через шлюзы, подключенные к локальной вычислительной сети СВБУ, в которых на программном уровне обеспечивается информационная совместимость с СВБУ.

Особенность взаимодействия элементов СВБУ заключается в применении технологии «клиент-сервер», благодаря которой алгоритм функционирования каждой подсистемы разбивается на совокупность алгоритмов функционирования шлюзов, серверов и рабочих станций, решающих соответствующие им задачи внутри себя и обменивающихся между собой сетевыми сообщениями.

Система рассчитана на обработку не менее 6 тыс. аналоговых и 20 тыс. дискретных сигналов и обладает следующими показателями временной задержки прохождения сигналов: на команду оператора — не более 2 с; на запрос оператора о представлении оперативной технологической информации на экране дисплея — не

более 2 с. Средняя наработка на отказ не менее 10^5 ч.; коэффициент неготовности не более 10^{-5} .

Система является полностью российским изделием, построенным на основе только отечественных комплектующих, аттестованных Минатомом РФ. Техническая документация разработана по российским нормам.

Программное обеспечение СВБУ разработано на основе собственных программных компонентов ИПУ и свободно распространяемых продуктов, которые верифицированы ИПУ и аттестованы для применения в атомной энергетике.

Все технические решения и программное обеспечение обладает полной лицензионной чистотой, что позволяет ИПУ гарантировать поддержку системы в течение всего срока жизни АЭС (тридцать лет).

Система верхнего (блочного) уровня производства ИПУ поставляется на АЭС «Бушер» (Иран) в 2003 г., планируется поставка на АЭС «Кудамкулам» (Индия). Частично программное обеспечение СВБУ поставляется на отечественные АЭС (Ростовскую и Калининскую) и АЭС в Китае.

Применение теоретических и технических решений СВБУ в энергетике и других отраслях может существенно поднять уровень автоматизации задач управления этими объектами.

3.3. Автоматизация процессов энергоснабжения

К технологическим процессам энергоснабжения, подлежащим автоматизации, относятся процессы передачи, преобразования и потребления энергии. Они значительно проще рассмотренных выше, но объекты, в которых они протекают, очень многочисленны, распределены по большой территории, относятся к предприятиям различной ведомственной принадлежности, финансирующимся из местных бюджетов. В силу этих особенностей в данной части энергетической цепочки наблюдаются наибольшие потери энергии. Вот почему важное значение приобретает системный подход к управлению энергоснабжением как к единой системе производства, распределения и потребления энергии от отдельного источника до каждого потребителя включительно.

Как сказано во Введении, проблемы при передаче и преобразовании энергии связаны с используемым

оборудованием, системами автоматизации технологических процессов в преобразователях энергии (тепловых пунктах, трансформаторных подстанциях, насосных станциях и т. д.). Эти вопросы решаются АСУТП энергоснабжающих предприятий. В процессе потребления энергии выделим контроль за ее расходом. Только измерив полезный отпуск энергии, можно оценить эффективность систем энергоснабжения. В настоящее время начинается активный процесс установки приборов учета у потребителей и создание автоматизированных систем по сбору и обработке данных.

Ниже на примере работающей системы кратко рассматривается подход ИПУ РАН к управлению энергоснабжением как к единой системе производства, распределения и потребления энергии от отдельного источника до каждого потребителя включительно, а также возможности проектируемой АСКУЭПР, одна из функций которой состоит в обеспечении данными указанной системы управления.

3.3.1. Управление теплоснабжением как единой системой производства, распределения и потребления энергии

По заказу Правительства Москвы Институтом проблем управления разработана и внедряется в промышленную эксплуатацию автоматизированная система контроля балансов в теплоснабжении города. В этой системе городская энергетика представляется в виде совокупности цепочек производства, передачи и потребления тепловой энергии от каждого источника отдельно. В виде электронных схем представлены все маршруты транспорта тепловой энергии от ТЭЦ, РТС и малых котельных до каждого строения города и организована передача данных из теплоснабжающих предприятий об объемах генерации и потребления тепловой энергии. Система содержит промышленную СУБД «Oracle» и использует корпоративную вычислительную сеть Управления топливно-энергетического хозяйства Москвы. База данных и программное обеспечение позволяют рассчитать потребление тепловой энергии в строениях города с учетом фактической температуры наружного воздуха и сравнить эти данные с измеренными приборами учета значениями (на тепловых пунктах и строениях), выполнить анализ обеспеченности строений тепловой энергией, потерь энергии в целом и по объектам (источник, магистраль,

тепловой пункт), эффективности цепочек теплоснабжения, распределения объемов потребляемой энергии по отраслям народного хозяйства и тарифным группам, а также информировать жителей города о причинах отключений и сроках ремонтных работ.

По заказу Правительства Москвы ИПУ приступил к разработке автоматизированной информационной системы сбора и обработки данных о себестоимости процесса теплоснабжения города. Выполнение всего цикла работ позволит получить объективные оценки эффективности процессов теплоснабжения от разных источников энергии, выявить потери энергии и рассчитать необходимые энергосберегающие мероприятия.

3.3.2. Автоматизированная система контроля, учета и управления эффективностью производства и распределения мощности и энергии (тепловой и электрической) региональной энергокомпании – АСКУЭПР «Регион»

Первым шагом технологий в области контроля и учета энергоресурсов является внедрение автоматизированных систем коммерческого учета энергии (АСКУ).

Институт проблем управления РАН вместе с организациями-партнерами ЗАО «Интерэнергоинжиниринг» и ИВЦ АО «Мосэнерго» предлагает один из путей решения задачи снижения расхода топлива на производство заданного количества электроэнергии и тепла в реальном масштабе времени – создание АСКУЭПР «Регион».

Первые пилотные проекты, осуществляемые в настоящее время – АСКУЭПР «Мосэнерго» и АСКУЭПР «Москва»; АСКУЭПР Москва реализуется на основании распоряжения Правительства Москвы. Она состоит из подсистем:

- контроля и учета коммерческих показателей электроэнергии, тепла, топлива и воды (АСКУКП);
- оперативного расчета топливной составляющей себестоимости электроэнергии и тепла;
- расчета оптимальных режимов работы оборудования электростанций и энергосистемы в целом.

На наш взгляд, отличительные особенности создаваемой АСКУЭПР Москва состоят в следующем [7].

- Создание единого информационного пространства в пределах энергосистемы, отражающего исто-



рию и текущее состояние фактических и расчетных коммерческих показателей, осуществление контроля за состоянием и изменением баз данных энергоносителей и балансовых составляющих.

- Расчет оптимального режима работы оборудования энергосистемы по экономическим критериям с учетом экологических и химических режимов (расчетные коммерческие показатели).
- Интеграция различных подсистем АСКУКП и АСУТП на базе международных стандартов информационного обмена (OLE-OPC стандарт).
- Обмен информацией с верхними уровнями интегрированной АСУ ТЭС, энергосистемы, в том числе с выходом на Федеральный оптовый рынок электрической энергии (ФОРЭМ).
- Обеспечение повышенных требований к информационной безопасности среды.

Полномасштабная реализация системы позволит:

- осуществлять оперативный контроль и управление выработкой электроэнергии и тепла в энергосистеме по экономическим критериям;
- получать объективную информацию в реальном масштабе времени коммерческим диспетчерам для принятия решений об эффективной нагрузке энергосистемы;
- снизить затраты на производство электроэнергии и тепла;
- обеспечить единство коммерческих приборов с поставщиками топлива и воды на основе коммерческих показателей;
- вести учет работы энергосистемы на основе коммерческих показателей в 30-минутном цикле.

В настоящее время ведутся работы по внедрению АСКУЭПР «Москва» на 14-ти московских ТЭС. Выполняются проектные работы, поставка оборудования, монтажные и наладочные работы.

Основные целевые функции, которые должна реализовать рассматриваемая технология:

- автоматизированный контроль показателей технического состояния средств учета энергоресурсов;
- обнаружение и локализация факта и определение причин выхода показателей состояния этих средств за предписанные границы;
- создание и сопровождение моделей балансов материальных и энер-

гетических потоков ТЭС и энергосистемы;

- создание и сопровождение моделей технико-экономических показателей ТЭС и энергосистемы с целью автоматизации расчетов нормативных и фактических ТЭП в реальном масштабе времени;
- решение задач многокритериальной оптимизации распределения электрических и тепловых нагрузок ТЭС и энергосистемы;
- генерация множества возможных решений оператора-диспетчера АСКУЭПР;
- информационная поддержка оператора-диспетчера;
- верификация знаний о моделях на основе автоматизированного эксперимента и баз знаний;
- сквозное моделирование бизнес-процессов производства, распределения и потребления энергоресурсов с целью применения функционально-стоимостного анализа производства и распределения энергоресурсов на всех уровнях АСКУЭПР [8, 9].

Основу моделирующего комплекса АСКУЭПР составляют балансовые модели тепловой и электрической энергий, а также балансовые модели сетевой воды, стоков, различные модели баланса по пару и газу и модели технико-экономических показателей ТЭС.

3.3.3. Разработка и внедрение автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии для работы на Федеральном оптовом рынке электрической энергии и мощности учреждений РАН и Минатома РФ

Институт проблем управления РАН предлагает решение проблемы коммерческого учета электроэнергии для консолидированных потребителей электроэнергии – институтов РАН, расположенных в пределах одного региона. Большинство институтов РАН имеют заявленную электрическую мощность 1...5 МВт и годовое потребление электроэнергии 50...200 тыс. кВт·ч и закупают электроэнергию у региональных АО-энерго. Тарифы на электроэнергию на ФОРЭМ в 1,5...2 раза ниже тарифов региональных АО-энерго. Поскольку к участию на рынке оптовой продажи энергии допускаются только крупные потребители с заявленной мощностью не менее 20 МВт и потреблением электроэнергии не менее 100 млн. кВт·ч, проблему выхода на ФОРЭМ можно решить путем объединения (консо-

лидации) потребителей энергии. Подобное решение планирует для своих учреждений Минатом РФ, поэтому целесообразно создавать общие АСКУЭ ФОРЭМ для консолидированных потребителей энергии РАН и Минатома РФ (пилотные проекты можно было бы реализовать в виде демонстрационной зоны – на базе институтов РАН Москвы и институтов СО РАН).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные новые теоретические результаты по перспективным методам управления поточными технологическими процессами и предложения по созданию инструментальной системы нового поколения, аккумулирующей в себе новые результаты по методам управления, а также опыт ИПУ РАН по внедрению конкретных систем автоматизации процессов разного уровня для предприятий энергетики позволяют утверждать, что внедрение этих результатов даст возможность коренным образом повысить уровень автоматизации технологических процессов и тем самым повысить эффективность энергетического хозяйства страны.

Разумеется, создание новых инструментальных средств и соответствующей методологической и нормативной базы проектных работ потребует существенных инвестиций и организационных решений, но, как нам представляется, эти инвестиции направлены на создание наукоемкой продукции, имеют конкретную направленность, окупятся довольно быстро, создаст фронт работ для учреждений РАН.

В качестве общих организационных методов решения указанных проблем ИПУ РАН предлагает воспользоваться опытом США в области создания открытых (бесплатных) систем. Суть его состоит в том, что некоммерческие организации (университеты, исследовательские центры) создают высококачественные методические материалы в форме стандартов, пособий, рекомендаций, а также свободно распространяемого программного обеспечения, которые затем передаются промышленности бесплатно. Не принося прямого дохода, эта деятельность обеспечивает общее преимущество США в области высоких технологий.

В России роль некоммерческих организаций могут взять на себя институты РАН, которые обладают значительным потенциалом и могут соз-

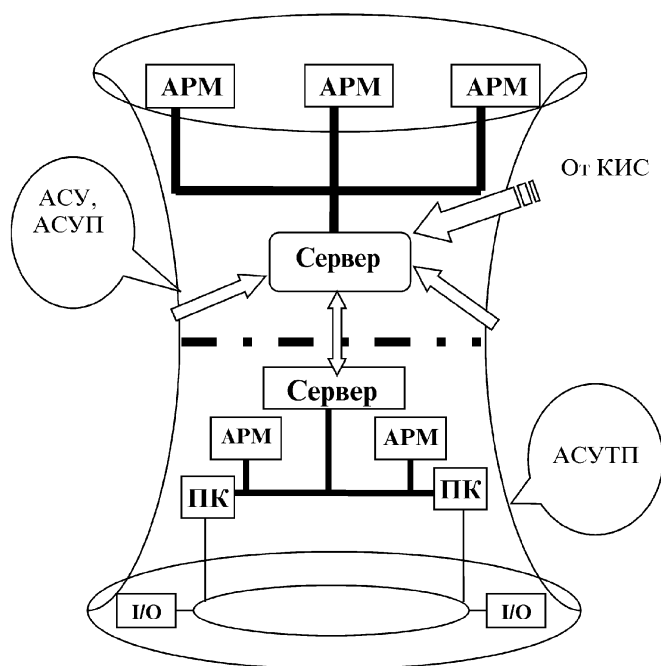


Рис. 6. Обобщенная структура перспективной АСУТП

гиперболоида в верхней части отражает значительное расширение сети АРМ профильных специалистов (контур супервизорного управления, задачи и системы АСУП), а верхняя плоскость представляет интеграцию с корпоративной системой управления информацией КИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Прангшвили И.В., Амбарцумян А.А.* Научные основы построения АСУ ТП сложными энергетическими системами. – М.: Наука, 1992.
2. *Прангшвили И.В., Амбарцумян А.А.* Основы построения АСУ сложными технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
3. *Амбарцумян А.А., Казанский Д.Л.* Управление технологическими процессами на основе событийной модели // Автоматика и телемеханика. – 2001. – №№ 10, 11.
4. *Амбарцумян А.А.* Логическое управление технологическими процессами на основе обратной связи по отклонению // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2001. – № 4.
5. *Амбарцумян А.А., Потехин А.И.* Разработка механизмов управления объектами с поточной технологией на основе событийных моделей каналов // Автоматика и телемеханика. 2003. № 4.
6. *Полетыкин А.Г., Бывайков М.Е., Менгазетдинов Н.Э., Байбулатов А.А.* Основные решения по созданию системы верхнего (блочного) уровня АСУТП АЭС // Тр. Ин-та пробл. управл. РАН. Т. – М.: ИПУ РАН. 2002. – Т. 18.
7. *Александров А.А., Антонов П.А., Боцков А.Ф., Ядыкин И.Б.* Вертикально-интегрированные автоматизированные системы контроля и учета производства и потребления энергии промышленных предприятий // Теплоэнергетика. – 2001. № 10.
8. *Методология динамического моделирования INFO/CPN/WFA* – М.: МетаТехнология, 1995.
9. *Ойхман Е.Г., Попов Э.В.* Реинжиниринг бизнеса. – М: Финансы и статистика, 1997.

☎(095) 334-87-89

E-mail: ambar@ipu.raai.ru



ABSTRACT

Pranghishvili I.V., Ambartsumyan A.A., Poletykin A.G., Grebenyuk G.G., Yadykin I.B.

AUTOMATION LEVEL OF POWER OBJECTS: CURRENT STATE ANALYSIS AND IMPROVEMENT OPPORTUNITIES

The paper analyzes the current state of various level automation systems in power engineering and emphasizes negative trends in their evolution in recent years. It describes the experience of the Institute of Control Sciences in applying process automation systems at various levels of power enterprises. New theoretical results concerning the promising process control techniques are presented. Some proposals on creating a new generation instrumental system aimed at dramatical increase of process automation level and thus the improvement of the country's power economy are formulated.