

05.13.06

Ш 36

На правах рукописи

Шнайдер Дмитрий Александрович

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ**

Специальность 05.13.06 – "Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

KL

Челябинск – 2003

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Казаринов Л.С.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Панферов В.И.,
доктор технических наук, профессор Голяк С.А.

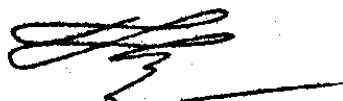
Ведущая организация – ОАО "Уральский теплотехнический научно-исследовательский институт", г. Челябинск.

Защита состоится 25 июня 2003 года, в 16 часов 30 мин., на заседании диссертационного совета Д 212.298.03 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, конференц-зал ЮУрГУ (ауд. 244).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан " " 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.М. Коровин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема повышения эффективности использования энергетических ресурсов в системах централизованного теплоснабжения промышленных предприятий является в настоящее время весьма актуальной. При этом, как показал опыт, на многих промышленных предприятиях эта проблема является не только экономической, но и требует разработки четкой технической концепции, включающей в себя как методы управления режимами тепловых сетей в целом, так и способы регулирования теплоснабжения отдельных промышленных объектов.

Дело в том, что на многих предприятиях существующая структура тепловой сети и организация управления режимами были спроектированы в 60–70-е годы и отвечали уровню развития техники и экономических отношений тех лет. На современном этапе развития произошли изменения в требованиях к эксплуатации сетей, претерпели изменения технико-экономические условия их функционирования. Так, в 90-е годы в связи с изменившейся экономической обстановкой были введены ограничения объемов потребления газа на тепловых станциях. Снабжение потребителей велось по пониженному температурному графику, отличному от проектного. В этих условиях потребители с целью компенсации дефицита поставляемого тепла увеличивали циркуляцию теплоносителя путем снижения гидравлических сопротивлений тепловых вводов. Так как данный процесс носил неконтролируемый характер, то привел к разрегулировке сетей, которая с течением времени была структурно закреплена изменениями на тепловых водах потребителей. Кроме того, за прошедшие годы произошли изменения в составе потребителей, их технической инфраструктуре, в объемах выпуска продукции и др., что существенно отразилось на характеристиках тепловой нагрузки сетей. Совокупность указанных факторов в условиях отсутствия системной настройки и регулировки режимов привела к снижению управляемости и возникновению дефицитных режимов функционирования тепловых сетей.

Применение в данных условиях стандартных подходов к регулированию процессов в системах теплоснабжения, основанных на применении типовых средств автоматизации, сопряжено с рядом проблем, связанных с нестабильностью гидравлических и тепловых режимов, пониженными параметрами теплоносителя на тепловых водах потребителей. Безусловно, выходом из сложившейся ситуации являлся бы возврат к исходным проектным режимам функционирования. Однако такой подход связан с повышением расхода топливных ресурсов на источниках тепла, проведением наладочных работ сразу на всех тепловых водах потребителей, что экономически невыгодно и технически сложно реализуемо.

Вместе с тем необходимо отметить, что в западных странах (например, в Дании) в настоящее время перспективной считается концепция низкотемпературного централизованного теплоснабжения. Эффективность применения низкотемпературного теплоснабжения обосновывается рядом факторов, важнейший

ными из которых являются: экономия газа на ТЭЦ, повышение выработки электроэнергии, возможность параллельной работы низкотемпературных источников тепла, повышение надежности системы теплоснабжения, снижение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя.

На этой основе возникает задача автоматизации управления системами теплоснабжения промышленных объектов при низкотемпературных режимах. В общем плане задача автоматизации управления режимами систем теплоснабжения достаточно широко исследована в литературе. Основополагающими работами в данном направлении являются работы следующих отечественных авторов: Апарцева Н.М., Витальева В.П., Громова Н.К., Зингера Н.М., Казаринова Л.С., Ливчака В.И., Никифорова Г.В., Сафонова А.П., Соколова Е.Я., Табунщикова Ю.А., Туркина В.П., Фаликова В.С. Чистовича С.А., а также зарубежных авторов: Frederiksen S., Picandet L., Wollerstrand J. и др. Однако в этих работах не рассматривались специфичные задачи управления, которые возникают в дефицитных режимах при низкотемпературном графике теплоснабжения промышленных объектов: разработка комплекса мероприятий по нормализации режимов тепловых сетей и адаптации потребителей к низкотемпературному централизованному теплоснабжению, регулирование отопления зданий в условиях большого диапазона изменения параметров теплоносителя, разработка автоматизированных систем коррекции температурных графиков в дефицитных районах. Подобные задачи в литературе не освещены, что и определяет актуальность данной работы.

Цель диссертационной работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка методов и систем автоматизированного управления теплоснабжением промышленных объектов при низкотемпературных режимах функционирования тепловых сетей.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи исследовательского, методологического и прикладного характера:

1) проведение факторного анализа экономической эффективности теплоснабжения объектов при пониженном температурном графике;

2) разработка технической концепции регулирования теплоснабжения промышленных объектов при дефицитных режимах функционирования тепловых сетей;

3) разработка математической модели системы централизованного теплоснабжения объектов, не требующей чрезмерной детализации характеристик сети и тепловых нагрузок потребителей;

4) разработка способов эффективного регулирования отопления зданий в условиях пониженных и нестабильных параметров теплоснабжения;

5) разработка автоматизированных систем регулирования теплоснабжения промышленных объектов, основанных на предложенных методах.

Связь диссертации с федеральными и региональными программами. Диссертационное исследование выполнялось в соответствии с "Законом Российской Федерации об энергосбережении №28-ФЗ от 03.04.96", "Законом

Челябинской области об энергосбережении и повышении эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в Челябинской области №12-ОЗ от 02.02.96", в рамках федеральной целевой Программы "Энергосбережение России на 1998-2005 годы" (утверждена постановлением правительства Российской Федерации №80 от 24.01.98), "Программы энергосбережения Челябинской области до 2005 года" (утверждена постановлением Губернатора Челябинской области №582 от 11.12.98).

Предметом исследования является автоматизация управления системами теплоснабжения промышленных объектов при низкотемпературных режимах.

Объектом исследования являются системы централизованного теплоснабжения промышленных объектов, рассматриваемые в комплексе с технико-экономическими вопросами эксплуатации.

Методология и методика исследования. Теоретической и методической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых по управлению процессами в системах централизованного теплоснабжения, а также нормативные и законодательные акты в сфере энергосбережения Президента, Правительства и субъектов РФ. В работе использовались методы теории автоматизированного управления, автоматического регулирования, автоматизированных информационных систем, математической статистики, теории гидравлических систем и систем теплоснабжения. Источником экспериментальных данных явились результаты натурных испытаний автоматизированных систем управления теплоснабжением объектов ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (ОАО "ММК"), г. Магнитогорск.

Научная новизна диссертационной работы. В ходе исследования были получены следующие научные результаты:

1) предложена оригинальная техническая концепция регулирования теплоснабжения промышленных объектов при дефицитных режимах функционирования тепловых сетей;

2) разработан новый способ автоматического регулирования расхода тепла в системе центрального отопления здания, отличающийся тем, что регулирование температуры подаваемого теплоносителя осуществляется в зависимости от отклонения фактической тепловой мощности, подаваемой на отопление, от требуемой тепловой мощности для текущей температуры наружного воздуха с учетом температуры воздуха в здании;

3) разработана оригинальная схема автоматизированной тепловой подстанции сетевого района, отличающаяся от известных схем системой коррекции температурного графика на основе автоматизированного пароструйного подогревателя либо пластинчатого пароводяного теплообменника;

4) предложен метод расчета экономического эффекта от введения управления температурным режимом централизованного теплоснабжения объектов, основанный на факторном анализе статистических данных по теплоисточникам.

Практическое значение. Выполненные в рамках диссертационной работы методические, алгоритмические и аппаратурные разработки были использованы при организации управления режимами теплоснабжения промышленной площадки ОАО "ММК". Проект автоматизированной тепловой подстанции с системой коррекции температурного графика на основе пластинчатого теплообменника в настоящее время внедряется в сетевом районе горно-обогатительного производства ОАО "ММК". Способ автоматического регулирования расхода тепла в системе центрального отопления здания (патент РФ на изобретение №2196274) был реализован в системе автоматического регулирования теплоснабжения группы зданий химводоочистки паросилового цеха (ПСЦ) ОАО "ММК". Система подогрева воды на основе автоматизированного пароструйного подогревателя была внедрена в ПСЦ ОАО "ММК".

В настоящее время сформирован план перспективного внедрения разработанного комплекса мероприятий на других объектах ОАО "ММК".

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были доложены на четвертой Всероссийской научно-технической конференции "Информационные технологии и электроника", г. Екатеринбург, 15–16 декабря 1999 г., второй Международной научно-технической конференции "Энергосбережение на промышленных предприятиях", г. Магнитогорск 3–6 октября 2000 г., на Региональной научно-технической конференции "Новые программные средства для предприятий Урала", г. Магнитогорск, 9–11 декабря 2002 г., на девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика", г. Москва, 4–5 марта 2003 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Основная часть работы изложена на 147 страницах. Диссертация содержит рисунков 37, таблиц 11, приложений 5. Список литературы включает 110 наименований.

На защиту выносятся:

- 1) метод расчета экономической эффективности введения пониженного температурного графика централизованного теплоснабжения, основанный на факторном анализе статистических данных по теплоисточникам;
- 2) техническая концепция регулирования теплоснабжения промышленных объектов при дефицитных режимах функционирования тепловых сетей;
- 3) математическая модель системы централизованного теплоснабжения объектов;
- 4) способы автоматического регулирования расхода тепла в системах централизованного отопления зданий;
- 5) принципиальная схема автоматизированной тепловой подстанции, включающая коррекцию температурного графика на основе применения пластинчатого пароводяного теплообменника либо автоматизированного пароструйного подогревателя.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проблемы введения низкотемпературного режима теплоснабжения объектов

В настоящее время низкотемпературное централизованное теплоснабжение является перспективным направлением развития теплоэнергетики многих развитых стран (например, Дании), так как имеет ряд существенных преимуществ: экономия газа и повышение выработки электроэнергии на ТЭЦ, возможность параллельной работы низкопотенциальных источников тепла, снижение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя.

В РФ многие тепловые станции также осуществляют снабжение потребителей по пониженному температурному графику. Однако, переход на пониженный график на многих предприятиях, например на ОАО "ММК", являлся вынужденной мерой, вызванной ограничениями подачи газа. При этом введение низкотемпературного графика осуществлялось без проведения работ по адаптации потребителей и тепловых сетей, что явилось причиной возникновения дефицитных режимов теплоснабжения, характеризующихся следующими проблемами:

- 1) сверхнормативное снижение температуры сетевой воды на тепловых вводах удаленных потребителей;
- 2) повышенный уровень циркуляции и утечек в теплосети;
- 3) нарушения расчетного гидравлического режима теплосети;
- 4) снижение гидравлической устойчивости теплосети;
- 5) повышенный расход электроэнергии на перекачку сетевой воды.

Указанные проблемы, существующие на многих промышленных предприятиях, свидетельствуют о низкой эффективности процесса централизованного теплоснабжения и подчеркивают необходимость разработки четкой, экономически обоснованной технической концепции регулирования режимов тепловых сетей.

Факторный анализ экономической эффективности теплоснабжения промплощадки ОАО "ММК" при пониженном температурном графике

С целью анализа влияния режимных параметров на производственные показатели тепловых станций был проведен факторный анализ статистических данных по ЦЭС ОАО "ММК". Статистические данные были взяты по результатам эксплуатации за отопительные сезоны 2000–2001, 2001–2002 годов. В качестве метода обработки данных использовался метод построения линейной регрессии по критерию минимума среднеквадратической ошибки. Результаты факторного анализа приведены в табл. 1.

За отопительный сезон температура воды в подаче на промплощадку по сравнению с температурой воды, подаваемой на город, была снижена на $\Delta t = 8^{\circ}\text{C}$. При этом в подаче на комбинат на двух станциях (ЦЭС и ТЭЦ) были отключены водогрейные котлы, что обусловило экономию газа объемом 20366 тыс. м³ или 10,9 млн. руб. в год.

Таблица 1

Зависимость объема выработки электрической
энергии (кВт·ч/сутки) от режимных факторов

Факторы	Размерность	Среднее значение	Коэффициент влияния
$Q_{топл}$	тут/сутки	907,6	6323
$T_{1комб}$	°C	85,21	-31850
$T_{1гор}$	°C	93,72	-13460
$G_{1комб}$	т/сутки	175900	-1,984
$G_{1гор}$	т/сутки	97100	-42,23

Здесь: $Q_{топл}$ – количество топлива, потребляемого ЦЭС; $T_{1комб}$, $T_{1гор}$ – температура воды в подаче на промышленную площадку и город соответственно; $G_{1комб}$, $G_{1гор}$ – расход воды в подаче на промплощадку и город соответственно.

Рост выработки электрической энергии на тепловом потреблении δw_t оценивался по нормированной факторной зависимости, определенной на основе статистического анализа:

$$\delta w_t = 11,383 \cdot \Delta t, \text{ кВт·ч/Гкал.} \quad (1)$$

Рост выработки электрической энергии на ТЭЦ и ЦЭС составил:

$$\Delta W_{тэц} = \delta w_t \cdot Q_{тэц}^{\text{комб}} = 11,383 \cdot 8 \cdot 2208 = 201069 \text{ кВт·ч/сутки}, \quad (2)$$

где $Q_{тэц}^{\text{комб}}$ – средняя подача тепла от ТЭЦ на комбинат (2 208 Гкал/сутки);

$$\Delta W_{цэс} = \delta w_t \cdot Q_{цэс}^{\text{комб}} = 11,383 \cdot 8 \cdot 2798 = 254797 \text{ кВт·ч/сутки}, \quad (3)$$

где $Q_{цэс}^{\text{комб}}$ – средняя подача тепла от ЦЭС на комбинат (2798 Гкал/сутки).

Общий рост выработки электрической энергии составил

$$\Delta W_t = \Delta W_{тэц} + \Delta W_{цэс} = 455866 \text{ кВт·ч/сутки.} \quad (4)$$

Негативным следствием снижения температуры подачи теплофикационной воды явилось повышение расхода электрической энергии на перекачку воды вследствие повышения циркуляции.

Повышение расходов электрической энергии на перекачку воды для ТЭЦ и ЦЭС можно оценить по следующим формулам:

$$\Delta W_{тэц}^{пер} = (W_{тэц}^{\text{комб}} / Q_{тэц}^{\text{комб}} - W_{тэц}^{\text{гор}} / Q_{тэц}^{\text{гор}}) \cdot Q_{тэц}^{\text{комб}}, \quad (5)$$

$$\Delta W_{цэс}^{пер} = (W_{цэс}^{\text{комб}} / Q_{цэс}^{\text{комб}} - W_{цэс}^{\text{гор}} / Q_{цэс}^{\text{гор}}) \cdot Q_{цэс}^{\text{комб}}, \quad (6)$$

где $W_{тэц}^{\text{комб}}$, $W_{цэс}^{\text{комб}}$ – средний расход электрической энергии на перекачку воды на комбинат для ТЭЦ и ЦЭС соответственно, кВт·ч/сутки; $W_{тэц}^{\text{гор}}$, $W_{цэс}^{\text{гор}}$ – средний расход электрической энергии на перекачку воды на город для ТЭЦ и

ЦЭС соответственно, кВт·ч/сутки; $Q_{TЭЦ}^{гор}$, $Q_{ЦЭС}^{гор}$ – средняя величина подачи тепловой энергии на город для ТЭЦ и ЦЭС соответственно, Гкал/сутки.

Статистические данные для расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические данные по ТЭЦ и ЦЭС

$W_{TЭЦ}^{\text{комб}}$	$W_{ЦЭС}^{\text{комб}}$	$Q_{TЭЦ}^{\text{комб}}$	$Q_{ЦЭС}^{\text{комб}}$	$W_{TЭЦ}^{гор}$	$W_{ЦЭС}^{гор}$	$Q_{TЭЦ}^{гор}$	$Q_{ЦЭС}^{гор}$
154198	84837	2208	2798	147920	48906	4854	3457

В результате перерасход электрической энергии на перекачку воды составляет

$$\Delta W_{TЭЦ}^{неп} = 86911 \text{ кВт·ч/сутки}; \quad \Delta W_{ЦЭС}^{неп} = 50005 \text{ кВт·ч/сутки}; \quad (7)$$

суммарный перерасход

$$\Delta W_T^{неп} = \Delta W_{TЭЦ}^{неп} + \Delta W_{ЦЭС}^{неп} = 136916 \text{ кВт·ч/сутки}. \quad (8)$$

Отсюда общий рост дополнительной выработки электрической энергии

$$\Delta W = \Delta W_T - \Delta W_T^{неп} = 318950 \text{ кВт·ч/сутки}. \quad (9)$$

При цене электрической энергии 0,744 руб./(кВт·ч) дополнительная выручка составляет 237298,8 руб./сутки. Экономический эффект за отопительный сезон (212 суток) составляет – 50,3 млн. руб. В итоге общий экономический эффект за отопительный сезон с учетом экономии от сокращения потребления газа составляет около 60 млн. руб.

Таким образом, полученный результат является подтверждением экономической эффективности снижения температуры сетевой воды на тепловых станциях ОАО "ММК" и подчеркивает необходимость разработки и проведения технических мероприятий по регулированию режимов тепловых сетей и адаптации потребителей к низкотемпературному режиму теплоснабжения.

Концепция регулирования теплоснабжения промышленных объектов при дефицитных режимах

Критерии принятия решений при регулировании режимов

Тепловые сети крупных промышленных предприятий снабжают теплом разнородных потребителей, подавляющее большинство которых не является самостоятельными субъектами хозяйствования. Поэтому в данном случае подход, основанный на продаже тепла потребителям в объеме, определяемом самими потребителями, является неприемлемым. В данных условиях рациональным является нормативный отпуск тепла в соответствии с заданным графиком отпускаемой тепловой мощности Q_0 в зависимости от температуры наружного воздуха T_n . Использование нормативного графика отпуска тепла в качестве первичного технического условия позволит гибко управлять режимами тепловой сети в условиях проведения энергосберегающих работ. При этом функциональный эффект от проведения энергосберегающих работ будет проявляться в снижении удельных норм потребления тепловой энергии потребите-

лями, что непосредственно будет отражаться на графике. С учетом сказанного основные технические требования при регулировании режимов:

- 1) осуществление нормативного отпуска тепла потребителям в соответствии с расчетным графиком $Q_0(T_n)$, определяемым на основе снижения в результате энергосберегающих мероприятий удельных норм потребления ресурсов;
- 2) обеспечение максимальной гидравлической устойчивости и автономности регулирования режимов теплоснабжения потребителей;
- 3) повышение энергетической эффективности производства, распределения и потребления тепловой энергии;
- 4) выбор первоочередных проектов с меньшими затратами и быстрыми сроками окупаемости.

Технические мероприятия

Тепловые сети крупных предприятий, как правило, имеют разветленную древовидную структуру, в которой потребители подключаются не только к распределительным, но и к магистральным сетям. Сети характеризуются большой протяженностью и, зачастую, имеют низкую гидравлическую устойчивость. Поэтому для автоматизации теплоснабжения целесообразным является реструктуризация сетей с целью повышения их управляемости.

Рациональная структура тепловых сетей требует четкого разделения магистральных и распределительных сетей с помощью автоматизированных тепловых пунктов (АТП). Группа потребителей, объединенная одной распределительной сетью, образует автономный сетевой район. Для снижения затрат целесообразно сооружение АТП для крупных сетевых районов, существенно определяющих гидравлические режимы магистрали. На тепловых вводах индивидуальных потребителей необходимо устанавливать регулируемые дроссельные устройства (РДУ) либо автоматизированные индивидуальные тепловые пункты (АИТП), осуществляющие связное регулирование тепловых нагрузок отопления, вентиляции и горячего водоснабжения (ГВС).

На источнике тепла предусматривается режим качественно-количественного регулирования за счет оснащения электродвигателей насосов частотными преобразователями. При этом должна обеспечиваться стабилизация напора на выходе источника при изменении гидравлических характеристик сети.

АТП должны выполнять следующие основные функции:

- 1) гидравлическая развязка сетевого района от магистральной сети;
- 2) стабилизации гидравлического режима районной тепловой сети;
- 3) регулирование отпуска тепла потребителям сетевого района.

Для удаленных сетевых районов необходимо сооружение АТП, оснащенных системами коррекции температурного графика на основе использования вторичных энергетических ресурсов, в частности низкопотенциального пара. Использование пара позволит скомпенсировать тепловые потери при транспортировке теплоносителя, организовать дополнительную подпитку теп-

лосети, а также утилизировать имеющиеся избытки пара. Управление режимами АТП должно осуществляться в рамках единой АСУ теплоснабжения.

Таким образом, в результате реализации предложенной структуры образуется многоуровневое построение тепловой сети на основе применения АТП и АИТП, в котором выделяются следующие уровни: тепловые станции, магистральные сети, сетевые районы, индивидуальные потребители. Схема рациональной структуры сети, построенная на основе указанных выше принципов, представлена на рис.1.

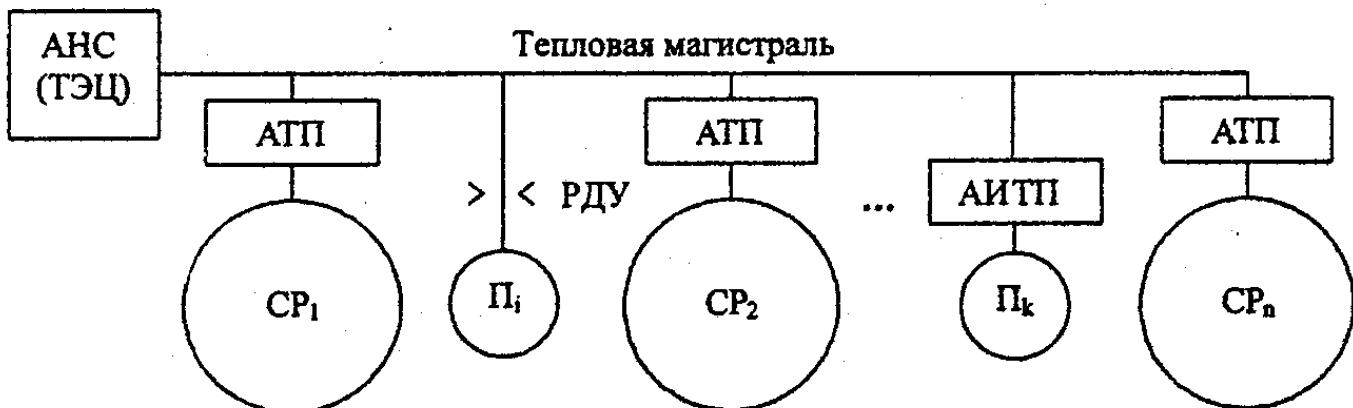


Рис. 1. Схема рациональной структуры тепловой сети:
АНС – автоматизированная насосная станция; СР – сетевой район;
Π – индивидуальный потребитель

Расчет требуемых характеристик оборудования АТП и АИТП целесообразно осуществлять на основе математического моделирования процесса теплоснабжения на уровне магистральных сетей и тепловых пунктов зданий.

Математическое моделирование процесса централизованного теплоснабжения объектов

Реальные системы централизованного теплоснабжения крупных промышленных предприятий являются чрезвычайно сложными технологическими объектами управления (ТОУ). Достаточно указать на примере ОАО "ММК": количество источников теплоснабжения – 4; протяженность тепловых сетей – около 180 км; количество подкачивающих насосных станций – более 10; количество тепловых пунктов потребителей – более 3500.

Поэтому для эффективного управления целесообразным является разбиение ТОУ на подсистемы и разработка укрупненных моделей подсистем ТОУ, ориентированных на решение конкретных практических задач, не требующих чрезмерной детализации характеристик сети и тепловых нагрузок, и одновременно позволяющих получать достоверные расчетные данные с достаточной для практического расчета точностью.

В работе приводятся укрупненные модели подсистем ТОУ, построенные в соответствии с указанными выше принципами.

Источники тепловой энергии

Источниками тепла в сетях централизованного теплоснабжения являются ТЭЦ, пиковые котельные, мусоросжигающие заводы и пр. При моделировании процесса централизованного теплоснабжения объектов в качестве исход-

ных режимных факторов, задающих работу источников, принимаются следующие параметры: температура теплофикационной воды в подающем трубопроводе, давление воды в подающем трубопроводе, давление воды в обратном трубопроводе.

Тепловые сети

Моделирование процесса передачи тепла от источника к потребителям сводится к определению параметров теплоносителя в расчетных точках сети. В работе приводится методика проведения гидростатического расчета теплосети на основе укрупненных расчетных схем. В качестве примера на рис. 2 приведена укрупненная расчетная схема магистрали промышленного района горно-обогатительного производства (ГОП) ОАО "ММК". Обозначения элементов на схеме приведены в табл. 3.

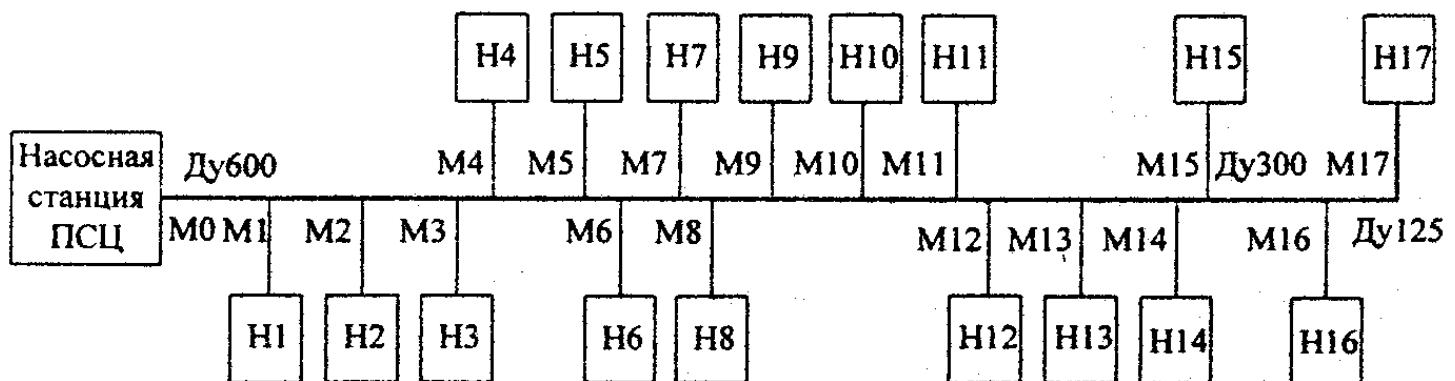


Рис. 2. Расчетная схема тепловой магистрали района ГОП ОАО "ММК"

Расчет гидравлических режимов сети производился с использованием разработанной расчетной матричной модели тепловой сети (рис. 3).

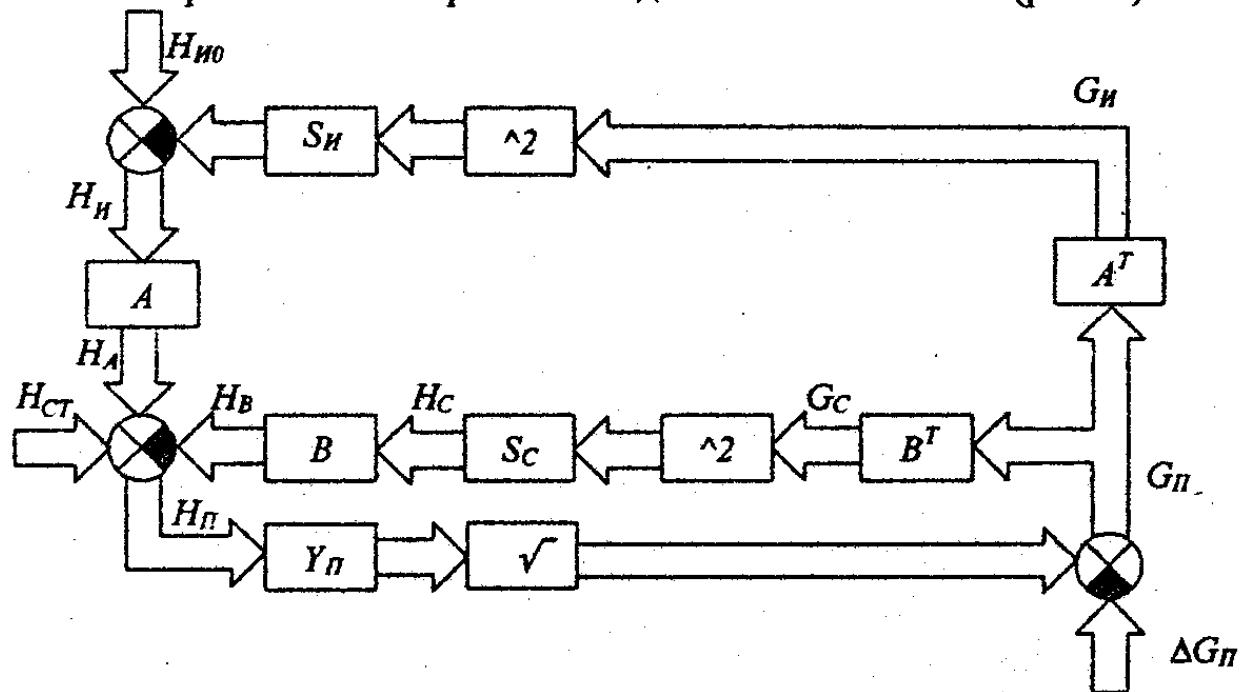


Рис. 3. Расчетная модель тепловой сети

На рис. 3 обозначено: S_i – внутренние гидравлические сопротивления источников; S_C – гидравлические сопротивления участков сети; Y_p – гидравлические проводимости потребителей; H_{i0} – напоры источников при нулевом расходе;

$H_{И}$, H_C , H_P – напоры источников, участков сети и потребителей соответственно; $H_{ст}$ – статические напоры в трубопроводах; $G_{И}$, G_C , G_P – расходы источников, участков сети и потребителей соответственно; ΔG_P – утечки воды у потребителей; A , B – матрицы связи.

Результаты моделирования гидравлического режима теплоснабжения района ГОП приведены в табл. 3. На рис. 4 приведен полученный расчетный пьезометрический график в тепловой сети района ГОП.

Таблица 3

Результаты моделирования гидравлического режима теплоснабжения района ГОП ОАО "ММК"

Обозначение района на схеме	Наименование	Расход в прямом трубопроводе, т/ч	Расход в обратном трубопроводе, т/ч	Узел	Пьезометрический напор в	Пьезометрический напор в обратном трубопроводе, м	Перепад напоров DH, м	Геодез. отм. поверхности земли, м	
					прямом трубопроводе, м			абсолютная (проектные данные)	относительная
H17	H/ст рудника	13,0	11,8	M18	40,0	39,0	1,0	438,0	48,0
H16	Котельная ФКМ	2,0	0,0	M17	42,8	40,3	2,5	436,0	46,0
H15	Эл.п/ст 63	3,1	2,8	M16	45,9	43,3	2,6	433,0	43,0
H14	H/ст. №104	466,0	424,1	M14	46,9	44,3	2,6	432,0	42,0
H13	ПУ-708	3,0	2,7	M13	53,0	50,2	2,8	426,0	36,0
H12	СУ установка АФ-4	20,0	18,2	M12	60,1	57,1	3,0	419,0	29,0
H11	АФ-4 ввод1	165,0	150,2	M11	60,3	56,9	3,4	419,0	29,0
H10	АФ-4 ввод2	87,0	79,2	M10	60,4	56,8	3,5	419,0	29,0
H9	Камера перекл., H/ст 21(ЦВС)	4,1	3,7	M9	69,0	64,3	4,7	411,0	21,0
H8	АФ-2,3	71,0	69,0	M8	71,4	66,0	5,4	409,0	19,0
H7	ВФУ РОФ, эл.п/ст.65, комп.1	44,0	44,0	M7	74,9	68,5	6,4	406,0	16,0
H6	СУ-2,3, Столовая 11	47,5	47,0	M6	79,6	71,9	7,7	402,0	12,0
H5	ЗАО "АВТЕН", ЦВС	75,0	68,3	M5	83,4	74,1	9,3	399,0	9,0
H4	АО"Монтажник", ТОО"Свеми"	17,5	15,9	M4	82,7	72,8	9,9	400,0	10,0
H3	H/ст. №26 (ЦВС)	1,0	0,9	M3	81,5	70,1	11,4	402,0	12,0
H2	ГРП-7	3,5	3,2	M2	82,7	70,9	11,8	401,0	11,0
H1	АБК ВММ-96 участок 1	0,5	0,5	M1	89,6	76,1	13,4	395,0	5,0
I1	Насосная станция ПСЦ	1023,2	941,4	M0	95,3	80,5	14,8	390,0	0,0

Сопоставление полученных расчетных данных с показаниями установленных в тепловой сети района ГОП приборов и данными, полученными в результате специально проведенных замеров, показало достаточное для практического использования совпадение результатов.

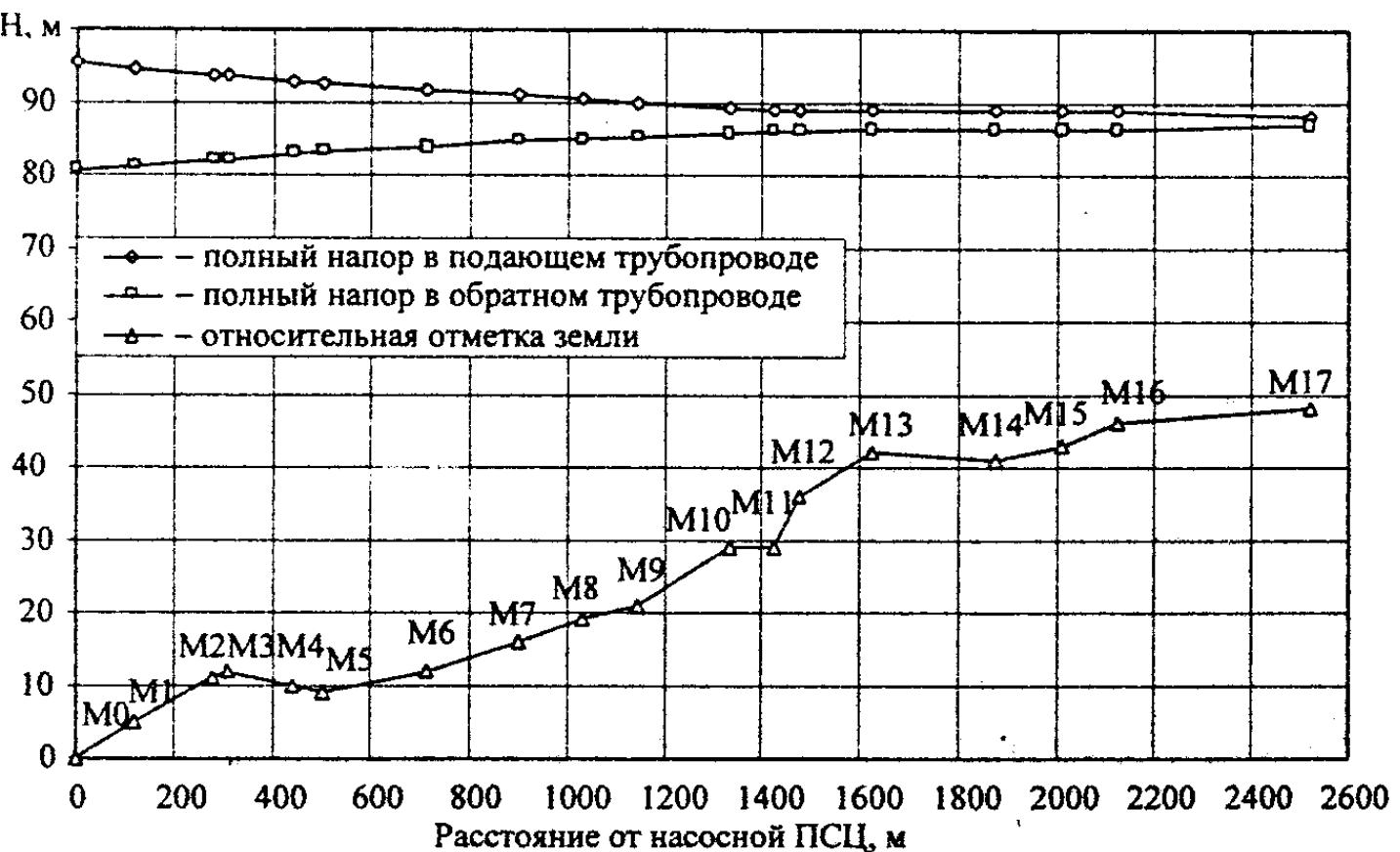


Рис. 4. Пьезометрический график в тепловой сети района ГОП ОАО "ММК"

Тепловые пункты

Тепловое оборудование АТП и АИТП включает в себя различного рода теплообменные аппараты (нагревательные приборы, водо-водяные подогреватели, калориферы и т.п.), насосы, регулирующие клапаны и др. оборудование.

В работе построены статические математические модели наиболее широко используемых теплообменных аппаратов (ТА), таких как отопительный прибор и теплообменник с противотоком, а также модели насоса и регулирующего клапана. Особенностью моделей ТА является учет распределенности ТА в пространстве. Применение указанных моделей на практике позволяет осуществлять расчет параметров и выбор оборудования АТП и АИТП.

Тепловой режим здания

Система отопления здания является достаточно сложным объектом регулирования с распределенными параметрами. Основные факторы, действующие на здание, как объект регулирования, приведены на рис. 5. Теплота источника Q_0 выполняет функции управляющего воздействия для поддержания температуры помещения $T_{\text{ном}}$. Наружная температура T_n , скорость ветра $V_{\text{вет}}$, солнечное излучение $J_{\text{рад}}$, внутренние тепловыделения $Q_{\text{внут}}$, теплота, аккумулируемая в здании, $Q_{\text{ак}}$ являются возмущающими воздействиями, влияющими на температуру $T_{\text{ном}}$.

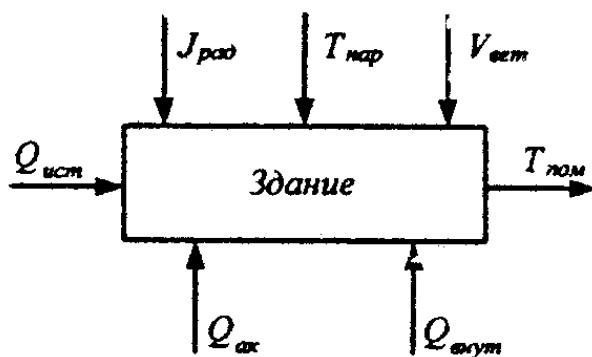


Рис. 5. Факторы, действующие на тепловой режим здания

В работе построена математическая модель теплового режима здания, позволяющая с достаточной для практического использования точностью рассчитать статические режимы и качественно оценить динамику тепловых процессов в здании. Применение модели позволяет проводить анализ способов автоматического регулирования отопления зданий.

Способы автоматического регулирования отопления зданий

Способ автоматического регулирования расхода тепла в системе центрального отопления здания в условиях большого диапазона изменения параметров теплоносителя

В предложенном способе регулирования отпуска тепла на отопление регулирование температуры в подающем трубопроводе ведется по отклонению фактической тепловой мощности $Q_\phi(t)$, отпускаемой на отопление, от требуемой тепловой мощности $Q_{mp}(t)$, определяемой для текущей температуры воздуха вне здания с учетом температуры воздуха внутри здания, где t – текущее время. В результате обеспечивается возможность эффективного регулирования отпуска тепла на отопление при существенных изменениях параметров теплоносителя, т.к. любые изменения температуры или расхода теплоносителя непосредственно сказываются на отпускаемой тепловой мощности.

Требуемая тепловая мощность отопления здания определяется из графика $Q_{mp}(T_n(t))$, получаемого экспериментально. Для повышения точности при регулировании осуществляется коррекция полученного графика тепловой мощности по отклонению температуры воздуха внутри здания от заданного значения:

$$Q_{mp}(t) = Q_{mp}(T_n(t)) \pm \Delta Q_{mp}, \quad (10)$$

где ΔQ_{mp} – коррекция отпускаемой тепловой мощности.

Фактическая тепловая мощность $Q_\phi(t)$, подаваемая на отопление здания в каждый момент времени, определяется выражением:

$$Q_\phi(t) = c \cdot G(t) \cdot (T_{01}(t) - T_{02}(t)), \quad (11)$$

где $T_{01}(t)$ – текущая температура теплоносителя в прямом трубопроводе системы отопления; c – удельная теплоемкость теплоносителя; $T_{02}(t)$ – текущая температура теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления; $G(t)$ – текущий расход теплоносителя. Управляющее воздействие формируется

исходя из условия равенства нулю разности требуемой $Q_{mp}(t)$ и фактической $Q_\phi(t)$ тепловой мощности, подаваемой на отопление:

$$Q_{mp}(t) - Q_\phi(t) = 0, \quad (12)$$

Отсюда требуемая температура теплоносителя в подающем трубопроводе определяется из формулы:

$$T_{01}(t) = T_{02}(t) + \frac{1}{G(t) \cdot c} \cdot (Q_{mp}(T_n(t)) \pm \Delta Q_{mp}). \quad (13)$$

Пример схемы АИТП, реализующего данный способ, приведена на рис. 6.

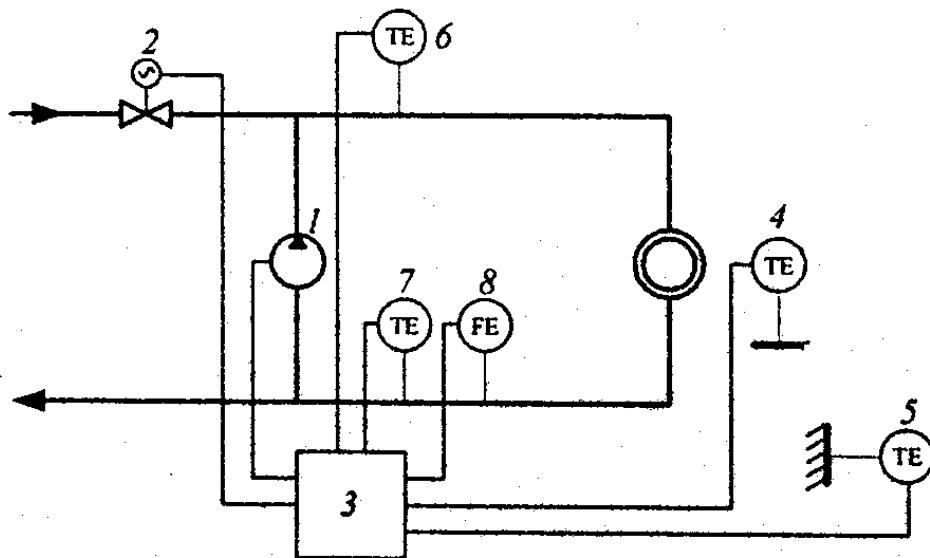


Рис.6. Схема автоматизации теплового пункта здания:

1 – насос; 2 – регулирующий клапан; 3 – контроллер; 4,5 – датчики температуры воздуха внутри и вне здания соответственно; 6,7 – датчики температуры теплоносителя; 8 – датчик расхода теплоносителя

Способ успешно прошел испытания в АИТП химводоочистки ПСЦ ОАО "ММК". На способ получен патент РФ на изобретение.

Способ адаптивного регулирования отопления здания

Закон адаптации в общем случае имеет вид:

$$P_i(t) = f_i(J_0, T_{nom}), \quad (14)$$

где $P_i(t)$ – вектор параметров регулятора отопления; J_0 – целевая функция.

При регулировании отопления тепловая мощность отопления здания регулируется по тепловому графику $Q_0(T_n)$. Поэтому, адаптивная настройка системы регулирования отопления осуществляется за счет корректировки теплового графика. При этом целевой функцией J_0 служит среднесуточное отклонение температуры воздуха в помещении E_{Tn}^{sp} , являющееся интегральным показателем поступлений и потерь тепловой энергии в здании.

Тепловой график можно в первом приближении аппроксимировать линейной функцией. Максимальное значение тепловой мощности отопления (100%) соответствует расчетной температуре наружного воздуха (-34°C для г. Челябинска). Таким образом, коррекция графика сводится к определению

мощности отопления Q_0^* , соответствующей температуре конца отопительного сезона $+8^\circ\text{C}$ (рис. 7).

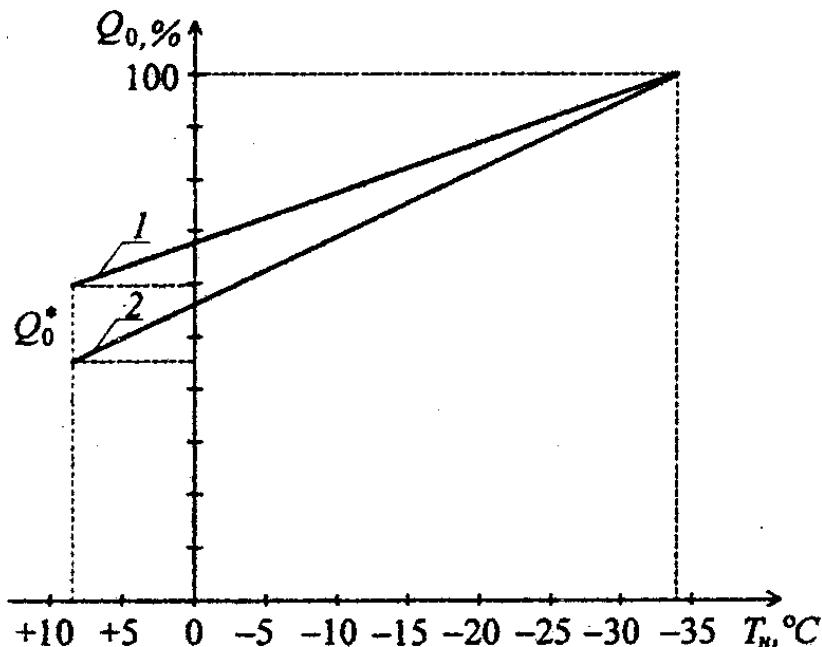


Рис. 7. Коррекция теплового графика при адаптивной настройке:
1 – исходный график; 2 – график после адаптивной настройки

В работе для адаптивной настройки использовался дискретный интегральный регулятор. Регулятор корректирует вертикальное смещение точки отопительного графика, соответствующей температуре наружного $+8^\circ\text{C}$. С учетом сделанных допущений закон адаптации запишется в виде

$$\begin{aligned} Q_0^*[k+1] &= Q_0^*[k] + \text{sign}(E_{Tn}^{cp}[k]) \cdot K_i, & |E_{Tn}^{cp}[k]| > E_{Tn}^{cp*}; \\ Q_0^*[k+1] &= Q_0^*[k], & |E_{Tn}^{cp}[k]| < E_{Tn}^{cp*}; \end{aligned} \quad (15)$$

где E_{Tn}^{cp*} – величина зоны нечувствительности; K_i – коэффициент интегрирования.

Моделирование работы предложенного адаптивного алгоритма показало, что адаптивная настройка отопительного графика позволяет значительно повысить точность поддержания требуемого температурного режима в здании.

Способ регулирования отопления на основе применения нечеткой логики

В работе построена САР отопления здания с использованием нечеткого регулятора. Нечеткий регулятор формирует выходной управляющий сигнал на основании входных сигналов ошибки и производной по времени ошибки внутренней температуры воздуха, а также производной температуры наружного воздуха.

Структурная схема нечеткого регулятора приведена на рис. 8. На схеме обозначено: $\Phi\Pi(E_{Tn})$ – функции принадлежности для входа ошибки внутренней температуры; $\Phi\Pi(dE_{Tn}/dt)$ – функции принадлежности для входа производной ошибки внутренней температуры; $\Phi\Pi(dT_n/dt)$ – функции принадлежности для входа производной наружной температуры.

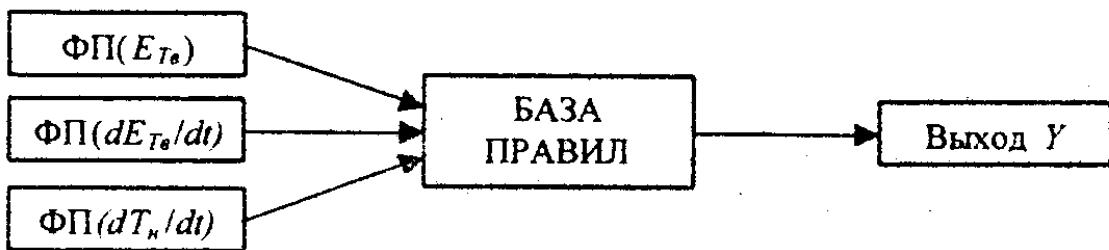


Рис. 8. Структурная схема нечеткого регулятора

Оценка качества регулирования отопления на основе нечеткого регулятора проводилась путем сравнения результатов моделирования САР с нечетким регулятором и традиционным ПИД регулятором. Результаты моделирования показали, что применение нечеткого регулятора позволяет добиться меньших колебаний температуры в помещении при действии возмущений по сравнению с традиционным ПИД регулятором. При этом следует отметить, что достигнутые результаты не являются пределом возможностей нечеткого регулирования. Благодаря гибкости и мощности нечеткой системы, качество регулирования может быть улучшено за счет внесения дополнений и (или) изменений в структуру нечеткого регулятора. Однако негативным фактором, ограничивающим применение нечетких систем регулирования на практике, является сложность их настройки.

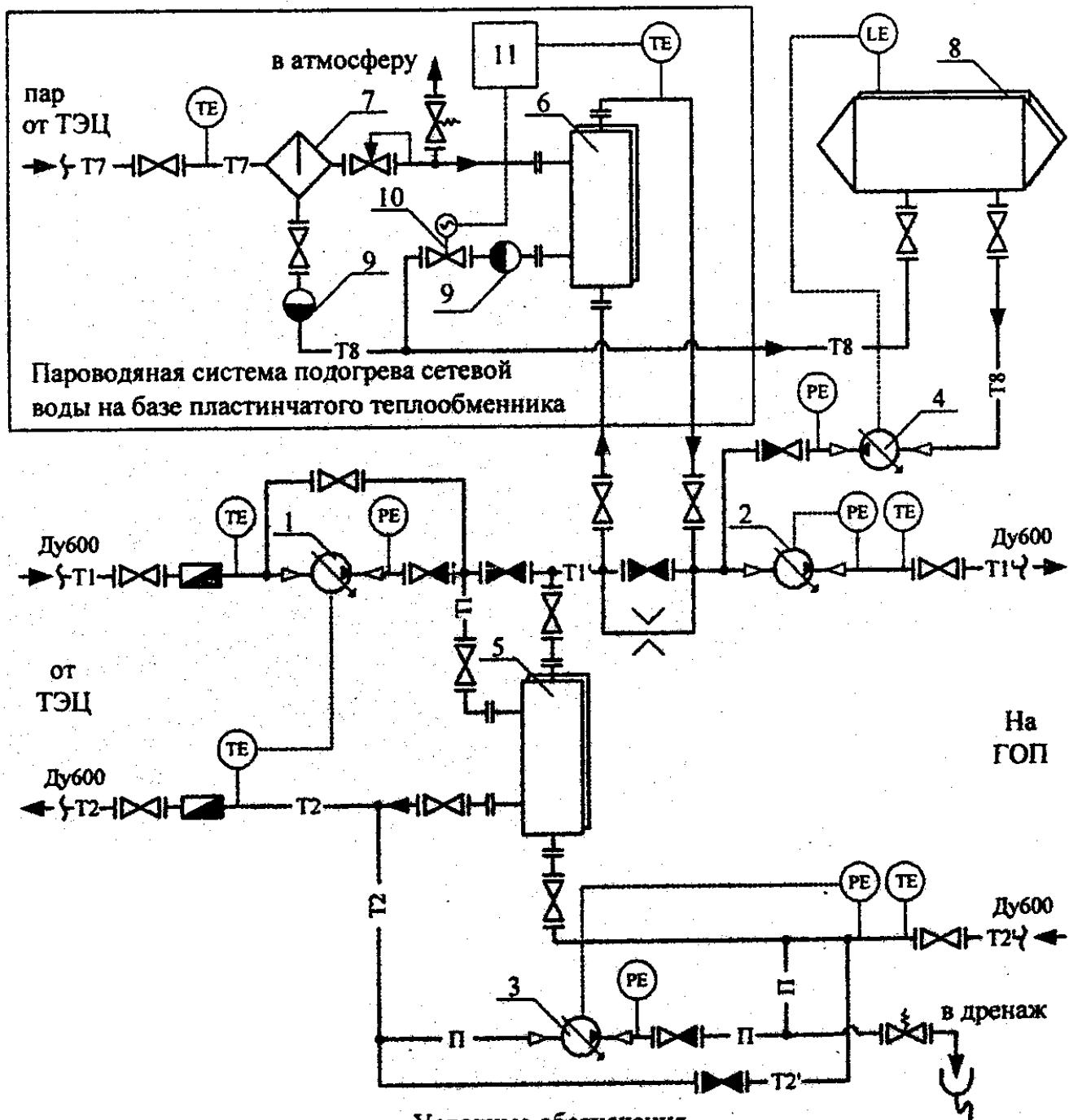
Автоматизированная тепловая подстанция с системой коррекции температурного графика на основе пароводяного теплообменника

В работе представлена принципиальная схема автоматизированной тепловой подстанции сетевого района горно-обогатительного производства ОАО "ММК" (АТП-ГОП).

Целью создания АТП-ГОП является развязка районных и магистральных тепловых сетей по гидравлическим и теплотехническим параметрам, повышение качества теплоснабжения сетевого района на основе коррекции температурного графика, повышения гидравлической устойчивости, снижения потерь и повышения надежности теплоснабжения.

У крупненная принципиальная схема АТП-ГОП приведена на рис. 9. Особенностью разработанной схемы АТП являются:

- 1) осуществление коррекции температурного графика с использованием автоматизированного пароводяного подогревателя на основе пластинчатого теплообменника;
- 2) введение двухконтурной системы теплоснабжения района ГОП на основе пластинчатых теплообменников;
- 3) возможность автономного теплоснабжения района ГОП от паровой сети в случае аварии на магистрали.



- задвижка
- регулирующий клапан
- гравийник
- обратный клапан
- предохранительный клапан
- регулятор прямого действия
- закрытая задвижка
- расходомер
- дроссельное устройство
- прямая сетевая вода I контур
- прямая сетевая вода II контур

- T2 — обратная сетевая вода I контур
- T2' — обратная сетевая вода II контур
- T7 — пар от ТЭЦ
- T8 — конденсат от теплообменников
- П — на подпитку тепловых сетей
- 1 — подкачивающий регулируемый насос
- 2 — циркуляционный регулируемый насос
- 3 — подпиточный регулируемый насос
- 4 — конденсатный регулируемый насос
- 5 — пластинчатый водо-водянной теплообменник
- 6 — пластинчатый паро-водянной теплообменник
- 7 — сепаратор
- 8 — конденсатный бак
- 9 — конденсатоотводчик
- 10 — регулирующий клапан с электроприводом
- 11 — контроллер системы подогрева воды

Рис.9. Укрупненная схема АТП-ГОП

Система коррекции температурного графика на основе автоматизированного пароструйного подогревателя

В работе предложена система коррекции температурного графика на основе автоматизированного пароструйного подогревателя (рис. 11), обладающая более низкой стоимостью, чем система на основе теплообменника.

Пароводяные струйные подогреватели (ПСП) на протяжении многих лет находят широкое применение в различных областях хозяйства. Однако существенным фактором, ограничивающим их применение в теплоснабжении, являлось отсутствие автоматического регулирования режимов.

Особенностью задачи автоматизации является отсутствие в литературе полного математического описания процессов протекающих в ПСП, достаточного для построения адекватной математической модели. Поэтому разработка системы автоматического регулирования режимов ПСП основывалась на экспериментальных данных, полученных в результате испытаний ПСП производства ООО "Прессмаш", г. Миасс, установленного в ПСЦ ОАО "ММК". Экспериментальная регулировочная характеристика ПСП показана на рис. 10.

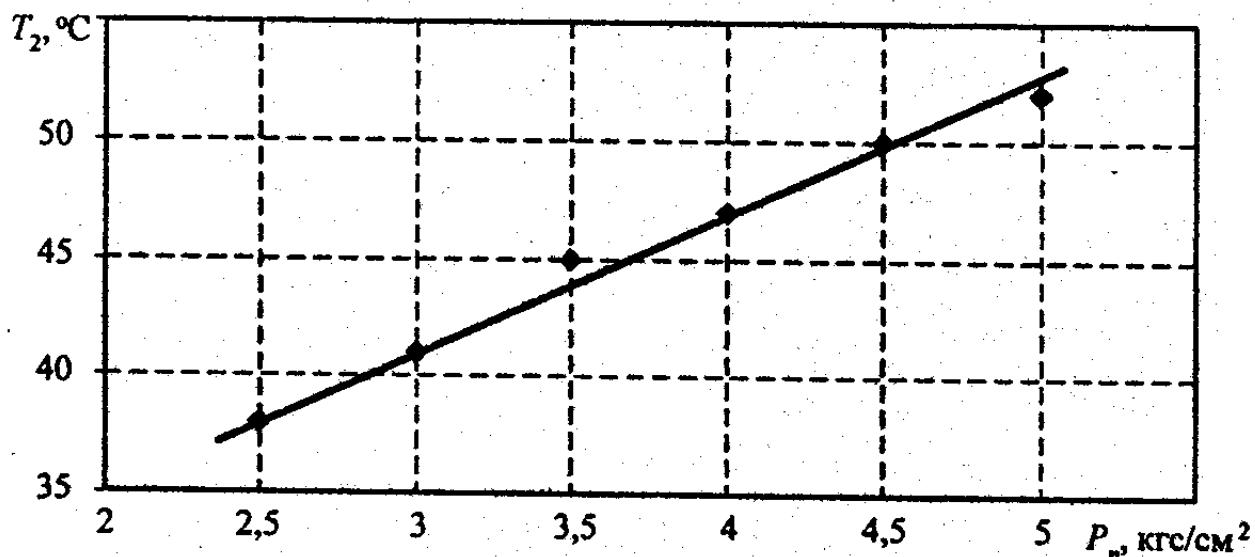


Рис. 10. Экспериментальная регулировочная характеристика ПСП:
 T_2 – температура воды на выходе, P_n – давление пара на входе

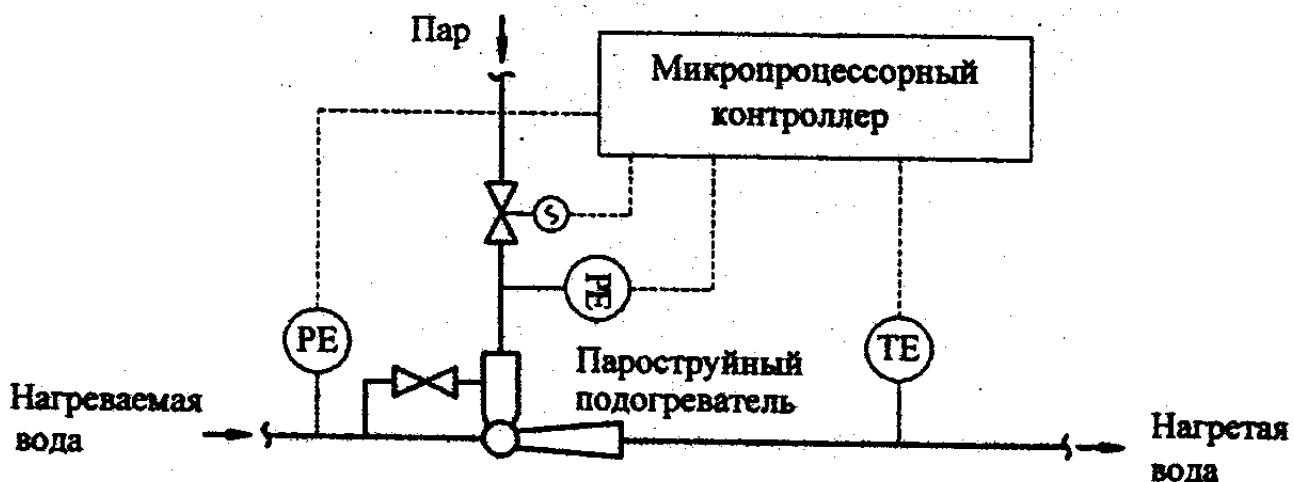


Рис. 11. Схема системы автоматического регулирования режимов ПСП

Проведенные испытания показали, что установленная система автоматического регулирования обеспечивает поддержание заданной температуры на выходе ПСП с точностью $\pm 0,5$ °С. При этом ПСП работает стablyно без возникновения детонаций.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Сложившиеся технико-экономические условия на промышленных предприятиях и других секторах хозяйства показывают, что в обозримом будущем на многих предприятиях и организациях централизованное теплоснабжение потребителей будет вестись по пониженному температурному графику. На источниках тепла применение пониженного температурного графика дает следующие преимущества:

- а) снижение потребления топлива;
- б) рост выработки электроэнергии.

В этих условиях на стороне потребителей является актуальной задача нормализации режимов и адаптации потребителей к низкотемпературному централизованному теплоснабжению на основе применения средств автоматизации.

2. Нормализация режимов теплоснабжения и адаптация потребителей к низкотемпературному графику осуществляется на основе проведения комплекса мероприятий, включающего:

- а) введение нормативного отпуска тепловой энергии потребителям в соответствии с расчетным графиком, определяемым на основе удельных норм потребления ресурсов;

- б) обеспечение максимальной гидравлической устойчивости и автономности регулирования режимов теплоснабжения потребителей на основе разделения магистральных и распределительных сетей с помощью автоматизированных тепловых подстанций (пунктов);

- в) применение эффективных способов автоматического регулирования теплоснабжения потребителей, включающих адаптивные алгоритмы, связное регулирование тепловых нагрузок отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;

- г) установка систем автоматизированного диспетчерского управления теплоснабжением на уровне сетевых районов.

3. Для решения задач автоматического регулирования теплоснабжения крупных промышленных предприятий целесообразно использовать специальные укрупненные модели тепловых сетей, параметры которых могут быть определены на основе экспериментальных статистических данных. В работе предложена укрупненная универсальная модель тепловой сети, ориентированная на использование в системах автоматизации. Кроме того, разработаны модели оборудования тепловых пунктов и теплового режима здания. Использование указанных моделей на практике позволяет осуществлять расчет режимов и выбор оборудования систем автоматики.

4. Применение разработанного способа автоматического регулирования расхода тепла в системе центрального отопления здания в условиях большого диапазона изменения параметров теплоносителя позволяет повысить точность отпуска тепла на отопление. При этом не требуется установка дополнительных устройств стабилизации давления на тепловых вводах потребителей, что снижает стоимость оборудования системы автоматики.

5. Необходимое качество регулирования отопления зданий при существенных изменениях параметров объектов можно достичь на основе применения разработанных адаптивного регулятора и регулятора на основе нечеткой логики. Применение адаптивного регулятора не требует точной настройки коэффициентов системы автоматики на этапе ввода в эксплуатацию, что снижает сроки и стоимость проведения пуско-наладочных работ.

6. Схема АТП, предложенная в работе, обеспечивает автоматическое поддержание на заданном уровне параметров теплоносителя в магистральной и распределительной тепловых сетях. Для коррекции температурного графика АТП включает подсистему подогрева сетевой воды, выполненную в двух вариантах: на базе автоматизированного пароводяного пластинчатого теплообменника или автоматизированного пароструйного подогревателя.

7. Разработанная система коррекции температурного графика на базе автоматизированного пароструйного подогревателя (АПСП) существенно дешевле аналогичной системы на базе пароводяного теплообменника. Испытания, проведенные в паросиловом цехе ОАО "ММК", показали, что АПСП устойчиво и надежно работает в широком диапазоне входных параметров воды и пара и обеспечивает подогрев воды до заданного значения с требуемой точностью.

8. Внедрение на промплощадке ОАО "ММК" разработанного комплекса мероприятий в целом показало свою эффективность. Проведенная оценка экономического эффекта от комплекса мероприятий в целом составила около 60 млн. руб. в год.

По теме диссертации опубликованы следующие работы.

1. Ельфимовская Е. В., Шнайдер Д.А. Расчет гидравлических режимов в системах водяного теплоснабжения // Автоматизация и управление в технических системах: Сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – С.58–60.

2. Казаринов Л.С., Постаушкин В.Ф., Шнайдер Д.А. Адаптивное регулирование отопления здания // Энергосбережение на промышленных предприятиях: Материалы II Международной научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во "Дом печати", 2000. – С.165–168.

3. Применение автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов – ключ к энергосбережению в системах централизованного теплоснабжения / Казаринов Л.С., Постаушкин В.Ф., Шнайдер Д.А., Шишкин М.В. // Вестник энергосбережения Южного Урала. – Челябинск: Межрайонная типография, 2000, №1. – С.16–18.

4. Казаринов Л.С., Шнайдер Д.А. Автоматическое регулирование на тепловых вводах зданий в дефицитных режимах // Энергосбережение в промышленности и городском хозяйстве: Сб. тез. науч.-практ. конф. (14-15 июня). – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. С.24–25.

5. Моделирование теплового режима здания / Постаушкин В.Ф., Шнайдер Д.А., Калинин П.В., Касюк С.Т. // Системы автоматического управления: Сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – С.66–73.

6. Шнайдер Д.А. Нечеткий регулятор для управления отоплением здания // Системы автоматического управления: Сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – С.74–79.

7. Шнайдер Д.А. Об оптимизации режимов тепловых сетей промышленных предприятий с использованием средств автоматизации // Компьютерные технологии, управление и радиоэлектроника: Вестник ЮУрГУ, 2001, №9(09). – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ – С.71–75.

8. Шнайдер Д.А., Шишкин М.В. Адаптивный регулятор отопления здания на основе искусственных нейронных сетей // Автоматизация и управление в технических системах: Сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – С.131–134.

9. Шнайдер Д.А., Шишкин М.В. Автоматизированная система мониторинга и управления технологическими процессами на основе сети MicroLan // Новые программные средства для предприятий Урала, выпуск 1: Сб. тр. Региональной научно-технической конференции под ред. В.Д. Тутаровой – Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2002. – С.84–89.

10. Патент на изобретение РФ №2196274 "Способ автоматического регулирования расхода тепла в системе центрального отопления здания", М. Кл. F 24 D 19/10 от 28.05.2001.

Издательство Южно-Уральского государственного
университета

ИД № 00200 от 28.09.99. Подписано в печать 20.05.2003. Формат
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1.
Тираж 100 экз. Заказ 149/204.

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.