

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ СЕТЯМИ

ДЕМИН А.М., ШЕХТМАН М.Б., кандидаты техн. наук, КРАШЕНИННИКОВ В.С., ШАЛАЕВ К.Г., инженеры

Для многоуровневой автоматизированной системы диспетчерско-технологического управления тепловыми сетями разработаны концепция создания интегро-корреляционной итерационной АСУТП и соответствующая ей концепция интегро-корреляционного итерационного проектирования. Реализация концепций обеспечивает внедрение новых инновационных технологий как при модернизации действующих технологических процессов и производств, так и при вводе новых производственных мощностей.

*Ключевые слова:* тепловые сети, автоматизированная система управления, многоуровневая автоматизированная система управления, универсальные операционные системы.

## DEVELOPING EXPERIENCE OF HEAT NETWORK AUTOMATED DISPATCHER-TECHNICAL CONTROL SYSTEM

A.M. DEOMIN, Ph.D., M.B. SHEKHTMAN, Ph.D., V.S. KRASHENINNIKOV, engineer, K.G. SHALAEV, engineer

The work represents the idea of developing integro-correlation iterative HNACS (heat networks automated control system) for heat network multilevel automated dispatcher-technical control system and the one of integro-correlation iterative design, corresponding to it. The idea realization provides new innovation technologies introduction both under redesigning of today technological processes and productions and under new production capacity input.

*Key words:* heat networks, automated control system, multilevel automated control system, generic operating system.

**Введение.** Реструктуризация энергосистем предполагает комплексное решение задач соответствия административной подчиненности с модернизацией технологического оборудования. Большое внимание при этом уделяется автоматизации всей иерархической структуры предприятий, входящих в систему. Тем самым обозначен переход к созданию *единой системы автоматизированных технологических процессов* (ЕСАТП) областных энергосистем.

Среди объектов реструктуризации находятся компании тепловых сетей. В состав таких предприятий входят мини-ТЭЦ, малые котельные и тепловые сети областных и районных городов.

Для управления теплоэнергетическим оборудованием и процессами требуется создание *многоуровневой автоматизированной системы диспетчерско-технологического управления* (МАСДТУ).

Ниже изложены стратегия и тактика построения МАСДТУ.

Поэтапное построение ЕСАТП предполагает применение итерационной процедуры проектирования и модернизации узлов теплосети. Для внедрения *интегро-корреляционной АСУ* требуется применение итерационной модели ее проектирования и реализации. Модель проектирования, соответствующая макроархитектуре технических, программных, математических, организационных и других средств ЕСАТП, обладает интегро-корреляционными свойствами. Соответственно, поэтапное проектирование и реализация МАСДТУ требует применения *концепции интегро-корреляционного итерационного проектирования*. При достижении всего комплекса

целей, каждая из которых не может быть достигнута за счет локального использования отдельных видов АСУ, названная концепция обеспечивает согласование отдельных целей, задач, требований, норм и пр. в соответствии с деревом целей. Новая концепция наследует опыт разработки многофункциональных микропроцессорных систем управления [1] и принципы расширенной концепции сквозного проектирования [2].

Для реализации дерева целей управления *интегро-корреляционной итерационной АСУ*<sup>1</sup> (ИКИ АСУ) целесообразно использование принципа нисходящего проектирования подсистем, обеспечивающего выполнение взаимосвязанных задач компонентов.

Интегро-корреляционная МАСДТУ обеспечивает коррелированное (согласованное) решение задач управления за счет объединения локальными автоматизированными технологическими комплексами (АТК) тех задач (элементов дерева целей), которые соответствуют конкретному технологическому узлу. Итерационная модель распределяет задачи управления по фазам планирования, выполняя на каждой из них необходимый анализ и коррекцию (адаптацию процесса) для корреляции иерархии задач внутри каждой фазы и при переходе от одного этапа работы к другому. Это дает возможность координировать процессы перспективного и оперативного планирования производства, адаптации системы из-за изменения состава задач и взаимосвязей

<sup>1</sup> Поскольку среди целей АСУ – возможность дальнейшей модернизации и наращивания функций, то можно говорить о том, что и сама АСУ обладает итерационным свойством, т.е. фактически разрабатывается *интегро-корреляционная итерационная АСУ*.

между ними, а также характера взаимодействия между компонентами системы (появление на рынке нового перспективного оборудования, пожелания Заказчика и т.д.).

Поскольку в составе модернизируемой теплосети большое количество устаревшего оборудования, то особое внимание уделено контролю состояния оборудования и ходу технологических процессов. Эффективное управление с центрального диспетчерского пункта, входящего в состав МАСДТУ, предполагает значительные капитальные затраты и является перспективой развития системы. Для повышения эффективности развития и дальнейшей эксплуатации, наряду с внедрением унифицированных компонент системы, необходимо обеспечить соблюдение принципа универсализации всего комплекса автоматизированных технологических процессов.

Цели создания МАСДТУ в условиях модернизации оборудования, в том числе средств получения информации и исполнительных механизмов, определяют комплексы разнообразных задач и требований к ЕСАТП, в том числе к программно-технологическому комплексу (ПТК), обеспечивающему управление. При этом важны не только выполнение состава этих целей, задач и требований для имеющегося перечня технологического оборудования, но и возможность их комплексирования, т.е. между ними не должно быть противоречий и взаимоисключений.

В составе автоматизированных систем управления важное значение имеет качественная работа эксплуатационного персонала. Диспетчеры определяют стратегию работы АСУ, операторы-технологи решают тактические задачи, инженеры-электронники обеспечивают работоспособность технических узлов, программисты формируют информационно-алгоритмическое пространство АСУТП и т.д.

Таким образом, применительно к создаваемой МАСДТУ понятие *архитектура* включает в себя не только иерархию уровней управления, реализованных техническими и программными средствами ПТК, но и широкий круг разнотипных компонент ее макроархитектуры, в числе которых:

- *дерево целей системы*, определяющее состав, приоритеты и порядок взаимодействия целей, на достижение которых направлена система;

- *топография и топология ЕСАТП объединенных схем тепловых сетей*: режимы работы, состав и параметры автоматизированного технологического оборудования с встраиваемыми средствами контроля и управления, включая программные средства автоматизированной наладки средств автоматизации, а также территориально-технологическое взаимодействие энергетических и информационно-управляющих потоков;

- *требования к ПТК*, накладывающие ограничения на выбор технических средств автоматизации;

- *виды обеспечения ПТК*: технические, программные, математические, метрологические, лингвистические, информационные и организационные;

- *иерархия проектирования системы*: разработка, внедрение, эксплуатация и обеспечение возможности совершенствования (постановка задачи, функциональное, конструкторское и технологическое проектирование).

**Цели создания МАСДТУ.** Автоматизированная система диспетчерско-технологического управления тепловыми сетями предназначена для обеспечения качества теплоснабжения потребителей за счет автоматизации надежной и экономичной работы оборудования, ведения оптимальных режимов эксплуатации источников тепла, теплопроводов и другого оборудования теплоснабжающих предприятий, связанного с выработкой, транспортировкой и распределением тепла, а также для контроля и коммерческого учета отпуска тепла и теплоносителя на источниках и границах раздела с потребителями. Она должна быть основным звеном управления системой централизованного теплоснабжения.

При оценке эффективности работы сложной системы используется ряд критериев, многие из которых несоразмерны. В связи с этим возникает необходимость упорядочить критерии посредством их ранжирования, т.е. задания им приоритетов, или весовых коэффициентов. В первую очередь следует выделить две группы критериев – количественные и качественные.

Количественное измерение приоритетов, будучи формализованным, является относительно простым и может осуществляться, когда значение максимизируемой или минимизируемой целевой функции достигает некоторого заранее установленного уровня (КПД работы оборудования, удельные расходы топлива или электроэнергии, коммерческие показатели). При этом существуют разного рода ограничения. Например, критерий максимизации производительности теплосети может потерять свой приоритет в том случае, когда уровень производства превысит заданное значение. В таком случае тепло не будет востребовано, хотя его производство является наиболее экономичным. То есть необходимо менять состав действующих установок по производству тепла, отключая самые неэкономичные. Обеспечивая заданную производительность, добиваются критерия максимизации КПД работы теплосети.

Качественное измерение приоритетов, не будучи формализованным, предполагает решение социальных проблем, задач технологической работоспособности, специальных задач программирования и пр., среди которых коммерческие задачи могут занимать не самое важное место. Рассмотрим пример. Требуется обеспечить производство заданного количества тепла в соответствии с графиком при параллельной работе нескольких установок с максимальным КПД. Для

обеспечения надежности работы и возможности реализации автоматического управления сначала определяется оборудование, которое может обеспечить требуемый диапазон регулирования. Затем выводят на экономичные режимы работы оборудование, управляемое дистанционно (критерий максимизации КПД), и переводят в автоматический режим объекты, обеспечивающие заданный диапазон регулирования (критерий заданного графика производительности группы оборудования).

Цели создания МАСДТУ сгруппированы в соответствии с качественными приоритетами. Первая группа целей связана с обеспечением безопасности. Вторая группа направлена на выполнение специальных требований Заказчика. Третья группа целей связана с технологической работоспособностью автоматизированного объекта. В четвертую группу объединены коммерческие цели, достижение которых обеспечивает прибыль предприятия. В этой группе цели могут быть соотнесены с количественными приоритетами, которые учитывают доленое участие тех или иных составляющих в экономии ресурсов и финансовых средств, а также получении прибыли (экономия топлива и электроэнергии на собственные нужды источников тепла, КПД работы оборудования, коммерческие составляющие и пр.). Однако основная особенность объекта управления – отсутствие возможности складирования произведенной продукции. Если графики производства и потребления тепла не будут совпадать, т.е. не все произведенное тепло будет потребляться, то оно будет потеряно. Отсюда следует основная коммерческая цель – минимизировать расхождение между требуемым (заданным) и произведенным количеством тепла.

В пятую группу объединены цели, которые обеспечивают переход к *безлюдной* технологии – автоматическое управление процессами, особенно на удаленных, маломощных тепловых пунктах. С одной стороны, решается задача минимизации расходов на зарплату, т.е. имеется связь с группой коммерческих целей. С другой стороны, цель этой группы – решение задач управления оборудованием (специальная технологическая задача в комплексе задач АСУ), включая возможность встраивания в состав системы функций автоматизированной наладки, учитывающих классификационные признаки ПТК [3]. Переход к *безлюдной* технологии является завершающим этапом создания всей системы, поэтому целесообразно весь комплекс решаемых задач завершить группой целей, обеспечивающих автоматическое управление оборудованием.

Итак, в зависимости от признаков, которые имеют различное функциональное назначение, и приоритетов указанных выше качественных критериев, цели и задачи, а также требования к создаваемой МАСДТУ разделены на несколько групп (рис. 1).

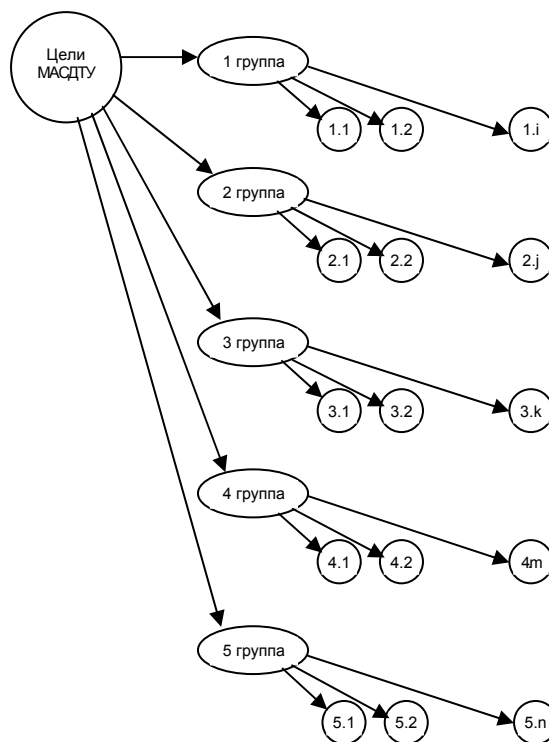


Рис. 1. Дерево целей МАСДТУ: i, j, k, m, n – количество целей в группе

1. *Обеспечение норм безопасности и жизнедеятельности географического пространства (территория области):*

- обеспечение безопасности работы персонала;
- соблюдение норм комфортности на рабочих местах оперативного и обслуживающего персонала;
- мониторинг охранной и пожарной сигнализации на объектах;
- выполнение санитарных норм, контроля вредных выбросов и пр.

2. *Специальные требования:*

- подчиненная сеть МАСДТУ тепловыми сетями, разрабатываемая как составная часть АСУТП областной энергосистемы, предназначенная для автоматизации локальных узлов – оборудования котельных и теплораспределительных пунктов, а также отдельных технологических устройств, которые объединяются в единую систему автоматизированных технологических процессов;
- обеспечение обмена информацией с вышестоящей АСУТП областной энергосистемы; совместимость протоколов связи МАСДТУ тепловыми сетями с АСУТП энергосистемы;
- унификация технических решений в составе ЕСАТП: состава технологического оборудования, средств контроля и управления, программных продуктов;
- поэтапный ввод оборудования ЕСАТП.

### 3. Технологические и технические требования:

- соответствие дерева целей МАСДТУ тепловыми сетями задачам работы технологического оборудования ЕСАТП и вычислительной сети, обеспечивающей контроль, локальное управление и диспетчеризацию (групповое управление). Это соответствие основано на совместимости узлов ЕСАТП (технологического оборудования и программно-вычислительных средств);

- обеспечение надежности работы ЕСАТП;

- автоматический контроль состояния ЕСАТП, в том числе, самодиагностика вычислительных комплексов и локальных устройств;

- информационное обеспечение эксплуатационного персонала в сетевой архитектуре ЕСАТП производственно-техническими показателями работы оборудования;

- надежность, живучесть и ремонтпригодность вычислительной сети;

- обеспечение возможности наращивания (модернизации) общих и локальных задач управления;

- соответствие уровня формируемых требований к создаваемой МАСДТУ современному состоянию техники и технологий и научным достижениям.

#### 4. Коммерческие цели:

- обеспечение соответствия графиков производства и потребления тепла;

- управление экономичностью ЕСАТП: снижение расхода топлива и электроэнергии на собственные нужды при выработке тепловой энергии, уменьшение потерь теплоносителя, снижение численности эксплуатационного персонала и т.д.;

- диагностика состояния теплотрасс и оценка потерь теплоносителя в них. Сигнализация о том, что объект затоплен;

- обеспечение необходимых диапазонов регулирования нагрузок и параметров теплоносителя локальных АТК в общем графике рабочих нагрузок теплосетей;

- функционирование в составе МАСДТУ подсистем автоматизированного контроля и коммерческого учета потребляемого топлива (газа и мазута), обеспечение телеметрической связи с поставщиками топлива, а также производимой и потребляемой тепловой энергии (подсистема учета тепловой энергии создается на базе устройства сбора и передачи данных, которое проходит метрологическую аттестацию, государственную сертификацию и включается в Государств. средств измерений Российской Федерации);

- формирование отчетных документов в виде характеристик: статических (графиков, диаграмм, таблиц и пр.), динамических (регистрация аварийных ситуаций, диагностика событий), статистических (параметры теплоносителя) и т.д.;

- функционирование пилотных моделей (технологических и программных);

- оценка эффективности эксплуатации ЕСАТП и действий персонала.

#### 5. Задачи управления:

- работа контуров управления локальных АТК в реальном масштабе времени;

- эффективное управление параметрами АТК и технологическими процессами во всех режимах эксплуатации оборудования;

- эффективное управление процессами выработки и распределения тепловой энергии (с учетом распределения задач управления между центральным диспетчерским пунктом и локальными АТК).

Технические требования и условия создания МАСДТУ основаны на существующем уровне автоматизации процессами теплоснабжения с учетом тенденции и перспектив развития средств измерения параметров технологических процессов, устройств сбора и передачи информации и вычислительной техники.

При выборе состава целей автоматизации приняты во внимание перспективы развития АСУ и переход к новым экономическим методам управления системами централизованного теплоснабжения.

Перечисленные выше цели соответствуют составу макро- и микрозадач в разрабатываемой архитектуре (топологии) МАСДТУ. Они соответствуют также дереву целей (структуре целей) в макро- и микроархитектуре ЕСАТП, которое отражает иерархическую подчиненность технологического оборудования узлов теплосети – иерархическое дерево объекта управления (состав оборудования, включая датчики, контроллеры и средства дистанционного управления). Мониторинг по вертикальным уровням удобен для всех уровней управления. При этом в иерархической системе применяется принцип вложения компонент нижнего уровня в компоненту верхнего уровня.

**Тепловые сети как объект МАСДТУ.** Поскольку МАСДТУ разрабатывается для объединения в единую компанию действующих предприятий, то основой для ее эффективного функционирования является возможность провести достаточно точную оценку параметров «вход – выход» технологической части системы, т.е. состава и характеристик производителей и потребителей тепла из тепловых сетей. При этом для ИКИ АСУ значение имеет не только производительность оборудования системы, но и определение структуры производственных связей, затрат на производимое тепло, включая подготовку исходной воды.

Знание характеристик как самого объекта диспетчеризации, так и его связей с потребителями тепла связано с получением многомерных статистических данных, анализ которых позволяет определить вероятность изменения заданий (производительности и параметров потребляемой рабочей среды), а также возможный разброс характеристик объектов при решении задач управления. Такая статистика позволяет выделить области часто повторяющихся производст-

венных ситуаций, что дает возможность заранее выбрать стратегию управления.

Организационная структура тепловых сетей области (рис. 2) соответствует составу и подчиненности входящих в нее предприятий.

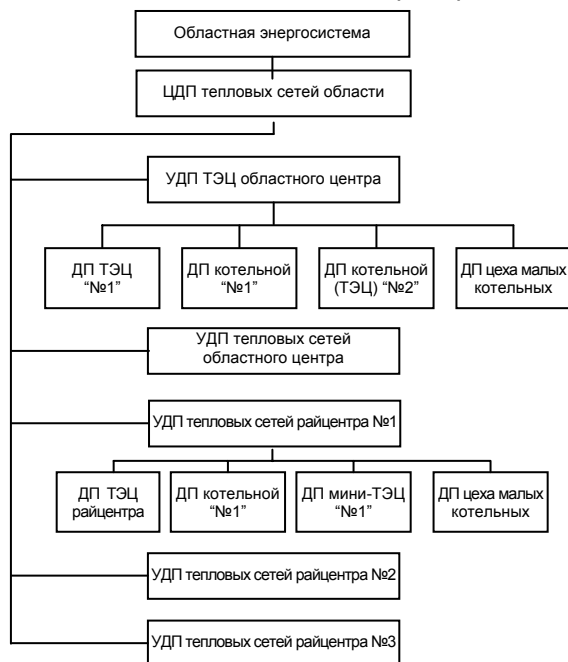


Рис. 2. Структура управления тепловыми сетями области: ЦДП – центральный диспетчерский пункт, УДП – узловой диспетчерский пункт, ДП – диспетчерский пункт

Система распределенного теплоснабжения включает в себя системы централизованного и локального теплоснабжения. Она представляет собой сложный комплекс установок, устройств и агрегатов (ТЭЦ, котельные, насосные подстанции, тепловая сеть, теплопотребляющие установки), режимы работы которых взаимосвязаны в непрерывном теплоснабженческом процессе.

Нарушение нормального режима работы одной из установок этой системы отражается на режиме работы других. Кроме того, различные режимы отпуска теплоты для теплопотребляющих установок (ТПУ) отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения и технологии. Тепловая нагрузка ТПУ изменяется в зависимости от метеорологических условий (температуры наружного воздуха, направления ветра, инсоляции), расхода воды на горячее водоснабжение, режима работы технологического оборудования и других факторов.

Надежное и экономичное функционирование систем теплоснабжения возможно лишь при автоматизации режима их работы.

Автоматизация теплоснабжающих систем должна обеспечивать поддержание заданных температурных и гидравлических режимов (давления, разности давлений) в различных установках (звеньях) этих систем.

Кроме центрального регулирования на ТЭЦ ведется групповое регулирование на центральных тепловых пунктах (ЦТП), местное или общее – на

местных тепловых подстанциях (МТП), позонное – на индивидуальных тепловых пунктах (ИТП).

Задачи регулирования определяются технологическими особенностями *теплоносителя* (нагретая вода или водяной пар) и *схемы водяных тепловых сетей* (закрытая или открытая, с возвратом или без возврата конденсата, одно-, двух- или многотрубная в зависимости от количества параллельно проложенных паропроводов, открытая или закрытая система сбора конденсата и т.д.).

Задание режима работы оборудования определяется температурным графиком качественного регулирования отопительной нагрузки.

Для каждого объекта (ТЭЦ, котельной или группы малых котельных) составляется таблица установленной мощности (например, табл. 1 и 2), протяженности теплотрасс, характеристики оборудования центральных тепловых пунктов и подкачивающих насосных станций (ПНС).

Таблица 1. Оборудование котельных

Наименование котельной	Марка котлоагрегата	Ст. №	Уст. мощн., Гкал/ч	Расход топлива, т/ч	Темп. график, °С	Подключенная нагрузка, Гкал	
						Общая	В т.ч. ГВС
"№1"	АВ-4	1	7	870	114/70	21,56	2,63
	АВ-4	2	7	870	114/70		
	АВ-4	3	7	870	114/70		
	АВ-4	4	7	870	114/70		
"№2"	АВ-4	1	7	870	114/70	21	2,99
	АВ-4	2	7	870	114/70		
	АВ-4	3	7	870	114/70		
"№3"	АВ-4	1	7	870	103/59	34,25	6,43
	АВ-4	2	7	870	103/59		
	АВ-4	3	7	870	103/59		
	АВ-4	4	7	870	103/59		

Таблица 2. Оборудование котельной "№4"

Тип котла	Год изготовления	Номинальная производительность	Проектное топливо
Водогрейный котел КВГМ-100	1972	100 Гкал/ч	Газ
Водогрейный котел КВГМ-100	1973	100 Гкал/ч	Газ
Паровой котел ДЕ-25-14	1973	25 т/ч	Газ
Паровой котел ДЕ-25-14	1982	25 т/ч	Газ-мазут
Водогрейный котел КВГМ-116,3-170	В стадии монтажа	100 Гкал/ч	

Основной особенностью создаваемой МАСДТУ является сочетание различных видов управления. Операторы осуществляют технологическое управление. Диспетчеры ведут supervisory режим управления процессами, основанный на рекомендациях алгоритмов оптимизации согласованной работы групп оборудования (распределение нагрузок, дистанционный или автоматический режим и пр.).

Основой эффективной системы автоматизированного управления является возможно более точное формализованное описание ее пове-

дения. Поэтому методология системного анализа предусматривает непрерывное совершенствование принятых ранее решений за счет адаптации исходной модели к условиям функционирования: накопления информации о текущем состоянии выхода для оценки рассогласования; подготовки рекомендаций о месте, времени и форме управления, его вероятных последствиях на выходе объекта. Этому принципу в полной мере отвечает концепция создания ИКИ АСУ.

Одной из особенностей создания интеграторской итерационной системы является ее многоуровневая адаптация.

Существуют различные формализованные описания иерархии АСУТП. Применительно к данной системе можно выделить два основных уровня управления: 1) операторский; 2) диспетчерский.

Очевидно, что операторский уровень является нижним по отношению к диспетчерскому уровню управления, так как подчиняется его командам. Он имеет несколько подуровней управления. Нижний уровень непосредственно взаимодействует с объектом в реальном времени хода технологических процессов. Полученные с датчиков сведения могут обрабатываться (сглаживаться, усредняться, линеаризоваться и т.д.) до передачи их в систему принятия решений для последующего использования и хранения (регулирования, мониторинга). В задачу текущего контроля входит обнаружение событий, влияющих на решения, связанные с управлением. Эти события могут инициировать выдачу управляющего воздействия, выдачу сигнала на завершение предшествующего задания, введение новых значений управляемых параметров, изменение режима работы оборудования. Функции контроля и прямого регулирования нижнего уровня ИКИ АСУ реализуют стратегию и цели, координируемые следующим в иерархии уровнем управления – корректирующим.

Корректирующий уровень управления в соответствии с целями устанавливает задания, подлежащие реализации с помощью средств нижнего уровня. В нормальном режиме целью может быть оптимальное управление на основе принятой математической модели. В аварийных ситуациях могут иметь приоритет модифицированные логико-динамические модели для исключения ложных срабатываний средств управления (диагностика исправности состояния средств автоматизации). Данный уровень определяет условия для управляющих устройств нижнего уровня. Эти условия выполняются через заранее определенную последовательность действий. Например, при отказе датчика стабилизирующего регулятора – это обнуление дискретных выходов или «замораживание» сигнала на аналоговом выходе. То же характерно для контура регулирования с корректирующим регулятором – безударный переход к управлению только посредством работы стабилизирующего регулятора.

Далее следует верхний уровень, который выполняет функцию адаптации алгоритмов, используемых на первом и втором уровнях. Адаптация может осуществляться путем структурной и параметрической оптимизации. В ходе принятия решений на третьем уровне необходимо учитывать опыт работы системы в течение некоторого периода времени. Эти решения основываются на информации о целях функционирования, приоритетах, внутренних и внешних взаимосвязях и т.д. Задачи верхнего уровня могут решаться производственным и управленческим персоналом на основе качественных оценок работы локальных узлов и системы в целом.

Операторские подуровни включают:

- датчики измеряемых параметров;
- запорную и регулируемую арматуру совместно с исполнительными механизмами и устройствами;
- клавиатуру, ключи (кнопки) для воздействия оператором-технологом на регуляторы и исполнительные органы;
- контроллеры для автоматического сбора и первичной обработки измеряемых параметров, выполнения функций автоматического регулирования, противоаварийных защит, дистанционного управления;
- средства для вычислительной обработки информации, ее регистрации, архивирования, отображения, документирования и диалога с системой.

Диспетчерский уровень реализован в виде автоматизированных рабочих мест (АРМ) оперативно-диспетчерского и управленческого персонала.

Вышестоящие уровни имеют приоритет действия по отношению к нижестоящим. Информационный обмен между уровнями продвигается вверх (по иерархии). Результаты принятия решений и оценки в итерационной процедуре идут вниз либо из базы данных, либо через организующую программу системы. База данных является средством информационной интеграции уровней управления.

Наряду со статическими характеристиками, которые уточняются по мере накопления статистической информации, производится уточнение и динамических свойств объектов. На основе определения характеристик объектов осуществляется адаптация соответствующих моделей. Процесс адаптации требует определенного времени, количество которого зависит от динамических характеристик объекта и временных характеристик возмущений.

В зависимости от характера выявленных возмущений их компенсация может осуществляться либо в форме выработки дополнительных управляющих воздействий без изменения общей программы управления, либо в форме частного видоизменения этой программы. ИКИ АСУ необходимо рассматривать как единую человеко-

машинную информационную систему. Автоматизированные процессы в ней предполагают возможность применения в некоторых узлах безлюдной технологии, когда вмешательство человека требуется только для восстановления процессов в случае поломки или аварии.

Эффективным способом, обеспечивающим надежность функционирования сложной системы с большим количеством источников и приемников тепла, в составе которой применяется разнотипное технологическое оборудование, при переходе на безлюдную технологию является следующее решение.

На первом этапе устаревшее оборудование используется в базовом режиме, который обеспечивает его экономичную работу. Ведется контроль его состояния и параметров теплоносителя на входе в теплотрассу. Узлы с современным оборудованием для производства тепла поддерживают требуемые диапазоны регулирования нагрузки потребителей и параметры горячей воды в системе.

В дальнейшем, по мере замены старого оборудования, эффективность (экономичность) работы системы в целом повышается путем перевода на экономичные режимы работы тех узлов, которые в суммарной производительности имеют наибольшие коэффициенты долевого участия и обеспечивают максимальные КПД работы оборудования.

Внедрение МАСДТУ потребует некоторых технологических изменений в ЦТП и на малых котельных.

На ЦТП целесообразно провести установку следующих средств автоматизации:

- регулирующих клапанов с электрифицированным приводом на линии подачи теплоносителя в подогреватели ГВС;
- регулирующих клапанов с электрифицированным приводом на линии подачи теплоносителя в узел смешения (зависимая схема);
- станции частотно-регулируемого привода (ЧРП) для управления насосами ГВС;
- станции ЧРП для управления насосами узла смешения.

В малых котельных целесообразно установить:

- электрифицированные задвижки на линиях подачи воды в котел;
- станции ЧРП для управления циркуляционными насосами.

При создании в рамках МАСДТУ подсистемы дистанционного пуска газа и дистанционного розжига котлов, в соответствии с правилами газовой безопасности, потребуется установить всю необходимую электрифицированную арматуру для заполнения газопровода внутри котельной и его автоматической опрессовки. Учитывая высокую стоимость технологического оборудования и его редкое использование, целесообразность

создания данной подсистемы в котельной следует определять для каждого конкретного случая.

**Технические требования к компонентам МАСДТУ.** Разработка новой специализированной АСУ целесообразна для простых объектов управления и является дорогостоящим и длительным процессом. Для рассредоточенной в пространстве АСУТП, компоненты которой должны обеспечивать работоспособность различного оборудования (номенклатура, тип, производительность, завод-изготовитель и пр.), альтернативой является выбор на рынке производителей образца такой АСУТП, свойства которой в основном соответствуют предъявляемым к создаваемой системе. Если же в совокупности с ПТК поставляются средства, обеспечивающие необходимую для выполнения задач системы адаптацию АСУТП, то выбор такого комплекса является предпочтительным. Для реализации создаваемой МАСДТУ наиболее предпочтительным является применение ПТК «КРУГ-2000».

Требования к постам управления включают в себя общие требования к помещениям для размещения ПТК, узлов контроля и управления котельными, ЦТП, диспетчерских пунктов, постов оперативного обслуживания и наладки ПТК.

Для каждого узла управления составляется перечень выполняемых задач.

С ЦДП МАСДТУ, в соответствии с графиками производства и потребления тепла, производится диспетчерское управление оборудованием, которое находится в ведомстве диспетчера:

- технологическим оборудованием теплораспределительных пунктов и магистральных трубопроводов;
- телеметрическим оборудованием УДП и каналов связи от УДП до тепловых пунктов и приемников тепла.

Основными постами оперативного управления теплотрассой являются УДП. Здесь осуществляются контроль за работой и управление оборудованием, которое обеспечивает производство, распределение и передачу тепловой энергии районным потребителям.

Для диспетчерского персонала УДП теплотрассы МАСДТУ должна предоставлять следующие возможности:

- текущего технологического контроля работы АТП района: состояния основного технологического оборудования и параметров теплоносителя;
- предупредительной и аварийной технологической сигнализации в зонах оперативной ответственности персонала УДП;
- расчет рабочих параметров, обеспечивающих распределение нагрузок и задание эффективных режимов (в случае необходимости может корректироваться с ЦДП);
- дистанционного управления оборудованием теплотрассы в режимах пуска, нормальной

эксплуатации, планового останова и при аварийных ситуациях;

– перевода оборудования с дистанционного на автоматический режим управления и обратно;

– коррекции уставок системам защиты и заданий регуляторам.

Оператор УДП теплосети должен иметь доступ ко всей информации, необходимой для контроля и управления.

Оператор должен подчиняться требованиям диспетчера ЦДП.

УДП теплосети должен быть оборудован средствами пожаротушения и наружного освещения территории диспетчерского пункта.

На УДП теплосети должны быть предусмотрены два вида АРМ: постоянно используемое для оператора-технолога и периодически используемое – для инженера-электрика.

Характеристики ПТК не должны накладывать ограничений на выполняемые им задачи.

Наряду с традиционными требованиями к быстродействию и информационной мощности, точности и надежности, режимам функционирования и принципам обмена информацией, открытости системы и т.д., важными составляющими являются *унификация и универсализация компонент системы*.

Рациональное сочетание унифицированных по составу признаков АТК (применительно к однотипному оборудованию) и автоматизированного оборудования специального назначения (особенных функций) обеспечивает минимизацию времени и расходов на проектирование ЕСАТП и экономию средств на ее эксплуатацию впоследствии. Поскольку необходимо модернизировать систему устаревших эксплуатируемых технологических комплексов, которые отвечают не всем требованиям, предъявляемым к автоматизированному оборудованию, то это позволяет заменить или установить компоненты дополнительно. Таким образом осуществляется переход к ограниченному количеству типовых решений автоматизированных локальных технологических узлов с соответствующими средствами контроля, управления, диспетчеризации и программными продуктами. Это позволяет минимизировать количество моделей и соответствующих математических методов при решении задач МАСДТУ.

Итак, одним из основных принципов создания распределенной ИКИ АСУ для разнотипного технологического оборудования должна стать *универсализация системы*. Универсализация как вектор движения (первоначальной разработки и последующего развития) ЕСАТП обеспечивает упрощение системы и ее компонент и, следовательно, повышает надежность и экономичность эксплуатации. При этом сокращается разнотипность технологического оборудования, средств контроля и автоматизации, программных продуктов, упрощается эксплуатация.

*Универсализация действующих компонент системы основана на унификации технических средств и программных решений создаваемого ПТК. Унификация обеспечивается единым подходом к решению однотипных задач контроля и управления (типизацией алгоритмических модулей) и созданием новых унифицированных компонент технического, программного, информационного и лингвистического обеспечений. Универсализация коррелирует эти решения с учетом особенностей имеющихся компонент системы.*

Унификация и универсализация технического обеспечения достигаются применением серийных датчиков с унифицированными сигналами, исполнительных механизмов с унифицированными схемами управления и т.д., стандартизацией конструктивных решений. В конструкции компонент ПТК номенклатура используемых модулей должна быть сведена к минимуму. Должно использоваться ограниченное количество номиналов питающих напряжений.

В операторной, архивной и инженерной станциях используются *универсальные операционные системы*.

Формы представления информации максимально приближены к проектным изображениям технологических схем и их элементов.

Технологические алгоритмы задаются в формализованном виде, на специализированном языке, доступном специалистам-технологам.

**Взаимодействие видов обеспечения ПТК.** В состав ПТК входят:

- контроллеры;
- способы и средства передачи информации между компонентами ПТК, в т.ч. локальные сети;
- станции диспетчеров и операторов (вычислительные средства, цветные мониторы, принтеры и т.д.);
- пульты управления;
- сервер оперативной базы данных;
- архивные станции;
- инженерные станции;
- система бесперебойного питания.

Работа подсистем ПТК осуществляется путем взаимодействия всех видов обеспечения создаваемой системы:

- технического обеспечения в виде совокупности средств вычислительной техники и других технических устройств, используемых при функционировании системы;
- программного обеспечения в виде совокупности программ, предназначенных для отладки, функционирования и проверки работоспособности ПТК;
- математического обеспечения в виде совокупности математических методов и алгоритмов;
- метрологического обеспечения в виде совокупности методов, правил и программно-технических средств, позволяющих реализовать



функции ПТК в соответствии с установленными требованиями к достоверности информации;

- лингвистического обеспечения в виде совокупности средств и правил для формализации естественного языка, используемых при общении эксплуатационного персонала с комплексом средств автоматизации;

- информационного обеспечения в виде совокупности нормативной базы, классификаторов, документов и реализованных решений по объемам, размещению и формам существования информации;

- организационного обеспечения в виде совокупности документов, устанавливающих организационную структуру, права и обязанности эксплуатационного персонала в условиях функционирования, проверки и обеспечения работоспособности ПТК.

#### **Особенности создания МАСДТУ.**

В общем случае применение ИКИ АСУ требует системного анализа создаваемого автоматизированного объекта и целей управления с тем, чтобы сформировать комплекс задач управления как задач оптимизации по некоторому общему для системы критерию эффективности функционирования с использованием экономико-математических моделей объекта управления. Это обеспечивает объединение частных задач управления, прогноз возможных состояний и выбор оптимальных управляющих воздействий.

Системный анализ функционирования предприятия требует комплексного рассмотрения происходящих процессов с учетом их внутренних и внешних связей, существенных для достижения целей, поставленных перед системой. Необходимо учитывать, что АСУ является многоуровневой, многофункциональной, многопроцессорной, распределенной и т.д. Применительно к разработке и эксплуатации МАСДТУ необходимо осуществление следующих работ:

- определение целей системы (дерева целей);
- выделение локальных объектов и узлов управления;
- формирование задач объекта управления в соответствии с деревом целей и иерархией системы и подсистем;
- установление приоритетов внутренних и внешних функций компонент (узлов и связей между ними), определение направлений интеграции АСУ;
- построение логико-динамической модели системы и ее элементов;
- определение способов и выбор средств комплексирования задач управления;
- параллельное внедрение локальных систем и достижение локальных целей, а также обеспечение совместного функционирования частей системы и достижение групповых целей.

Разработка МАСДТУ тепловыми сетями как ИКИ АСУ предполагает корреляцию, т.е. со-

отнесение в той или иной степени различных функциональных признаков автоматизированного оборудования и процессов, которые учитывают предъявляемые к ЕСАТП требования (рис. 1) и объединяют как узлы управления – диспетчерские пункты крупных технологических узлов (рис. 2), так и локальные системы контроля, управления, мониторинга. Таким образом, топография МАСДТУ должна соответствовать территориальному размещению технологических составляющих объекта управления.

*ИКИ АСУ в зависимости от приоритетов постепенно (итерационная процедура) комплексировует (интегрирует и коррелирует) компоненты, обладающие неоднородными функциональными, технологическими, техническими, организационными, информационными и т.д. признаками (соответствуют группам целей создания МАСДТУ), обеспечивая их совместимость и взаимодействие. Этими компонентами являются:*

- 1) нормы безопасности жизнедеятельности;
- 2) специальные требования (определяются Заказчиком);
- 3) технологические и технические требования (состав и назначение технологического оборудования, технических средств контроля, автоматизации, мониторинга и пр., программных продуктов);
- 4) коммерческие цели;
- 5) задачи управления АТК;

В общем случае применение ИКИ АСУ требует системного анализа создаваемого автоматизированного объекта и целей управления с тем, чтобы сформировать комплекс задач управления как задач оптимизации по некоторому общему для системы критерию эффективности функционирования. Применение экономико-математических моделей объекта управления позволяет объединять частные задачи управления, прогнозировать возможные состояния системы и выбирать оптимальные управления.

Совокупность коррелированных признаков определяет степень универсальности или целевой направленности ИКИ АСУ и возможность применения той или иной частной концепции, ориентированной на реализацию соответствующей системы. И частные и универсальная концепции требуют обеспечить как совместимость компонент по каждому из признаков, так и согласованное взаимодействие групп признаков.

Иерархическая ИКИ АСУ согласует работу подсистем АСУ, реализованных как на базе микропроцессорной техники, так и с применением электронных, электрических, релейных схем и цепей. При этом недостатки управления неавтоматизированными технологическими комплексами на начальных фазах строительства ЕСАТП компенсируются диапазонами регулирования автоматизированного оборудования.

Приоритеты задач, реализуемых на разных фазах строительства ЕСАТП, определяются Исполнителем с учетом требований Заказчика. Вы-

бор преимущественных направлений осуществляется на основе анализа готовности оборудования к выполнению требуемых функций ЕСАТП, а также оценки предполагаемых затрат и полученного эффекта.

Во все группы задач в качестве основных компонент МАСДТУ входят программные средства. Они обеспечивают решение всего комплекса задач (комплексирование задач) в соответствии с иерархией взаимосвязей и заданным временем регламентом реализации системы. Поэтому, во-первых, определение требований к ним является основным связующим звеном в архитектуре системы, во-вторых, эти требования могут корректироваться на разных этапах строительства системы (при постоянстве состава технологического оборудования для производства и распределения тепла, сопровождающихся развитием инфраструктуры средств диспетчеризации – контроля, управления, мониторинга и т.д.).

На основе дерева целей осуществляется декомпозиция общих критериев оценки функционирования производственного процесса, что позволяет каждой группе целей и каждой подцели поставить в соответствии определенные критерии. Выбор подцелей и критериев для каждого элемента производственной структуры позволяет сформулировать задачи управления и тем самым получить функциональную структуру системы управления производством, соответствующую дереву целей.

Значительный объем информации, которая должна быть переработана для принятия решений по управлению сложным производством, и, следовательно, значительное время, необходимое для решения, требуют разделения общей задачи управления на частные.

В процессе декомпозиции, как этого требует системный анализ, производится последовательная детализация общей задачи.

Результатом является многоуровневая иерархическая структура принятия решений, в которой вышерасположенные уровни управления имеют приоритет действия по отношению к связанным с ними нижерасположенными уровнями. Нижний уровень управления непосредственно воздействует на объект, решая локальные задачи управления. При этом модели верхнего уровня представляют собой комплексирование моделей нижнего уровня.

Интегро-корреляция локальных задач осуществляется следующим образом: фиксируются значения входных и выходных переменных объекта, связывающих координируемые задачи, и осуществляется прогнозирование требуемых взаимодействий из-за отклонения входных и выходных величин от заданных значений. Тем самым устанавливаются условия для согласования взаимодействий и изменяются локальные целевые функции.

В соответствии с концепцией интегро-корреляционного итерационного проектирования

АСУТП создается в следующей последовательности: постановка задачи, функциональное, конструкторское и технологическое проектирование. При постановке задачи определяются цели работы, приоритеты задач, возможность создания технологических универсальных модулей. На этапе функционального проектирования выполняется алгоритмический синтез – разработка математического обеспечения системы путем ее структурного и параметрического синтеза. Конструкторское проектирование представляет собой технический синтез, который заключается в преобразовании результатов функционального проектирования в рабочую документацию для конкретных средств автоматизации. Технологическое проектирование включает в себя работы по вводу системы в действие: реализацию спроектированной системы, испытания и освоение ее в эксплуатации, включая сопровождение и развитие.

Основная особенность технологии интегро-корреляционного итерационного проектирования заключается в итерационном выполнении этапов проектирования для корреляции совместно поставленных задач и полученных комплексированных решений.

## Заключение

Для реализации многоуровневой автоматизированной системы диспетчерско-технологического управления тепловыми сетями разработана концепция интегро-корреляционной итерационной АСУТП и соответствующая ей концепция интегро-корреляционного итерационного проектирования. Концепции объединяют отдельные цели в соответствии с деревом целей. При этом итерационная процедура выполнения этапов проектирования и последующее сопровождение системы, а также ее дальнейшее развитие обеспечивают корреляцию полученных совместных решений.

Концепции ведут к согласованному решению макро- и микрозадач создаваемой архитектуры МАСДТУ.

## Список литературы

1. Демин А.М. Особенности реализации архитектуры микропроцессорной системы управления группой мельниц энергетического котла // Всесоюз. науч.-техн. конф. «Современное состояние, проблемы и перспективы энергетики и технологии в энергостроении» (4-е Бенардосовские чтения): Тез. докл. / Иван. энерг. ин-т. – Иваново, 1985.
2. Тверской Ю.С., Таламанов С.А. Особенности реализации расширенной концепции проектирования систем управления при создании автоматизированного энергетического оборудования: Мат-лы XI Всесоюз. совещ. по проблемам управления. – М., 1989.
3. Плетников С.Б., Таланов В.Д., Демин А.М. Технология создания программно-аппаратных комплексов для наладки регуляторов теплоэнергетического оборудования: Мат-лы IV Рос. науч.-практ. конф. «Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования» / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005.

Демин Александр Матвеевич,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов,  
телефон (4932) 26-99-09,  
e-mail: tvd@atp.ispu.ru

Шехтман Михаил Борисович,  
НПФ «КРУГ» (г. Чебоксары),  
генеральный директор,  
телефон (4932) 26-99-09,  
e-mail: tvd@atp.ispu.ru

Крашенинников Валерий Сергеевич,  
ОАО «Ивэлектроналадка»,  
технический директор,  
телефон (4932) 26-99-09,  
e-mail: tvd@atp.ispu.ru

Шалаев Константин Геннадьевич,  
ОАО «Ивэлектроналадка»,  
ведущий инженер,  
телефон (4932) 26-99-09,  
e-mail: tvd@atp.ispu.ru