

УДК 621.18:681.56

Технология АСУТП электростанций (особенности, проблемы и перспективы развития)

Тверской Ю.С., Таламанов С.А., доктора техн. наук

Проведен анализ основных проблем технологии создания и эксплуатации АСУТП ТЭС, реализуемых на базе программно-технических комплексов сетевой организации. Дано обобщение результатов исследований кафедры систем управления ИГЭУ по совершенствованию технологии сквозного проектирования и развитию функциональной структуры АСУТП ТЭС.

Ключевые слова: технология АСУТП, сквозное проектирование, функциональная структура АСУТП.

Automatic process control system technology for power plants (specific features, problems and development outlook)

TVERSKOY U.S., doctor of science, TALAMANOV S.A., doctor of science

The analysis of the main problems of design and operation technology for automatic control process systems based on networked hardware and software complexes of thermal power plants is conducted. The abstract of research results of the end-to-end design and development of the automatic control process system functional structure for thermal power plants is presented.

Keywords: automatic process control system technology, end-to-end design, automatic control process system functional structure.

Введение. Важным направлением развития энергетики страны в последние годы становится ввод в действие новых энергоблоков на строящихся и реконструируемых тепловых электростанциях (ТЭС). Новые энергоблоки исходно оснащаются полномасштабными многофункциональными автоматизированными системами управления (АСУТП), которые охватывают контролем и управлением как тепломеханическое, так и электротехническое оборудование энергоблока. Среди особенностей полномасштабных АСУТП необходимо выделить две наиболее важные (определяющие).

1. АСУТП создаются на базе программно-технических комплексов (ПТК) сетевой иерархической структуры, при этом базовый ПТК является основным системообразующим компонентом и служит основой единой информационно-технологической среды энергоблока.

2. Алгоритмы реализации информационных и управляющих функций АСУТП реализуются в виде прикладного программного обеспечения (ППО) системы (преимущественно в виде ППО контроллеров в составе ПТК АСУТП).

Важно отметить существенное отличие ПТК как центрального компонента полномасштабной АСУТП от ранее используемых «традиционных» технических средств автоматизации (ТСА). «Традиционные» ТСА исходно распределены по достаточно автономным функциональным подсистемам (КИП, приборы автоматического регулирования, аппаратура технологических защит и блокировок, информационно-вычислительные системы и др.) и технологическим зонам энергетического объекта. Соответственно, исторически ТСА рассматривались как необходимое дополнение к основному энер-

гетическому оборудованию, т.е. реализуемые на их основе системы контроля и управления (СКУ) считались вспомогательным оборудованием в составе энергетического объекта. С заменой «традиционных» ТСА на ПТК сетевой иерархической структуры статус системы управления (АСУТП) кардинально изменился – ПТК АСУТП (основной системообразующий компонент) ныне рассматривается как основное оборудование любого энергетического объекта.

Основные проблемы полномасштабных АСУТП связывают с недостаточным техническим уровнем ПТК, неотработанностью алгоритмов управления и несовершенством технологии создания системы [1]. Эти проблемы являются актуальными не только для электрогенерирующих компаний, но и для строящихся электростанций других участников рынка электроэнергии и мощности (ОАО «Газпром», нефтяные компании и др.).

Проблема технического уровня ПТК в последние годы во многом утратила свою остроту вследствие широкого применения (при разработке ПТК) достижений в области новых информационных технологий и накопленного опыта по отработке инструментальных средств реализации типовых информационных и управляющих функций для впервые вводимых в действие полномасштабных АСУТП [2, 3 и др.]. Однако, выходя за пределы типовых функций в направлении создания интеллектуальных АСУТП, следует признать, что возможности современных ПТК весьма ограничены.

Что касается проблем неотработанности алгоритмов управления и несовершенства технологии создания АСУТП, то степень их остроты во многом определяется следующим фактором: создается АСУТП для нового энергоблока

или в процессе модернизации существующей системы контроля и управления.

Для варианта модернизации СКУ к настоящему времени накоплен положительный опыт решения основных проблемных организационно-технических вопросов, в том числе [4, 5 и др.]:

– каким образом сформировать концепцию модернизации и определить технические требования к АСУТП?

– как провести границу модернизации?

– по каким критериям выбирать организацию разработчика АСУТП с тем, чтобы не допустить превращения собственного энергетического объекта в полигон для отработки инструментальных средств базового ПТК?

Надо отметить, что к настоящему времени основные организации, работающие на рынке АСУТП ТЭС, в состоянии выполнить модернизацию с заменой традиционных СКУ на полномасштабную АСУТП в достаточно короткие сроки (от 6 месяцев до 1 года) с сохранением или несущественным развитием достигнутого уровня автоматизации. Таким образом, при использовании ранее отработанных алгоритмов управления (при сохранении ранее достигнутого уровня автоматизации) проблема несовершенства технологии создания АСУТП в ходе модернизации существующей СКУ оказывается скрытой (незамечаемой).

Более того, полученный положительный опыт создания полномасштабных АСУТП в результате модернизации СКУ породил иллюзию безболезненного решения этой задачи и для новых энергоблоков.

Однако опыт ввода в действие новых энергоблоков с АСУТП на базе ПТК в последние годы свидетельствует об ином:

– уровень готовности алгоритмов управления и соответствующего прикладного ПО к моменту ввода АСУТП в действие остается низким даже для базовых функций – технологические блокировки, автоматические системы регулирования (АСР) и др.;

– объем изменений (технических решений), вносимых в алгоритмы управления на этапе ввода системы в действие, недопустимо велик;

– освоение функциональных задач «верхнего» уровня (АСР мощности энергоблока, программы автоматического пуска и останова оборудования, сложные технологические блокировки), по существу определяющих современный уровень автоматизации, растягивается на неопределенно длительный интервал времени и др.

Как следствие, процесс освоения новых энергоблоков зачастую сопровождается большими издержками (существенная часть отказов связана с АСУТП) и использованием технологического оборудования в качестве полигона для отладки АСУТП. Таким образом, для АСУТП новых энергоблоков становятся вновь актуальными проблемы, характерные для середины 1980-х годов [6].

Преодоление отмеченных проблем непосредственно связано с совершенствованием тех-

нологии создания современных АСУТП, основные стадии и этапы которой представлены в виде соответствующей схемы (рис. 1). В левой части схемы, в соответствии с расширенной концепцией проектирования систем управления, выделены основные стадии создания АСУТП [7, 8 и др.]:

1) начальная стадия (предконтрактные работы);

2) функциональное проектирование (синтез алгоритмов управления и разработка ППО);

3) конструкторское проектирование (проект технической структуры);

4) ввод в действие (технологическое проектирование).

Ниже сделана попытка анализа особенностей и проблем освоения АСУТП ТЭС, обсуждаются некоторые практические результаты по совершенствованию новой технологии АСУТП как основного научного направления кафедры систем управления ИГЭУ и перспективы ее развития.

Анализ проблем начальной стадии создания АСУТП. На начальной стадии (предконтрактные работы) основными задачами являются: определение технического облика создаваемой АСУТП; принятие решения по выбору фирм-поставщиков ПТК; оценка стоимости создания системы. Технический облик создаваемой АСУТП, как правило, формируется в виде концепции и технических требований, в которых определяются технологические границы системы, количество и типы датчиков и исполнительных устройств, функции АСУТП (включая состав автоматических регуляторов, технологических защит и т.д.) и др.

Далее, на уровне технического задания, требования к АСУТП детализируются: формируется база данных датчиков и исполнительных устройств; конкретизируются требования к составу и характеристикам функций; определяются общие требования к системе (надежность, быстродействие, точность и т.д.); формируются требования к ПТК как основному системообразующему компоненту АСУТП (требования к аппаратным средствам, инструментальному программному обеспечению, технической документации на ПТК) и др.

Решение по выбору фирм-поставщиков ПТК, ответственных за создание АСУТП в целом, принимается путем проведения конкурса, в ходе которого по техническим требованиям заказчика фирмы-участницы формируют собственные технико-коммерческие предложения.

Основной недостаток регламентов современных тендерных мероприятий – исключение процедуры технического аудита и независимой научно-технической экспертизы.

В целом для начальной стадии создания АСУТП энергетических объектов в качестве характерных можно указать следующие недостатки:

– отсутствие процедуры сертификации предлагаемых ПТК на соответствие отраслевым техническим требованиям [9] привело к

тому, что в конкурсах наряду с организациями, специализирующимися на разработке АСУТП для ТЭС, участвуют фирмы-интеграторы, работающие в области промышленной автоматизации и имеющие недостаточное представление о специфике, сложности и ответственности энергетических объектов. Можно привести примеры того, как заказчик получает при меньшей исходной стоимости большие издержки при вводе в действие и эксплуатации системы (отказы, аварии и т.д.), т.е. выбор заказчиком фирмы-разработчика, которая не имеет достаточного опыта работы в энергетике, связан с большими рисками для безопасной и надежной работы самого энергетического объекта;

– ряд составляющих технологического оборудования энергоблоков поставляют комплектно с собственными ПТК, применение ко-

торых далеко не всегда обосновано. Как следствие, на некоторых новых энергоблоках в составе АСУТП функционируют одновременно 5 и более разнородных (информационно несовместимых) ПТК со всеми вытекающими проблемами для формирования единой информационно-технической среды и, естественно, для эксплуатационного персонала ТЭС;

– при проведении большинства конкурсных мероприятий искусственно исключается этап технического аудита, предполагающий выезд рабочей группы заказчика и экспертов на объект с внедренными АСУТП на предлагаемом ПТК. В результате заказчик вынужден принимать решение по декларируемым показателям, заявленным в технико-коммерческих предложениях фирм, без проверки их соответствия фактическим значениям;

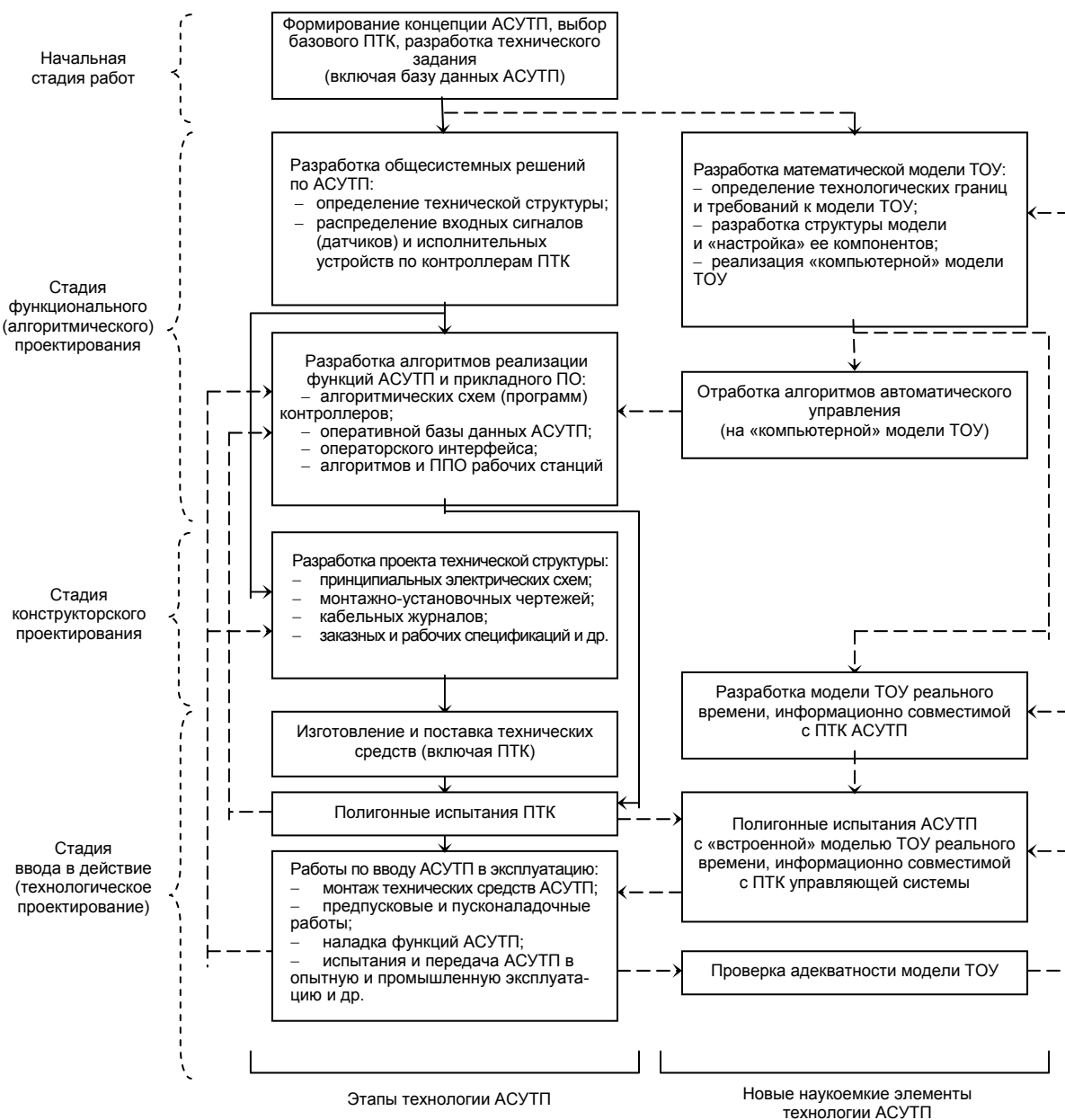


Рис.1. Направления развития технологии создания АСУТП

– подведение итогов большинства конкурсов проводится по формальным стоимостным критериям без предварительной независимой научно-технической экспертизы технического уровня предлагаемых решений.

С другой стороны, по ряду сегментов рынка АСУТП наметилась тенденция к его монополизации с соответствующими прямыми финансовыми издержками для заказчиков в связи с искусственным ограничением состава фирм-претендентов на поставку АСУТП для того или иного типа оборудования.

Таким образом, общепринятые и понятные процедуры проверки соответствия предлагаемых ПТК отраслевым требованиям, а также правила проведения конкурсных мероприятий по выбору разработчика АСУТП, которые способствуют развитию конкурентной среды и продвижению наиболее эффективных технических решений, до настоящего времени, к сожалению, отсутствуют. В целом необходимо констатировать, что становление цивилизованного рынка АСУТП в энергетике неоправданно затянулось.

В этих условиях представляется полезным опыт экспертной группы кафедры систем

управления ИГЭУ по выполнению работ начальной стадии создания АСУТП для ряда электростанций, генерирующих компаний и ОАО «Инженерный центр ЕЭС» [4, 5, 7, 8, 10 и др.]. Обобщение этого опыта позволяет определить в качестве наиболее целесообразной схему выполнения работ начальной стадии создания АСУТП, представленную на рис. 2.

В отмеченной последовательности работ наиболее важными являются этапы формирования концепции и технических требований к АСУТП, экспертиза технико-коммерческих предложений, проведение обучения специалистов заказчика новой технологии АСУТП и технический аудит предлагаемых решений. Выполнение этих работ группой независимых экспертов (технических «адвокатов» заказчика) позволяет, как правило, избежать принципиально ошибочных технических решений и в максимальной степени учесть опыт создания АСУТП аналогичных энергетических объектов с применением предлагаемых ПТК различного уровня (как отечественный, так и зарубежный).

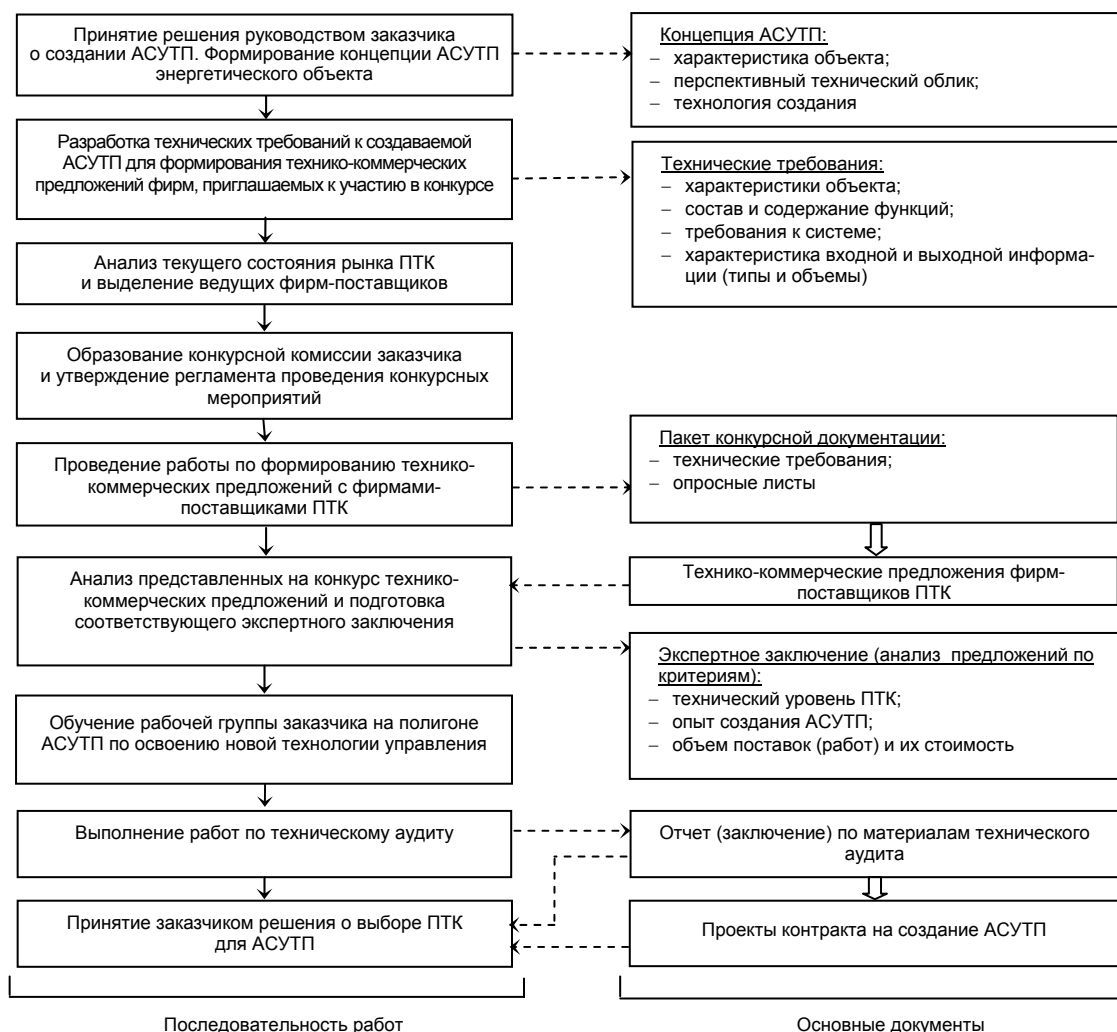


Рис. 2. Последовательность работ и основные документы начальной стадии создания АСУТП

Анализ проблем проектирования и ввода в действие АСУТП. Основные стадии создания АСУТП включают в себя функциональное и конструкторское проектирование, а также ввод в действие системы управления (рис. 1).

На стадии *функционального проектирования* формируется техническая структура АСУТП (включая проектную компоновку ПТК), определяются алгоритмы реализации функций АСУТП (в том числе, схемные решения по автоматическому регулированию), разрабатывается прикладное ПО (ППО контроллеров; ППО рабочих станций, включая операторский интерфейс и оперативную базу данных). Основное содержание работ на этой стадии связано с разработкой алгоритмов реализации наиболее сложных функций АСУТП (автоматическое регулирование, функционально-групповое логическое управление и др.).

На стадии *конструкторского проектирования* разрабатывается рабочая документация проекта технической структуры (принципиальные электрические схемы, монтажно-установочные чертежи, кабельные журналы и т.д.) преимущественно в части «полевого» оборудования АСУТП. При этом проектные решения по подключению к ПТК датчиков технологических параметров и исполнительных устройств реализуются на основе соответствующих стандартных схем, а в целом объем конструкторского проектирования АСУТП на базе ПТК существенно сокращается, по сравнению с традиционной СКУ, в связи с реализацией функциональных задач преимущественно в виде ППО системы.

На стадии *ввода в действие (технологического проектирования)* проводятся полигонные испытания ПТК и выполняются работы по вводу АСУТП в действие. При этом полигонные испытания ПТК включают в себя компоновку его аппаратных средств, загрузку фирменного (инструментального) ПО и проверку работоспособности программно-аппаратных средств в целом. Проверка правильности функционирования собственно алгоритмов контроля и управления, реализуемых ППО системы, как правило, не производится.

По современному состоянию, основным узким местом на центральных стадиях создания АСУТП ТЭС является недостаточный уровень отработанности алгоритмов управления и соответствующего прикладного ПО на момент ввода системы в действие, а также невозможность гарантировать отсутствие ошибок в большом объеме документации и прикладного ПО АСУТП.

Одним из наиболее перспективных способов недопущения ошибок в конструкторской документации на техническое обеспечение АСУТП представляется переход на преимущественно автоматическое ее формирование с использованием интеллектуальных САПР. Например, при

применении специализированной САПР AutomaticS-ADT, реализующей агрегативно-декомпозиционную технологию [11,12 и др.].

Что касается основной проблемы недостаточной отработанности алгоритмов управления и прикладного ПО, то основным направлением совершенствования технологии создания АСУТП ТЭС является разработка и реализация математических моделей теплоэнергетического оборудования как технологического объекта управления (ТОУ).

При этом технология создания АСУТП как наукоемкого изделия должна быть расширена путем включения дополнительных этапов (элементов), предполагающих разработку и применение математических моделей теплоэнергетического оборудования на следующих стадиях создания АСУТП (рис. 1):

- на стадии функционального проектирования – в виде универсальной «компьютерной» модели, используемой для отработки алгоритмов автоматического управления;

- на стадии ввода в действие (технологическое проектирование) – в виде модели реального времени, информационно совместимой с ПТК (например, реализуемой средствами ПТК) и используемой для отработки прикладного ПО основных функциональных задач АСУТП.

Модели реального времени, информационно совместимые с ПТК, имеют многоцелевое назначение. Они должны использоваться как для своевременной подготовки персонала заказчика в целях адекватного представления особенностей новой технологии и оперативного функционирования в новой системе, так и для активного участия в отработке прикладного ПО функциональных задач АСУТП при предварительном принятии ПО от пуско-наладочной организации на соответствующем полигоне¹.

¹ Возможность реализации данного подхода с предварительным решением упомянутых проблем была предусмотрена ТЭО (2003 г.) реконструкции Ивановской ГРЭС для головного энергоблока ПГУ-325 (филиал «Ивановские ПГУ» ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС») и техническим заданием (2009 г.) на второй пусковой комплекс в виде строительства учебно-тренажерного комплекса (УТЦ ПГУ ТЭС) на базе Ивановского государственного энергетического университета. Однако, несмотря на неоднократно принимаемые на достаточно высоком уровне положительные решения по этому вопросу (РАО «ЕЭС России» – А.Б. Чубайс, «ИНТЕР РАО ЕЭС» – Е.В. Дод), строительство УТЦ до сих пор не финансируется. Причина тому, по нашему мнению, отсутствие единой технической политики в области энергетического строительства и созданные псевдорыночные противовесы, когда даже чиновник методической комиссии генерирующей компании может дезавуировать принятые стратегические технические решения. В этом истоки многих известных экстремальных ситуаций (но это тема отдельной статьи).

Предварительная приемка АСУТП в условиях полигона исключает риски повреждения технологического оборудования, имеющие место при отладке АСУТП на «живом» объекте (как это иногда происходит в действительности).

В целом математические модели ТОУ для многоцелевого применения должны удовлетворять следующим требованиям [1, 8 и др.]:

- должны быть реализуемы как с помощью универсальных систем имитационного моделирования сложных динамических систем («компьютерные» модели), так и средствами ПТК АСУТП (модели реального времени);

- должны иметь открытую структуру, т.е. должна быть обеспечена возможность перехода от упрощенных структур к более полным, учитывающим специфические особенности конкретных установок;

- должны быть всережимными и ориентированы на решение широкого класса задач управления и диагностирования ТОУ;

- должны предусматривать возможность проверки их адекватности с учетом результатов функционирования реального ТОУ.

С учетом этих требований наиболее перспективным представляется использование двух известных подходов к построению математических моделей теплоэнергетического оборудования:

- *аналитического подхода*, предполагающего построение нелинейной модели (на основе фундаментальных физических законов в форме систем дифференциальных уравнений);

- *экспериментального подхода*, предполагающего решение задач идентификации с получением соответствующих моделей «вход-выход» по отдельным каналам ТОУ.

Для совершенствования технологии создания АСУТП представляется рациональным использовать в основном аналитические модели (как базовые для этапов функционального проектирования) с их последующим дополнением моделями «вход-выход» на стадии ввода системы в действие, т.е. при наличии возможности идентификации ТОУ и действующих на него возмущений. При этом важным направлением применения экспериментальных моделей «вход-выход» является оценка адекватности исходных аналитических моделей во временной и частотной областях в линейных приближениях. Кроме того, при построении АСУТП путем согласования ТОУ и управляющей системы (УС) перспективным видится также применение аналитических моделей теплоэнергетического оборудования, разрабатываемых для компьютерных тренажерных комплексов.

Рассмотренный подход к совершенствованию технологии АСУТП энергоблоков ТЭС развивается на кафедре систем управления ИГЭУ по следующим основным направлениям:

- развертывание и применение в учебном процессе и научных исследованиях полиго-

нов АСУТП [13–15 и др.]. Техническая структура полигонов в основном идентична промышленным АСУТП с дополнением в виде зоны проектирования прикладного ПО, а функциональная структура включает в себя подсистему моделей ТОУ реального времени наряду с основной управляющей системой;

- разработка аналитических моделей теплоэнергетического оборудования, исходно ориентированных на функционирование в режиме реального времени в составе АСУТП на базе ПТК сетевой организации [16, 17 и др.];

- развитие методов и средств идентификации ТОУ с определением интервальных оценок частотных характеристик как меры адекватности получаемых моделей и формированием базы экспериментальных динамических характеристик [18, 19 и др.];

- совершенствование инструментальных средств автоматизации проектирования технической структуры АСУТП на основе АДТ-технологии [11, 12 и др.];

- экспертиза технических решений по АСУТП, включая проверку соответствия объема решаемых функциональных задач (например, контроль технологических параметров) требованиям нормативных документов и оценку работоспособности алгоритмов управления [7, 8 и др.];

- разработка новых функциональных расчетно-диагностических задач АСУТП, в том числе: контроль показателей качества автоматического регулирования, диагностирование регулирующих органов (на энергоблоках ПГУ-450, ст. №1 Филиала «Калининградская ТЭЦ-2» и ПГУ-325, ст. №1 Филиала «Ивановские ПГУ» ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС») и автоматизация настройки АСР [8, 20 и др.].

В целом работы кафедры систем управления ИГЭУ направлены на развитие методологии и совершенствование инструментальных средств технологии сквозного проектирования систем управления в целях повышения уровня готовности АСУТП на момент ее ввода в действие. При этом достигнутые в отмеченных направлениях результаты позволяют в настоящее время сконцентрировать усилия на построении интеллектуальных АСУТП с возможностью диагностирования сложных технологических объектов (например, пылесистем прямого вдувания [16]) на основе обеспечения функционирования их моделей непосредственно в составе систем управления [21].

Заключение

В качестве основных проблем современных АСУТП электростанций определены несовершенство технологии выполнения работ и неотработанность алгоритмов управления. Особую остроту эти проблемы приобретают при создании АСУТП новых энергоблоков ТЭС, что ведет к низкому уровню готовности при-

кладного ПО на момент ввода системы в действие и неоправданно большим издержкам при отладке наиболее сложных управляющих функций АСУТП с использованием оборудования энергоблока в качестве промышленной экспериментальной установки.

Для начальной стадии создания системы управления выделены основные негативные тенденции, характерные для текущего состояния рынка АСУТП в тепловой энергетике. Для исключения принципиальных технических ошибок при выборе ПТК АСУТП предложена схема действий, предполагающая защиту технических интересов заказчиков (генерирующих компаний и их филиалов) на основе процедур независимой научно-технической экспертизы и технического аудита предлагаемых решений.

В качестве основного направления совершенствования технологии АСУТП на центральных стадиях сквозного проектирования (функциональное, конструкторское и технологическое проектирование) определено дальнейшее развитие технических и инструментальных средств ее поддержки. Развертывание многоцелевых полигонов АСУТП с включением в их состав дополнительной подсистемы моделей ТОУ реального времени позволяет на их основе выполнять отладку сложных алгоритмов управления и реализовывать новые функциональные задачи по управлению и диагностированию энергетического оборудования.

Список литературы

1. Тверской Д.Ю., Тверской Ю.С. Задачи и проблемы совершенствования АСУТП энергоблоков в направлении их интеллектуализации: Сб. докл. IV Всерос. науч. конф. «Управление и информационные технологии». – СПб.: ЛЭТИ, 2006. – С. 230–236.
2. АСУТП теплофикационного энергоблока на базе ПТК «Квинт» / Н.И. Давыдов, А.А. Назаров, Н.В. Смородов и др. // Теплоэнергетика. – 1996. – № 10. – С. 2–9.
3. Грехов Л.Л., Биленко В.А., Струков А.П. Модернизация системы управления блоком № 10 500 МВт Рефтинской ГРЭС // Приборы и системы управления. – 1998. – №8. – С. 45–51.
4. Модернизации АСУТП электростанций / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.В. Мурин, М.Ю. Тверской // Теплоэнергетика. – 1998. – №10. – С. 40–43.
5. Опыт формирования концепции модернизации АСУТП мощных энергоблоков тепловых электростанций / Ю.С. Тверской, В.К. Крайнов, В.Н. Шамко и др. // Электрические станции. – 2002. – № 8. – С. 4–12.
6. Что мешает внедрению АСУТП? / В.Д. Миронов, Э.К. Ринкус, Ю.С. Тверской и др. // Теплоэнергетика. – 1989. – № 4. – С. 72–76.
7. Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Мурин А.В. Особенности новой технологии создания АСУТП на базе ПТК сетевой организации // Автоматизация в промышленности. – 2003. – № 4. – С. 3–6.
8. Технология АСУТП электростанций / Под ред. Ю.С. Тверского: Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «XII Бернардосовские чтения»; Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005.
9. РД 153-34.1-35.127-2002. Общие технические требования (ОТТ) к программно-техническим комплексам (ПТК) для АСУТП тепловых электростанций. – М.: СПО ОРГРЭС, 2002.
10. О формировании технической политики электростанций по модернизации систем контроля и управления и созданию полнофункциональных АСУТП / В.К. Крайнов, Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов и др. // Электрические станции. – 2002. – №1. – С. 10–13.
11. Агрегативно-декомпозиционная технология автоматизированного проектирования систем контроля и управления ТЭС / Е.С. Целищев, А.Г. Салин, Н.В. Никольский // Теплоэнергетика. – 1997. – № 10. – С. 28–33.
12. Целищев Е.С., Салин А.Г., Пантелеев Е.Р. Автоматизированное проектирование технического обеспечения систем контроля и управления в среде AutomatiCS: Учеб. пособие / Под ред. Ю.С. Тверского; ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2006.
13. Тверской Ю.С., Аракелян Э.К., Кузнецов С.И. Подготовка и повышение квалификации специалистов в области современных АСУТП электростанций // Теплоэнергетика. – 2006. – №11. – С. 70–74.
14. Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Голубев А.В. Освоение новой технологии АСУТП в учебно-научном процессе энергетического университета // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – № 6. – С. 6–9.
15. Устройство подготовки эксплуатационного персонала энергетического оборудования. Патент на изобретение № 2282248 / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.В. Голубев и др. – Заявка № 2005101012 от 18.02.2005 г.
16. Имитационная модель пылесистем по схеме прямого вдувания паровых котлов (теоретические основы и технология реализации в составе АСУТП) / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, Д.Ю. Тверской и др. // Теплоэнергетика. – 2005. – № 9. – С. 61–69.
17. Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Никоноров А.Н. Особенности реализации имитационных моделей непрерывных технологических объектов в составе АСУТП тепловых электростанций: Тр. III Междунар. науч. конф. «Идентификация систем и задачи управления (SICPRO-04)». – М.: ИПУ РАН, 2004. – С. 660–672.
18. Агафонова Н.А., Таламанов С.А., Тверской Ю.С. Анализ промышленных методик идентификации на основе критерия минимума дисперсии частотных характеристик // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 6. – С. 117–129.
19. Фонд экспериментальных динамических характеристик паровых котлов тепловых электрических станций / Д.Ю. Тверской, И.Е. Харитонов, С.А. Таламанов, Ю.С. Тверской // Теплоэнергетика. – 2005. – №10. – С. 32–35.
20. Таламанов С.А. Концепция построения станции контроля качества автоматического регулирования и автоматизации настройки АСР в составе АСУТП тепловых электростанций: Сб. докл. Всерос. науч. конф. «Управление и информационные технологии» (УИТ-2006). – СПб., 2006. – С. 196–201.
21. Тверской Ю.С., Таламанов С.А. О новом классе АСУТП, оснащаемых математическими моделями управляемого технологического оборудования // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – №8. – С. 31–33.

Тверской Юрий Семенович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой систем управления,
e-mail: tverskoy@su.ispu.ru

Таламанов Сергей Александрович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры систем управления,
e-mail: talamanov@su.ispu.ru