



Информационно-
аналитический
бюллетень
ПАО «Мосэнерго»

ЭНЕРГЕТИКА ЭКОЛОГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ



Выпуск № 3 / 2025

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ
СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

УДК 620.9:502/504
ББК 31+20.1
Э 40

Издание выходит с 2022 года

Главный редактор академик РАН **А.В. Клименко**

Э 40 **Энергетика, экология, энергосбережение** : бюллетень /
под редакцией академика РАН А.В. Клименко. — Москва :
ПАО «Мосэнерго», 2025. —

ISBN 978-5-383-01736-4

Вып. 3. Технологическая трансформация теплоснабжающих
систем в условиях энергоперевода / [В.А. Стенников]. — 2025. —
40 с.

ISBN 978-5-383-01739-5

Теплоснабжение играет важнейшую роль в экономике, социальной сфере и обеспечении жизнедеятельности населения страны. Современный курс на энергетический переход неосуществим без радикальной трансформации структуры, принципов построения теплоснабжающих систем и интеллектуального управления ими. Технологическая инфраструктура таких систем в процессе своего эволюционного развития преобразуется в сложную киберфизическую систему с централизованно-распределенной архитектурой, множеством разнотипных источников тепла и аккумуляторов, многоконтурной схемой теплосети и активными потребителями. В режиме реального времени они должны эффективно осуществлять процессы производства, транспортировки, передачи и распределения тепловой энергии, обеспечивая надежное, доступное и экологичное теплоснабжение потребителей. Решение этой триединой задачи предполагает переход к новой технологической парадигме в теплоснабжении, основные положения которой рассматриваются в настоящей публикации.

Источник фото на обложке: [https://www.chemietechnik.de/assets/
images/8/39259-fa0225fe.webp](https://www.chemietechnik.de/assets/images/8/39259-fa0225fe.webp)

**УДК 620.9:502/504
ББК 31+20.1**

ISBN 978-5-383-01739-5 (вып. 3)
ISBN 978-5-383-01736-4

© ПАО «Мосэнерго», 2025
© Стенников В.А., 2025

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

СОДЕРЖАНИЕ

1. Теплоснабжение России. Его роль и основные особенности	3
2. Технологический вектор формирования теплоснабжающих систем будущего	9
3. Трансформация теплоснабжающих систем в условиях энергоперехода	19
4. Техническая политика в теплоснабжении	29
Заключение	38
Литература	40

ОБ АВТОРЕ



СТЕННИКОВ
Валерий Алексеевич

Доктор технических наук, профессор, академик
РАН, директор ИСЭМ СО РАН



<https://static.tildacdn.com/tild3633-3731-4536-a465-376565353763/bc940889e0bd90d6616d.jpg>

Теплоснабжение обладает высокой социальной и экономической значимостью, являясь важнейшей отраслью жизнеобеспечения населения России

1 Теплоснабжение России. Его роль и особенности



Предпосылки преобразований в теплоснабжении

Роль теплоснабжения в экономике и социальной сфере страны, а также проблемы в этой отрасли достаточно хорошо известны, активно обсуждаются в средствах массовой информации, научных публикациях, предлагаются различные меры по их решению. Вместе с тем параллельно возрастает внимание мирового сообщества к преобразованию теплоснабжающих систем в рамках энергетического перехода, этому посвящаются серьезные дискуссии, высказываются различные предложения, которые требуют осмысления, соответствующей оценки, тем более что многие из этих предложений находят всё большее применение на практике. Такой энергопереход неизбежно приводит к структурным изменениям систем, и именно эта тема является предметом рассмотрения в настоящей работе.

Глобальные тенденции, наблюдаемые в рамках смены технологического уклада, во многом обусловили современные преобразования, происходящие в энергетике вообще и теплоснабжении в частности. Эти трансформации, которые уже во многом приобрели масштабный характер, стали результатом вызовов, проявившихся в последние годы. Они связаны со стремительным развитием безуглеродных технологий генерации энергии на основе возобновляемых источников энергии, распределенной генерации энергии, ростом активности потребителей в участии регулирования своего спроса, интеллектуализацией, цифровизацией, экологизацией, интеграцией и другими процессами, протекающими в энергетике. Происходящие изменения являются объективными и не зависят от конъюнктурных, политических или других каких-либо предпочтений. Они обусловлены сменой технологического уклада, предполагающего приоритет знаний, интеллекта, информационных и интернет-технологий, микроэлектроники, биотехнологий, наноэнергетики и других наноразмерных производств. При этом возрастает роль потребителей, с централизованными источниками конкурирует распределенная генерация энергии, актуальными становятся компромиссные решения. Этому способствуют растущие рынки доступных и современных технологий аппаратной аналитики, систем управления и учета тепловой энергии, газа, электроэнергии, а также телекоммуникаций и информационной инфраструктуры, малой энергетики и др. Они предлагают потребителям тепловой и электрической энергии возможность активно действовать и организовывать их собственное производство. Взаимосвязь систем усиливается, объем обмениваемой информации увеличивается, управление системами становится все более сложным, а риск возникновения нештатных ситуаций возрастает. В последние годы значительно усиливаются требования по обеспечению устойчивости теплоснабжения, повышению эффективности, надежности функционирования энергосистем, снижению антропогенного воздействия на окружающую среду и пр. Они существенно влияют

на принимаемые решения по развитию теплоснабжающих систем (ТСС) и управлению ими.

В этой публикации излагается обобщенное представление о глобальных вызовах и угрозах, происходящих в энергетике, их влиянии на развитие отечественного теплоснабжения, о существующих и перспективных тенденциях технологического преобразования теплоснабжающих систем с определенным акцентом на особенности отечественного теплоснабжения, далее следует описание существующих в отечественных ТСС проблем, их решений и практической реализации.

Роль теплоснабжения России и его основные особенности на современном этапе развития

Теплоснабжение обладает высокой социальной и экономической значимостью, являясь важнейшей отраслью жизнеобеспечения населения страны, две трети территории которой расположены в суровых климатических условиях с продолжительным отопительным сезоном. Здесь потребляется около 40 % топлива, занято свыше 2 млн человек трудового населения, производство тепловой энергии более чем в 2 раза превышает выработку электроэнергии (соответственно 2,41 трлн кВт · ч и 1,2 трлн кВт · ч). На долю централизованного теплоснабжения России приходится около 44 % мирового производства тепла централизованными источниками, это примерно в 1,5 раза больше, чем в Китае, сравнимого по масштабам систем. Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), обеспечивающие комбинированную выработку электрической и тепловой энергии, отпускают примерно 65—70 % всей тепловой энергии в стране. Они поставляют не менее 30 % производимой электростанциями электрической энергии.

В теплоснабжении расходуется 400—450 млн т у.т. (треть от суммарного потребления топлива в стране) с учетом затрат электроэнергии на перекачку теплоносителя. Потенциал энергосбережения, связанный с превышением нормативов удельного расхода топлива на выработку тепла, тепловых потерь в тепловых сетях и в системах теплоснабжения, превышает 40 %. Здесь также сосредоточен большой потенциал (не менее 30 %) снижения вредных выбросов в окружающую среду, в том числе выбросов CO₂.

Услугами централизованного теплоснабжения пользуются более 70 % населения, в отдельных городах — 95 % и выше, остальная часть населения обеспечивается теплом от малых котельных и отопительных печей. В крупных городах и промышленных центрах охват теплоснабжением составляет 90 % и более. В городах страны сформировались и эксплуатируются большое число уникальных по масштабам систем централизованного теплоснабжения, имеющих один или несколько источников тепла (ИТ), работающих (за исключением пиковых ИТ) изолированно друг от друга, и сложные тепловые сети, распределенные по большим территориям. Единичная тепловая мощность ИТ достигает 4000 Гкал/ч и более для ТЭЦ и 900 Гкал/ч для котельных. Радиусы теплоснабжения превышают 30 км (Москва, Екатеринбург, Новосибирск и др.), общая протяженность сетей в одной системе измеряется сотнями километров, диаметры магистральных теплопроводов составляют 1200—1400 мм. По каждой такой магистрали теплотой снабжается жилой массив с населением 250—400 тыс. человек. Укрупненная схема с графическим представлением отдельных ее узлов и пьезометрическим графиком одного из городов России приведена на рис. 1. Она дает визуальное представление о сложности и масштабах действующих ТСС.

Требования по охране окружающей среды заставляют выносить ИТ за пределы городской застройки, а это еще более увеличивает дальность передачи тепловой энергии и диаметры теплопроводов. Из разряда относительно локальных объектов, ТСС сегодня превратились в сложные технические системы, обладающие многими свойствами больших систем энергетики. Основным звеном, формирующим ТСС и определяющим ее системные свойства как единого технологически связанного объекта, являются тепловые сети.

Тепловые сети современных ТСС стали сложными инженерными сооружениями, объединяющими в единую систему теплоподготовительные установки ИТ и многочисленные узлы присоединения разнородных потребителей.

В зависимости от назначения тепловые сети условно подразделяют на транзитные, магистральные и распределительные. Однако на практике такое деление сетей носит условный

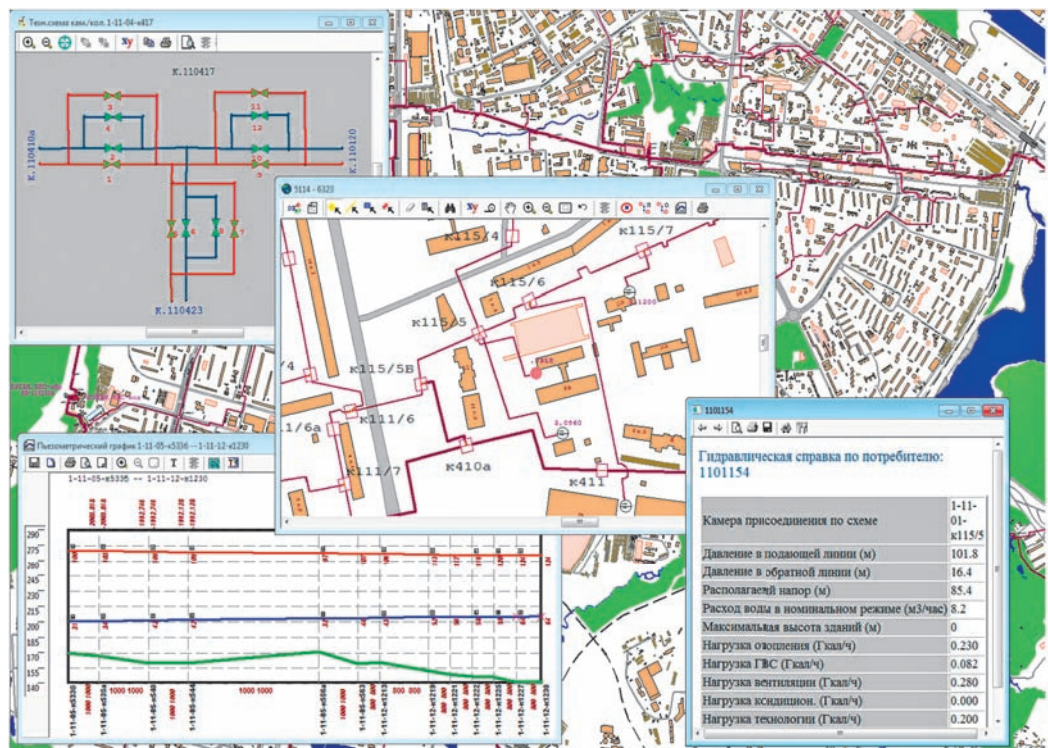


Рис. 1.
Укрупненная структура теплоснабжающей системы одного из городов России [1]

характер, поскольку они не имеют четких границ с узлами контроля и регулирования распределения тепла, и их классифицируют, как правило, по диаметрам трубопроводов.

Структурная сложность тепловых сетей проявляется в многоконтурности и пространственности их схем, в наличии активных и регулирующих устройств, в неоднородности и нелинейности индивидуальных технико-экономических характеристик элементов. Многоконтурность тепловых сетей обусловлена как двухлинейными схемами, обеспечивающими замкнутую циркуляцию теплоносителя, так и процессом развития, когда отдельные магистрали соединяются перемычками, образуя многоконтурные системы подающих и обратных трубопроводов.

Усложнение структуры ТСС связано и с объединением нескольких источников для работы на общий график тепловой нагрузки. Однако параллельная работа нескольких ТЭЦ, а также ТЭЦ и районных котельных на общие тепловые

сети широкого распространения еще не имеет (в основном из-за несовершенства структуры тепловых сетей, их неуправляемости и трудностей в организации совместных режимов их эксплуатации). Вместе с тем вопрос об этом ставится все чаще в связи с непрерывным развитием систем, необходимостью повышения надежности и экономичности теплоснабжения.

Основными направлениями повышения эффективности теплоснабжения на базе теплофикации в нашей стране до недавнего времени считались: сооружение все более мощных ТЭЦ с критическими начальными параметрами пара, создание высокоэкономичных теплофикационных турбоагрегатов мощностью 250 МВт и выше, сооружение газотурбинных и парогазовых ТЭЦ (соответственно ГТУ-ТЭЦ и ПГУ-ТЭЦ), обеспечение полной загрузки ТЭЦ по теплу, улучшение удельных экономических показателей при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии. С увеличением мощностей ИТ росли диаметры трубопроводов, что

1. Теплоснабжение России. Его роль и особенности

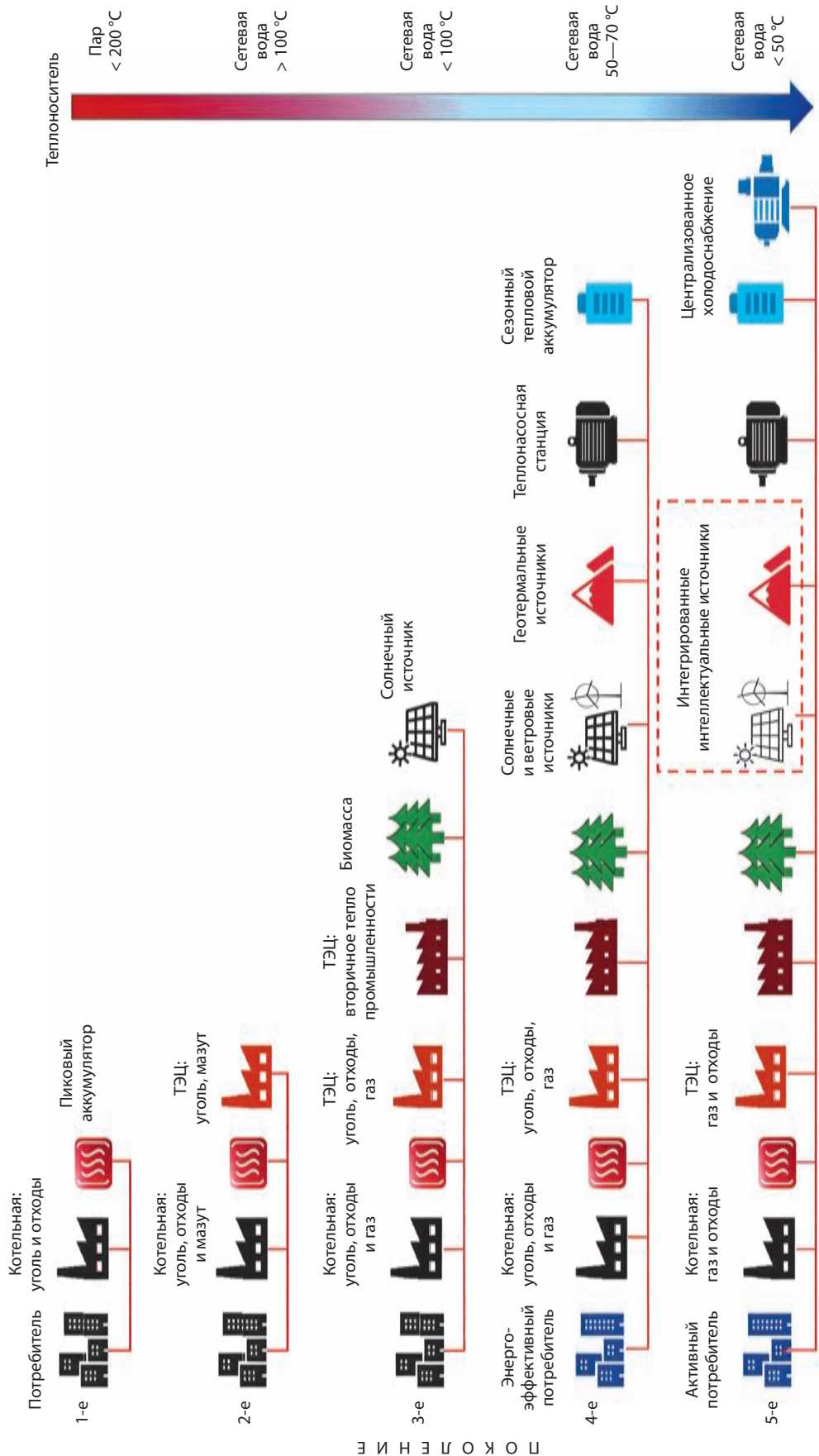


Рис. 2. Эволюция поколений теплоснабжающих систем [2]

потребовало разработки соответствующих технологий их прокладки, новых конструкций каналов, камер, опор и т.д.

Технический уровень и технологии функционирования действующих в стране ТСС постоянно совершенствуются, но если сравнивать их с мировыми тенденциями, то они находятся в начале формирования третьего поколения теплоснабжающих систем и незначительно изменились по сравнению с прошлым веком (рис. 2). В отдельных системах наметился переход к четвертому поколению, основными задачами которого являются использование ВИЭ-генерации, тепловых насосов, аккумуляторов тепла, создание интегрированных систем теплоснабжения и охлаждения, работающих совместно с системами электро- и газоснабжения [2]. В некоторых европейских странах (Дания, Германия, Швеция и др.) приступили к формированию пятого поколения ТСС, для которых характерно дальнейшее снижение температуры теплоносителя и переход к управлению на базе искусственного интеллекта (рис. 2).

В отечественных системах медленно внедряются новые, эффективные технические решения и оборудование в области производства, транспорта и распределения тепловой энергии. В системах отсутствуют необходимые для надежной и экономичной работы средства автоматизированного управления теплогидравлическими режимами работы, а также электронные приборы учета и контроля с дистанционным управлением. Структура крупных ТСС не соответствует их масштабам и требованиям к качеству, надежности и экономичности теплоснабжения потребителей. Применение теплообменников и систем автоматизированного управления теплогидравлическими режимами ограничено, что тормозит переход к закрытым схемам, независимым системам и эффективным технологиям функционирования ТСС.

По-прежнему сохраняется качественное регулирование отпуска тепловой энергии, что сдерживает реализацию управления режимом отпуска тепла в соответствии с реальным изменением температуры наружного воздуха и изменением спроса на него у потребителей.

Фактическое состояние систем и объектов теплоснабжения не соответствует даже тем минимальным требованиям, которые предъявляют к ним действующие в стране нормативные документы. Из-за большого износа и старения оборудования ежегодно происходят множество отказов и нарушений теплоснабжения потребителей (в последнее время не менее 4000 аварий в год).

Попытки улучшить ситуацию в теплоснабжении страны предпринимались неоднократно. Однако в условиях действующей системы управления отраслью не были созданы механизмы, стимулирующие реальную экономию топлива и энергии, внедрение новых технологий и оборудования, развитие малой энергетики, принятие действительно оптимальных решений по развитию, структуре и мощности ТСС. Теплофикация и теплоснабжение развивались в условиях одностороннего увлечения централизацией снабжения, стремления к экономии начальных вложений в ущерб результирующей эффективности.

Еще более низким уровнем надежности, экологичности и экономичности характеризуется сфера децентрализованного теплоснабжения с малыми и средними котельными.

Глобальные изменения, происходящие в рамках энергетического перехода, неизбежно должны привести к формированию нового облика ТСС, их архитектуры, технического оснащения, интеллектуального обеспечения и к созданию современного информационно-технологического ландшафта.



Будущее за формированием
централизованно-распределенных
теплоснабжающих систем, обеспечивающих
рост их общей эффективности

2 Технологический вектор формирования теплоснабжающих систем будущего



Перспективные тренды в теплоснабжении

Целевые ориентиры развития теплоснабжения в условиях энергоперехода должны учитывать открывающиеся новые перспективы и возможности энергоснабжения потребителей, с одной стороны, и быть направлены на обеспечение устойчивого функционирования теплоснабжающих систем в гармонии с природой и обществом — с другой. Уже сегодня еще более сложными становятся структура ТСС, схема тепловых сетей, передающих значительные потоки энергии, усиливаются горизонтальные связи, возникает необходимость совмещения территориально-технологического и временного аспектов управления, которые приводят к активному внедрению цифровых, информационно-коммуникационных и управляющих технологий, интернета вещей¹, искусственного интеллекта. Эти тенденции являются следствием смены технологического уклада, представляются объективными и не подвержены каким-либо конъюнктурным предпочтениям. Они создают окно возможностей для улучшения и модернизации ТСС и формируют новую модель поведения отрасли, отражающую высокую эффективность, социальную доступность, безопасность, экологическую защищенность.

Применительно к трансформации ТСС возможно выделить несколько направлений, которые формируют теплоснабжающие системы будущего. По-крупному они представлены на рис. 3 и отражают, с одной стороны, ключевые приоритеты формирования теплоснабжающих систем будущего, учитывая современные вызовы и перспективы развития, а с другой — технологические предложения, обеспечивающие создание системы управления их функционированием на основе информатизации, интеллектуализации, скоростной передачи больших данных и интеграции этих систем. Действующие глобальные вызовы в энергетике (стохастичность спроса и предложения, большие данные, искусственный интеллект, экология) побуждают и активизируют эти направления, они реализуются в разной степени, но в целом формируют облик теплоснабжающих систем будущего.

Формирование активного спроса потребителей на тепловую энергию с помощью интеллектуальных систем автоматического регулирования, использования возможности сооружения собственных источников энергоснабжения и выдачи избытков производимой ими энергии в централизованную систему является одной из ключевых тенденций энергетического перехода. Этому способствуют рост

¹ Интернет вещей (IoT, Internet of Things) — это система взаимосвязанных вычислительных устройств, оснащенных датчиками, программным обеспечением и другими технологиями, которые могут собирать и передавать данные по беспроводным сетям (в том числе Интернету) без участия человека.



Рис. 3.
Направления технологического преобразования теплоснабжающих систем в рамках энергетического перехода

неравномерности и стохастичность нагрузок и генерации тепла на базе ВИЭ, а также активное поведение самих потребителей в управлении своим спросом. Активные потребители будут играть важную регуляторную роль в теплоснабжающих системах, благодаря применению умных терморегуляторов, регуляторов расхода, давления и других технологий, они смогут управлять своим потреблением, уменьшая расходы на теплоснабжение. Такие потребители могут оптимизировать свое теплоснабжение путем применения интеллектуальных систем регулирования и управления микроклиматом в помещениях, что значительно снизит затраты на их теплоснабжение. Кроме того, потребители могут снижать нагрузку системы в пиковые часы, используя в это время сооружаемые у них нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (НВИЭ). Это будет способствовать интеграции теплоснабжающих систем с другими функциональными системами (электро-, тепло-, холодоснабжения), телекоммуникационными, информационными, интеллектуальными технологиями, что представляет собой

важный шаг к созданию более эффективной, надежной, устойчивой и гибкой энергетической инфраструктуры. Активное желание потребителей повысить уровень своего комфорта обуславливают их стремление иметь собственный источник тепловой энергии, что приводит к формированию децентрализованных и централизованно-распределенных систем.

Теплофикация/когенерация в России в будущем также останется базовой технологией централизованного теплоснабжения с долей производства тепловой энергии примерно 65—70 % в общем ее объеме. Теплоэлектроцентрали обладают значительным потенциалом для повышения энергетической эффективности, снижения затрат и негативного воздействия на окружающую среду. Это может быть достигнуто путем их модернизации и применения инновационных технологий. ТЭЦ исторически создавались как источники тепловой энергии, поэтому строились в городской черте, хотя позднее появились загородные ТЭЦ с дальним транзитом: например, в Алматы протя-

женностью 80 км, в Екатеринбурге — около 30 км. Перспективность теплофикационных систем обусловлена высоким термодинамическим совершенством технологического процесса, большой плотностью нагрузок в городах, суровыми климатическими условиями России, высоким уровнем потребления тепловой энергии. В результате комбинированного производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ коэффициент использования тепла топлива может достигать 90 %, что невозможно обеспечить при раздельном способе производства электрической и тепловой энергии. Топливный баланс ТЭЦ будет смещаться в сторону природного газа, биогаза и новых видов топлива, таких как водород [3], что повысит их экологическую чистоту, а внедрение технологий очистки выбросов и снижения углеродного следа обеспечит им еще большие преимущества.

Крупные теплофикационные объекты должны быть модернизированы, а их структура и установленные мощности оптимизированы, управление необходимо ориентировать на цифровые технологии. Развитие современных когенерационных технологий будет идти по пути использования газовых турбин, паровых турбин с регенерацией, микротурбин и топливных элементов, что повысит их энергетическую экономическую и экологическую эффективность, надежность и качество теплоснабжения. Когенерационные установки малой мощности будут устанавливаться на малых распределенных теплоисточниках (от нескольких до десятков мегаватт), сооружаемых в зоне потребления (промышленные предприятия, жилые микрорайоны и др.), и будут дополнять крупные ТЭЦ (мощностью в сотни мегаватт). Такие системы будущего будут оснащаться умными, экологичными и гибкими технологиями, способными сочетать наилучшие доступные достижения и формировать устойчивые и эффективные ТСС, отвечающие вызовам современности и будущего. Свои перспективы сохраняют и паротурбинные ТЭЦ, поскольку по соотношению электрической и тепловой мощности (один к двум) они больше соответствуют российским климатическим условиям, чем современные ПГУ-ТЭЦ (два к одному).

Обновление, реконструкция и модернизация тепловых сетей с применением современных теплоизоляционных материалов и эффективных способов прокладки теплопроводов, обеспечение структурного и параметрического резерви-

рования, повышение роли распределительных сетей как системообразующих со своими теплоисточниками, переход на гипернизкотемпературные системы с их интеллектуальным управлением, мониторингом и автоматизированным учетом — всё это является основой формирования будущих ТСС.

Децентрализация (распределенная генерация энергии) во многом обусловлена изменением градостроительной политики, выносом предприятий, бизнес-центров, торговых комплексов за пределы городской застройки, развитием индивидуального жилищного строительства, а также желанием потребителей иметь независимое энергоснабжение для поддержания желаемого уровня комфорта. Этому способствует создание доступного рынка конкурентоспособного по цене и эффективности оборудования для индивидуальных и децентрализованных систем. Стремление к оптимизации затрат и нередко отсутствие возможности сооружения крупных теплоисточников и расширения тепловых сетей от уже существующих источников в пределах города из-за недостатка свободной территории будут способствовать созданию централизованно-распределенных систем теплоснабжения совместно с малыми распределенными источниками и системами. Это еще в большей мере позволит оптимизировать распределение тепловой энергии и снизить потери при транспортировке в связи с приближением теплоисточников к потребителям. Справедливости ради, следует отметить, что такие системы исторически создавались в России, когда в крупной системе от ТЭЦ в районах сосредоточения тепловых нагрузок строились пиковые котельные или аккумуляторы тепловой энергии, которые обеспечивали сглаживание и покрытие пиковых нагрузок. Важной особенностью централизованно-распределенных систем является возможность активного управления спросом. Это осуществляется с помощью систем автоматики и умных технологий, позволяющих мониторить и регулировать потребление тепла в реальном времени и, что важно, задействовать в этом процессе мобильность распределенных источников тепла. Таким образом централизованно-распределенные системы обеспечивают надежность, гибкость в распределении тепла, позволяя адаптироваться к изменяющимся условиям спроса. Активные потребители могут вносить свои предпочтения и корректировать

уровень потребления, что в свою очередь будет положительно влиять на работу теплоснабжающей системы. Каждый объект может выступать как независимый элемент системы. Это повышает надежность, так как выход из строя какого-либо элемента не влияет на общую работоспособность системы. Кроме того, растет спрос на интеграцию систем, так как он позволяет сократить расходы и повысить независимость от крупных поставщиков энергии.

Оптимальный выбор между централизованными и децентрализованными схемами зависит от конкретных условий, включая плотность застройки, доступность ресурсов и экологические требования. Вместе с тем, следуя вышеизложенному, будущее за формированием централизованно-распределенных ТСС, обеспечивающих рост общей эффективности систем.

Энергосбережение, эффективное использование тепловой энергии является очень актуальным направлением совершенствования теплоснабжающих систем. Оно представляется чрезвычайно важным в связи с наличием большого потенциала теплопотерь и существенным ростом тепловой нагрузки. Кроме того, возрастают требования потребителей к уровню комфорта не только по теплу, но и по качеству воздуха, что приводит к интеграции систем теплоснабжения и холодоснабжения и, как следствие, расширяет возможности теплоснабжающих систем.

Следует отметить, что в сфере энергосбережения необходимые действия предпринимаются в недостаточной степени, что сдерживает реализацию мероприятий в данном направлении. В частности, до 2014 г. действовала государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Ее целью было снижение энергоемкости ВВП на 40 % за период с 2008 по 2020 г. с ежегодным темпом снижения на 2,6 %.

В 2014 г. она была заменена на менее амбициозную программу «Энергоэффективность и развитие энергетики». Целевой индикатор новой программы по снижению энергоемкости к 2020 г. составлял всего 13,5 %, но и он достигнут не был. При сохранении текущих темпов по снижению энергоемкости ВВП России поставленная цель ее уменьшения на 40 % будет достигнута не ранее

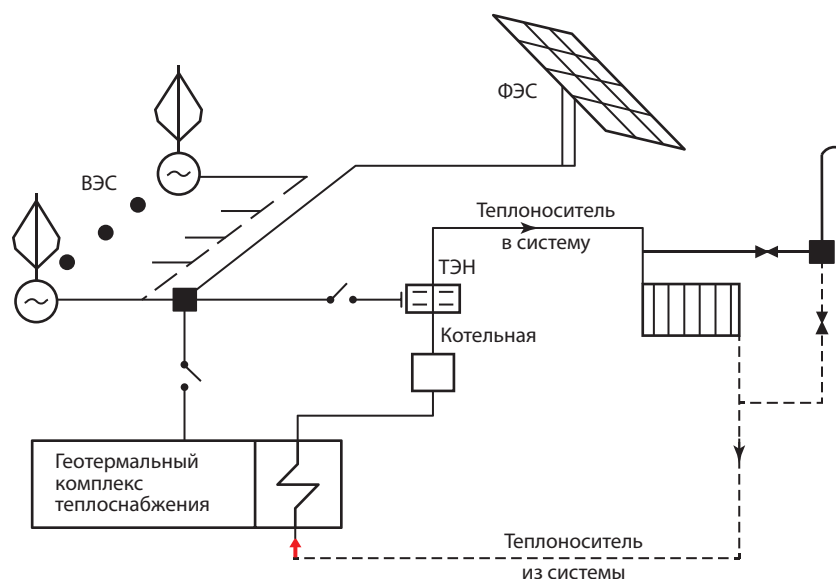
2043 г. Основными факторами, которые обеспечивали до настоящего времени снижение энергоемкости, были рост энергоэффективности энергопотребляющего оборудования и уровень загрузки производственных мощностей. Очень важно понимать, что энергосбережением и эффективным использованием энергии необходимо заниматься по всей технологической цепочке: от добычи топлива, производства тепла, его транспорта и до потребления. Только так можно сократить затраты у всех субъектов теплоснабжения.

Гибридные источники тепловой энергии представляют собой объединение различных типов генерации тепловой энергии и генерирующего оборудования: микротурбин, топливных элементов, солнечных, геотермальных, дизельных установок и других — для повышения общей эффективности и надежности энергоснабжения. Один из таких комплексов, имеющий в составе котельную, бойлерную с трубчатым электронагревателем (ТЭН), ВЭС (ветровую электростанцию), ФЭС (фотоэлектрическую станцию) и геотермальный источник, представлен на рис. 4 в виде укрупненной принципиальной схемы. При этом, в зависимости от потребности в тепловой энергии и эффективности обеспечения ею, в работу включается необходимый энергоисточник.

Целесообразность интеграции нескольких источников энергии заключается в возможности реализации преимущественных характеристик каждого из них. Развитие гибридных систем с привлечением ВИЭ связано с несколькими объективными факторами.

Во-первых, это развитие технологий возобновляемых источников энергии, которые становятся всё более доступными, эффективными и востребованными. Во-вторых, повышается глобальное внимание к здоровью человека и экологии, что стимулирует инвестиции в экологически чистую энергетику. В-третьих, существует необходимость создания резерва и надежности энергосистем, особенно в удаленных и труднодоступных районах. В-четвертых, все больше обостряется необходимость сохранения ископаемых энергетических ресурсов для будущих поколений. Подключение к таким комплексам систем аккумулирования и хранения тепловой энергии позволит успешно адаптироваться к изменениям спроса на тепло

Рис. 4.
Принципиальная схема гибридного теплоисточника



и оптимизировать эксплуатационные затраты. Кроме того, они обеспечивают большую гибкость в реагировании на сезонные колебания спроса на тепло, что важно в климатически разнообразных регионах.

Гибридные комплексы для теплоснабжения в России могут быть перспективными в регионах, имеющих доступ к местным месторождениям органического топлива и возобновляемым источникам энергии. К ним можно отнести территории Сибири (Республика Алтай, Красноярский край, Иркутская область и пр.), Дальнего Востока (Республика Саха (Якутия), Камчатский край и пр.), Южного федерального округа и Республики Крым.

Интеллектуализация, цифровизация систем на основе межмашинного взаимодействия, интернет вещей, скоростная мобильная связь 5G и выше, технологии больших данных будут оказывать значительное влияние на формирование и функционирование систем теплоснабжения, улучшая их эффективность, надежность и экологическую устойчивость. Применение современных цифровых технологий позволяет оперативно собирать и анализировать данные о работе систем, оптимизировать расходы на энергию, предупреждать сбои и аварии. Цифровизация технологических процессов и управления ими дает возможность реагировать на изменения нагрузки и температурных режимов, что способствует снижению расходов и повышению энер-

гетической, экономической и функциональной эффективности всей системы теплоснабжения.

Интеллектуальные системы управления, использующие алгоритмы машинного обучения, обеспечат адаптацию к изменяющимся потребностям потребителей и динамическое регулирование параметров теплоснабжения. Технология искусственного интеллекта используется отечественными компаниями (ПАО «Мосэнерго», АО «Квадро», ПАО «Т Плюс», ГК «Росатом», ПАО «Сибур» и др.) в системах теплоснабжения для предиктивной аналитики с целью анализа и прогнозирования нагрузки потребления, мониторинга состояния оборудования, предсказания возможных неисправностей и проведения профилактического обслуживания, оптимизации работы ТЭЦ и автоматизации управления энергопотоками, что значительно повышает качество обслуживания и надежность систем. Эта же технология весьма эффективна для энергетического менеджмента при управлении потреблением энергии на крупных промышленных предприятиях, для подготовки, поддержки и принятия решений. Интеграция IoT и сенсоров для мониторинга потребления тепла и качества топлива позволит оптимизировать распределение ресурсов.

Проекты по цифровизации теплоснабжения, представляющие практический интерес, реализуются более чем в 30 городах России, таких как Воронеж, Глазов, Краснокаменск, Курчатова, Екатеринбург, Северск и др.

По информации Министерства энергетики РФ, в настоящее время уже более 40 % предприятий ТЭК в той или иной мере применяют технологии искусственного интеллекта. В ближайшие три года их число возрастет еще на 18 %. Технология блокчейн в конечном итоге может привести к упрощению энергосбытовой деятельности и финансовых взаимоотношений энергоснабжающих организаций с потребителями

Хорошие перспективы существуют по внедрению цифровых двойников, они позволяют проводить виртуальное моделирование, оптимизацию режимов работы и управление ими, а также планировать ремонты, прогнозировать возникновение аварийных ситуаций.

Экологизация, включая декарбонизацию, представляет собой процесс внедрения экологических принципов сохранения природы и устойчивости окружающей среды в различные сферы деятельности человека, в том числе в теплоснабжение, чтобы сделать его более экологически чистым и безопасным для окружающей среды. При наиболее распространенном использовании органического топлива на теплоисточниках (ТЭЦ, котельные) образуется основной парниковый газ — диоксид углерода (CO_2), выбросы которого в атмосферу должны ограничиваться. Имеются и другие газообразные (SO_2 , NO_x) и твердые (зола, сажа) выбросы, оказывающие вредное воздействие на окружающую среду и потому подлежащие утилизации. Технологии улавливания выбросов, твердых отходов и их утилизации быстро развиваются, но пока представляются слишком дорогими [4]. Поэтому сейчас эффективным способом снижения антропогенного воздействия на окружающую среду является процесс последовательного и системного внедрения технологических, управленческих и других решений, позволяющих повышать эффективность использования топливных ресурсов. Другим направлением экологизации является вовлечение в сферу теплоснабжения экологически чистых технологий (СЭС, ВЭС, геотермальных источников, водородных топливных элементов и др.). Наиболее тяжелая ситуация с экологией сегодня в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, где преобладает угольная экономика (в европейской части России доля угля в топливном балансе составляет 12 %, в восточных регионах она достигает 86 %). Здесь необходима более эффективная утилизация

не только выбрасываемых газообразных веществ, но и больших объемов твердых золошлаковых отходов.

Интеграция энергетических систем и их управление на базе искусственного интеллекта соответствуют современным объективным тенденциям развития инфраструктурных систем энергетики на уровнях производства и потребления энергии и энергоресурсов. Создание интегрированных интеллектуальных энергоснабжающих систем (ИИЭС) электро-, тепло-, холодо- и газоснабжения в виде метасистемы (рис. 5) предполагает использование технологии искусственного интеллекта, традиционных, возобновляемых и вторичных энергоресурсов, создание централизованных энергохабов (узлов) с накопителями энергии.

Интеграция энергетических систем проявляется на различных иерархических уровнях: на национальном (электроэнергетическая, газо- и нефтеснабжающая системы); межрегиональном, региональном (примыкает ТСС в составе ТЭЦ). Наиболее полно они раскрываются на уровне городов и промышленных агломераций, где представлены все системы (электро-, тепло-, холодо- и газоснабжения). Производство холода на базе абсорбционных и адсорбционных холодильных машин обеспечивает дополнительное использование тепловой энергии в межотопительный период, равномерно загружая теплоснабжающую систему в течение года для кондиционирования и производственных нужд.

Объединение систем энергетики в единую энерготехнологическую метасистему с общей скоординированной системой интеллектуального управления формирует синергетический эффект по многим аспектам их функциональных возможностей.

Гибкость и адаптивность в теплоснабжении предполагают способность системы быстро и эффективно подстраиваться к изменяющимся условиям потребления тепловой энергии, обеспечивая при этом стабильность, экономичность и надежность теплоснабжения. Эта способность особенно важна в условиях переменчивых климатических условий и увеличивающегося использования возобновляемых источников энергии. Система должна быстро реагировать на изменение потребности

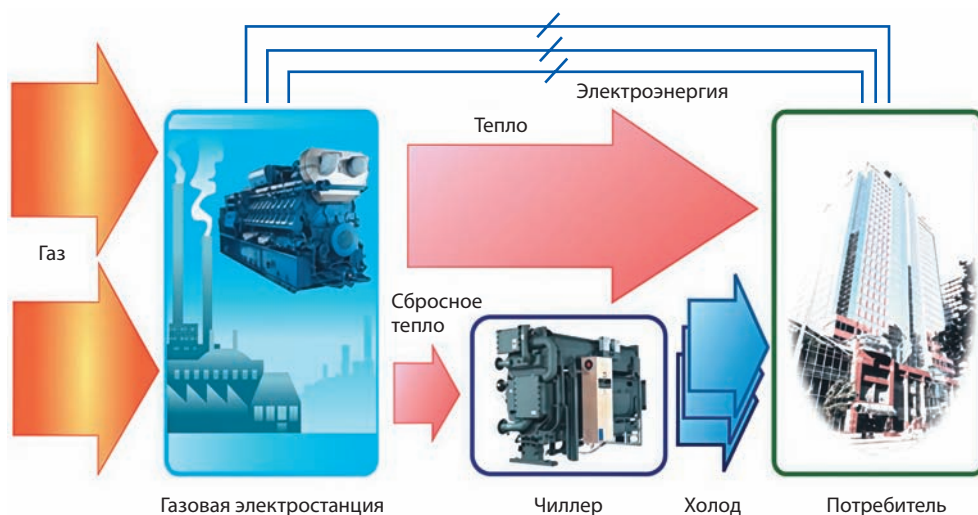


Рис. 5.
Интегрированная система тепло-, электро-, холодо-, газоснабжения [5]

в тепле: увеличивать его производство в период пикового спроса (суточного, сезонного), перераспределяя его с учетом востребованности у потребителей, и снижать производство в период низкого спроса, избегая избыточного потребления ресурсов. Это возможно при наличии нескольких источников тепловой энергии в системе и достаточного числа связей, что позволит реализовать возможности регулирования распределения нагрузки между ИТ и оперативного управления самой нагрузкой путем использования интеллектуальных технологий.

Для обеспечения гибкости и адаптивности систем теплоснабжения следует учитывать несколько ключевых аспектов:

- необходимо сформировать устойчивую, разветвленную структуру источников тепловой энергии, способную быстро реагировать на изменение спроса на тепловую энергию. Она должна оптимальным образом сочетать базовые, полупиковые и пиковые ИТ, последние из которых должны оперативно реагировать на изменение тепловой нагрузки;

- важно обеспечить разнообразие источников тепловой энергии как по типу, так и по мощности. Это будет уменьшать зависимость потребителей от какого-либо конкретного источника,

повысит их мобильность и сделает более устойчивой работу генерации и системы в целом, предав ей распределенный характер;

- в дополнение к структурной вариативности важным аспектом является схемно-параметрическая избыточность ТСС, которая должна удовлетворять и требованиям надежности систем. Это предполагает многоконтурность тепловых сетей и достаточность диаметров теплопроводов для организации требуемых перетоков теплоносителя.

Представленные выше технологические преобразования будут способствовать созданию гибких, эффективных и экологических теплоснабжающих систем, способных отвечать вызовам современного и будущего энергетического ландшафта. Они в полной мере отвечают задачам устойчивого развития теплоснабжения, энергоэффективности и цифровизации ТСС.

Современные факторы, влияющие на развитие теплоснабжения

Новым условием для современной энергетики является рост конкуренции между различными типами систем энергетики (электро-, газо-,

теплоснабжение), которая обусловлена тем, что они работают на одном потребительском рынке, конкурируют за одни и те же ресурсы на топливном рынке и нередко пересекаются в других сферах деятельности. Значительно усиливается конкуренция между видами энергоснабжения и типами систем, в частности между централизованным и децентрализованным энергоснабжением, между крупной и распределенной генерацией энергии. Растет конкуренция за дешевые энергоресурсы, за платежеспособного потребителя, за интеллектуальный ресурс, инвестиции и т.п. Одновременно повышаются требования со стороны потребителей, возрастает их активность в части управления своим спросом, выбора вида теплоснабжения (централизованное, групповое, индивидуальное), типа энергоносителя (электроэнергия, газ, ВИЭ) и т.п.

Постоянно увеличивающийся рост теплопотребления, необходимость передачи и управ-

ления большими потоками тепловой энергии, сложная и масштабная энергетическая инфраструктура требуют всё более широкого применения цифровых, энергоэффективных и экологически чистых стратегий их использования. Основные вызовы и их содержательные, стимулирующие аспекты отражены в табл. 1.

Основные угрозы теплоснабжению, дифференцированные на внутренние (российские) и внешние (мировые), приведены на рис. 6.

Дефицит инвестиций обуславливает недостаточный объем ремонтных работ и, как следствие, вызывает нарастание износа оборудования, теплопроводов и повышенной аварийности элементов ТСС. Недостаточная энергетическая и экономическая эффективность функционирования системы приводит к завышенным издержкам и тарифам на тепловую энергию. Несовершенные принципы построения систем и отсутствие

Таблица 1
Факторы, влияющие на развитие теплоснабжения

Фактор, влияющий на теплоснабжение	Компоненты фактора влияния
Конкуренция	Между видами и типами систем; за топливные ресурсы; за потребителя; за инвестиции
Успешное развитие распределенной генерации энергии	Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии; когенерация на базе газотурбинных и дизель-генераторных установок (ГТУ и ДГУ; топливные элементы)
Активные потребители (просьюмеры)	Управление спросом; совмещение функций потребления и производства тепла; обмен энергией между потребителями
Интеллектуализация	Нейронные сети, машинное обучение; формирование решения и воздействие на исполнительные механизмы
Интернет-технологии	Интернет энергии, межмашинное взаимодействие (M2M), блокчейн
Интеграция	Объединение в единую метасистему нескольких функциональных систем; информационных технологий; интеллектуальных и телекоммуникационных комплексов
Рост потребления	Передача и управление большими потоками тепловой энергии, холодоснабжение, электротеплоснабжение, кондиционирование
Информационная безопасность	Предотвращение кибератак; кибербезопасность
Доступный рынок новых технологий и оборудования	Системы управления, учета; аппаратные средства, виртуальная и дополненная реальность (VR и AR) и др.
Системы передачи данных	Беспроводная сотовая связь 5G, системы передачи и хранения больших данных

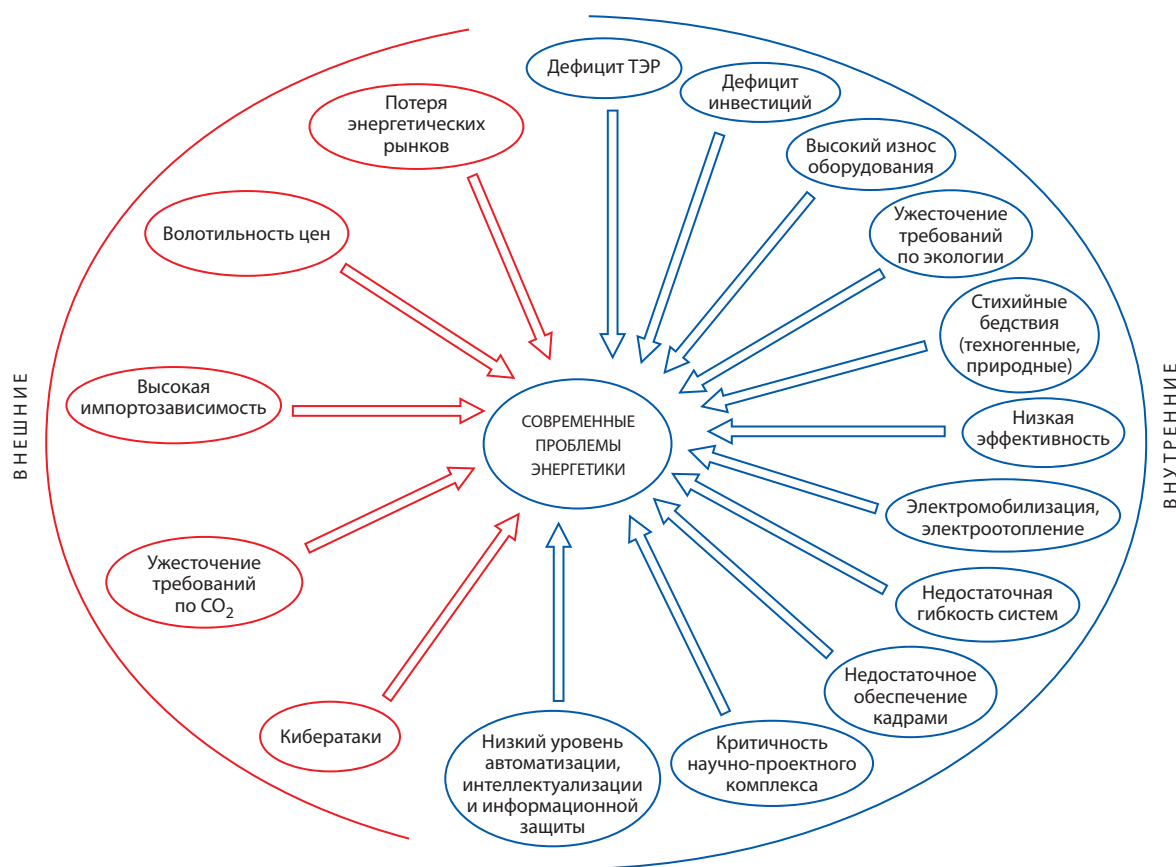


Рис. 6.
Проблемы, препятствующие устойчивому развитию теплоснабжающих систем

средств управления и регулирования снижают гибкость и управляемость источников, сетей, систем теплоснабжения.

Достаточно высокая импортозависимость в теплоснабжении (40—60 % в зависимости от номенклатуры оборудования) ограничивает возможности по модернизации и развитию ТСС. Критичными сегодня становятся кадровое обеспечение, научно-техническое сопровождение, информационное, программно-аппаратное, телекоммуникационное и другое оснащение систем.

Интеграция искусственного интеллекта, информационно-коммуникационных технологий в технологический процесс сопровождается определенными рисками. Существует опасение, что искусственный интеллект может привести к неправильным и даже опасным решениям.

Возрастает угроза распространения вредоносных вирусов, получения доступа и организации контроля над технологическими процессами. При этом последствия могут быть любыми, начиная от повреждения оборудования и остановки отдельных технологических процессов до техногенных катастроф с человеческими жертвами. В этих условиях кардинально повышается значение защиты компьютерной инфраструктуры, информационной системы обмена данными и надежного управления теплоснабжающей системой. Несмотря на то, что проблемам безопасности в теплоснабжении уделяется большое внимание, данная сфера остается одной из самых уязвимых, на которую направлены кибератаки. Во многом это объясняется большой капиталоемкостью и потому инерционностью ТСС, относительно медленным обновлением технологической, информационной инфраструктуры, систем автоматизации и программного обеспечения.



Стратегические приоритеты трансформации теплоснабжающих систем связаны с кардинальными изменениями их архитектуры, соответствующими пятому поколению

3 Трансформация теплоснабжающих систем в условиях энергоперехода



Стратегические приоритеты трансформации

Стратегические приоритеты трансформации теплоснабжающих систем связаны с кардинальными изменениями, в результате которых создается новая архитектура теплоснабжающих систем, соответствующая пятому поколению (см. разд. 1).

Современные мировые тренды во многом отражают направления радикальной трансформации структуры и принципов построения теплоснабжающих систем и управления ими. Это происходит под влиянием активного развития инновационных технологий и оборудования, интеграции информационных и телекоммуникационных систем, активизации процессов цифровизации и интеллектуализации при управлении функционированием и развитием ТСС. Возникающие в различных проявлениях вызовы приводят к трансформации функциональной структуры систем, преобразованию их в многомерные, к изменению их свойств: росту многокомпонентности, увеличению интеллектуализации, эффективности, надежности и управляемости, повышению гибкости в использовании технологий преобразования, транспортирования, хранения энергии и активного потребления. Создание таких систем является проявлением новой парадигмы в энергетике.

Технологическая инфраструктура современных энергетических систем в процессе своего эволюционного развития преобразуется в сложную человеко-машинную систему, включающую в себя множество (сотни тысяч) различных пространственно распределенных, но взаимосвязанных технических элементов. В рамках осуществляемой трансформации ТСС необходимо обеспечить повышение их эффективности в части управляемости, надежности, безопасности, экономичности и т.п., снижение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе уменьшение выбросов парниковых газов, и обеспечение доступности энергоснабжения для всех потребителей. Решение этой триединой задачи невозможно без перехода к новой технологической парадигме, базирующейся на современных информационных достижениях, широкой интеллектуализации и интеграции крупных, средних и малых источников тепловой энергии в единую метасистему.

В современных условиях всё большую конкуренцию крупным источникам составляет распределенная генерация энергии (РГЭ), включая когенерацию, ВИЭ и пр., которые нашли свою область применения, например в рамках их интеграции в централизованные системы. Это фактически предопределило создание централизованно-распределенных систем теплоснабжения.

Значительно изменяются архитектура и принципы построения распределительных сетей. Из тупиковых они превращаются в кольцевые структуры, оснащаются нетрадиционным для них сетевым оборудованием. По структуре построения они

приобретают особенности магистральных сетей. Системы пассивного распределения энергии между потребителями преобразуются в интеллектуальные, активно управляемые системы с двунаправленными потоками энергии и информации — из системы к потребителю и от потребителя с распределенным источником в систему. Это значительно усложняет принципы их построения и управление ими. К таким системам повышаются требования по надежности, управляемости, гибкости функционирования и др.

К этому следует добавить большой комплекс вопросов, связанный с созданием соответствующей институциональной основы, определяющей регуляторные, технологические и экономические правила надежного и эффективного развития и функционирования ТСС в новых условиях. Значительные преобразования будут претерпевать организационные модели, обеспечивающие технологическую координацию, инвестиционную деятельность, управление взаимодействием многочисленных субъектов, имеющих принадлежность к разным формам собственности и обладающих разнонаправленными интересами энергетического бизнес-процесса.

Топологическая и структурная сложность теплоснабжающих систем, возросшая в связи с усилением внутри- и межсистемных связей, увеличением разнообразия источников тепловой энергии по типам и мощности, их дискретно-стохастический характер функционирования предопределили глубокое проникновение цифровизации и интеллектуализации в ТСС и обусловили необходимость рассматривать их как сложные киберфизические системы.

Основные технологические тренды. Наш выбор?

Основные концептуальные положения².

Активное проявление глобализации в энергетике требует пересмотра концептуальных принципов и направлений построения энергетических

систем, которые определяют, с одной стороны, ключевые подходы к формированию теплоснабжающих систем будущего, учитывая современные вызовы и перспективы развития, инновационные технологии, а с другой — основные положения создания системы управления их функционированием на основе информатизации, интеллектуализации, скоростной передачи больших данных и интеграции этих систем.

В формировании технологических преобразований в теплоснабжении могут быть выделены два основополагающих направления. Первое из них представляет структурно-технологическое преобразование теплоснабжающих систем, связанное с изменением системных принципов их построения, технологической структуры, уровня резервирования. Второе относится к инновационным энергоэффективным технологиям и оборудованию, позволяющим реализовать новые системные подходы построения энергетических систем, адекватно учитывать разнотипную и разнохарактерную структуру нагрузок (горячее водоснабжение, отопление, кондиционирование, технология и пр.), их соотношение, а также активное поведение потребителя. Основные направления преобразования теплоснабжающих систем включают:

- приведение действующих систем теплоснабжения в соответствие с техническими нормами и правилами, устранение перерасходов и сверхнормативных потерь тепла и топлива;
- рациональное сочетание крупных, средних и мелких систем, источников и оборудования, обеспечивающих гармоничное развитие централизованно-распределенных и локальных систем;
- дальнейшая ориентация на комбинированное производство тепловой и электрической энергии с широким диапазоном единичных мощностей ТЭЦ и переоборудование котельных для работы в теплофикационном режиме;
- подготовка и обогащение топлива, совершенствование систем очистки и применение нового, экологически более чистого теплогенерирующего оборудования;
- обеспечение требований надежности теплоснабжения потребителей путем обоснованно-

² Концептуальные положения — это основные принципы (идеи), лежащие в основе концепции построения теплоснабжающей системы будущего. Они представляют собой базовые утверждения, которые определяют структуру и содержание данной концепции, а также служат для ее понимания и применения.

го резервирования систем при разработке схем теплоснабжения городов и населенных пунктов (схемно-параметрическая надежность), повышение качества элементов (элементная надежность);

- изменение структуры крупных систем в направлении их разукрупнения, рационального резервирования источников и тепловых сетей, комплексной структуризации;

- техническое оснащение теплоснабжающих систем средствами измерения, контроля, регулирования и автоматики, обеспечивающими многоуровневое регулирование технологических процессов на основе цифровизации и интернет-технологий;

- замена в необходимых объемах устаревшего оборудования, теплопроводов, повышение качества строительно-монтажных и ремонтных работ на основе применения инновационных технологий и материалов;

- применение перспективных высокопрочных материалов (пластики, композиты и др.), конструкций теплопроводов, технологий и способов их прокладки, обеспечивающих минимальные потери тепловой энергии и длительные сроки их эксплуатации;

- формирование интегрированных интеллектуальных систем тепло-, холодо-, электро-, газоснабжения;

- перевод при выполнении капитального ремонта и при вводе новых зданий на независимую схему присоединения нагрузки отопления, вентиляции и закрытую систему горячего водоснабжения;

- преобразование внутренних систем отопления и горячего водоснабжения на основе применения прогрессивных схемных решений, энергоресурсосберегающего оборудования и приборов.

Изложенные принципы преобразования теплоснабжающих систем должны быть положены в основу разработки схем теплоснабжения городов и населенных пунктов. Они должны определять программу преобразования структуры существующих систем, приведения их в соответ-

ствие с техническими нормами и требованиями надежности, ориентироваться на реализацию энергоэффективных технологий и оборудования.

Структурные преобразования теплоснабжающих систем и технологии управления ими

Структура теплоснабжающих систем, отражающая взаиморасположение и материальные связи основных элементов (источников, тепловых сетей и потребителей), должны соответствовать их масштабам и сложности. Небольшим системам в полной мере могут удовлетворять типовые схемы тепловых сетей без резервирования и специальных узлов управления. Более жесткие требования предъявляются к крупным системам, где необходимо обеспечивать не только повышение элементной надежности, но и системного резерва.

Резервированная тепловая сеть представляет собой кольцевую (многокольцевую) систему, получаемую путем устройства резервных перемычек между основными магистралями, например, как показано на рис. 7. При этом только структурного резерва в виде кольцующих перемычек здесь недостаточно. Изменение направления и величины потоков теплоносителя при переключениях в аварийных ситуациях, а также регулирование режимов в условиях нормальной эксплуатации обуславливают необходимость иметь *транспортный резерв*. Он связан с увеличением диаметров трубопроводов некоторых участков кольцевой сети по сравнению с диаметрами, рассчитанными для нормального режима. Это увеличение должно быть таким, чтобы обеспечивалась принятая норма резервной подачи тепловой энергии потребителям в аварийных ситуациях. Чем больше эта норма, тем на большую величину требуется увеличение диаметров трубопроводов и, следовательно, тем больше растут затраты на систему.

Присоединение ответвлений к магистральной тепловой сети должно осуществляться с двух сторон по отношению к секционирующей задвижке (рис. 7, вид А). Это позволит обеспечивать аварийную подачу тепла потребителям, независимо от места аварии в магистральной сети.

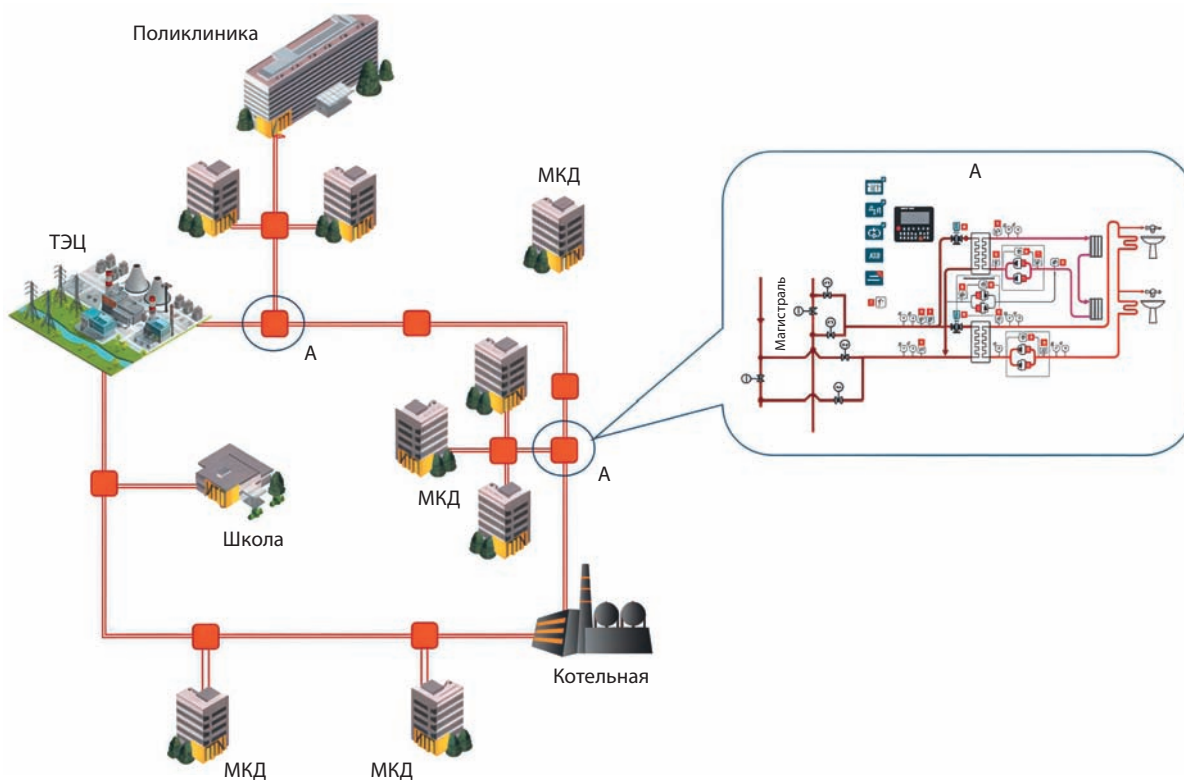


Рис. 7.
Кольцевая резервированная схема ТСС с двусторонним узлом подключения ответвления:
 МКД — многоквартирный дом; А — узел подключения ответвления

Для того чтобы при отключении аварийного участка все потребители получали резервную подачу тепловой энергии, присоединение ответвлений к магистральной сети должно производиться *через автоматизированные узлы управления режимами*. Минимальной их комплектацией может быть оснащение регуляторами давления (расхода) и задвижками с управляемым электроприводом. При необходимости они могут дополняться смесительными насосами, теплообменниками и дополнительной автоматикой, системой датчиков и дистанционного управления. Данные узлы управления являются составной частью многоступенчатого регулирования. Наибольшая эффективность может быть достигнута при их объединении в единую автоматизированную систему диспетчерского управления. В ее рамках может быть реализована интеллектуальная система предиктивного анализа, автоматического обна-

ружения и локализации аварийных повреждений с последующей адаптацией режима функционирования ТСС.

Повышение надежности при формировании структуры систем, как показывает практика, возможно путем *уменьшения единичной мощности источников тепла и радиусов теплоснабжения*, а также увеличением числа выводов магистралей сети от одного ИТ. Эти мероприятия уменьшают число отключаемых в авариях потребителей, сокращают время восстановления теплоснабжения, а следовательно, время снижения температуры в помещении и позволяют поддерживать температуру не ниже минимального нормативного значения. Такие средства повышения надежности теплоснабжения потребителей могут предусматриваться при разработке планов сооружения новых систем или

реконструкции существующих систем централизованного теплоснабжения посредством их *разукрупнения*, в результате замены одной крупной системы несколькими мелкими, имеющими меньшие мощности источников, радиусы теплоснабжения и диаметры трубопроводов. Рост эффективности средних и мелких источников теплоты (ПГУ- и ГТУ-ТЭЦ, котельных, блок-ТЭЦ и т.п.) будет способствовать созданию таких систем, поскольку повысится их экономическая целесообразность.

Радикальным средством изменения структуры ТСС является создание *двух- и трехконтурных систем* (рис. 8). Двухконтурные схемы могут применяться в небольших системах и обеспечивают гидравлическую изоляцию теплопотребляющих установок от источников и тепловых сетей.

Трехконтурные схемы наибольшее применение должны найти в крупных ТСС и в системах со сложным рельефом местности. Они имеют три гидравлически независимых контура: источник, тепловые сети и системы теплопотребления.

Разделение контуров осуществляется с помощью теплообменников. Использование теплообменников расширяет возможности теплоснабжающих систем, повышает их маневренность, живучесть, управляемость, готовность адаптироваться к переменным и переходным режимам функционирования. Теплообменники позволяют разделить гидравлические режимы источников, сетей и потребителей, сделать их независимыми, становится возможным применение различных видов регулирования (качественного, количественного или качественно-количественного) в разных контурах ТСС и включение распределенных ИТ в ТСС.

Особые перспективы в этом направлении связаны с появлением на российском рынке малогабаритных пластинчатых теплообменников.

Применение пластинчатых теплообменников (рис. 9) представляет собой практический пример совместной оптимизации капиталовложений в реконструкцию и расходов на эксплуатацию. Они имеют низкие потери давления и высокую эффективность теплопередачи. Благодаря малой толщине гофрированных пластин и противотоку, разность температур нагреваемой (на входе)

и греющей (на выходе) среды близка к 0 °С. В ранее выпускаемых теплообменниках она достигала 10 °С. Небольшие габариты, малый вес пластинчатых теплообменников позволяют без проблем вписывать их в существующие помещения элеваторных узлов (тепловых вводов).

Изменение структуры систем, и прежде всего на базе независимого присоединения потребителей, делает возможным *объединение нескольких источников* тепла для работы на общие тепловые сети. Эти изменения должны сопровождаться соответствующей проработкой вопросов реконструкции тепловых сетей, теплогидравлических режимов, надежности и управляемости. При этом схема сети может быть как древовидной, так и кольцевой, а ее параметры должны иметь минимально необходимую избыточность, обеспечивающую подачу тепловой энергии от каждого ИТ всем потребителям как в нормальных режимах при смене потоков теплоносителя, так и в аварийных ситуациях при отключении участков сети.

Совместная работа источников на единые тепловые сети является основным преимуществом и стимулом создания крупных систем.

Внедрение автоматики и средств управления режимами, без чего невозможно создание комфортных условий у потребителей и совместная работа ИТ, активизируют *переход от качественного регулирования отпуска тепла к качественно-количественному и количественному способам регулирования* с переменными расходами теплоносителя. Этот переход, кроме того, является эффективной энергосберегающей мерой. Переменный расход теплоносителя обеспечивает более точное регулирование отпуска и потребления тепла, сокращает тепловые потери. С помощью изменения скорости потока можно осуществлять регулирование в режиме реального времени соответственно изменению температуры наружного воздуха и спроса на горячую воду. Сделать это путем изменения только температуры теплоносителя невозможно из-за большого (до нескольких часов) транспортного запаздывания при его подаче от источника до потребителя. Наилучшие результаты достигаются при совместном (качественно-количественном) регулировании по расходу и температуре сетевой воды.

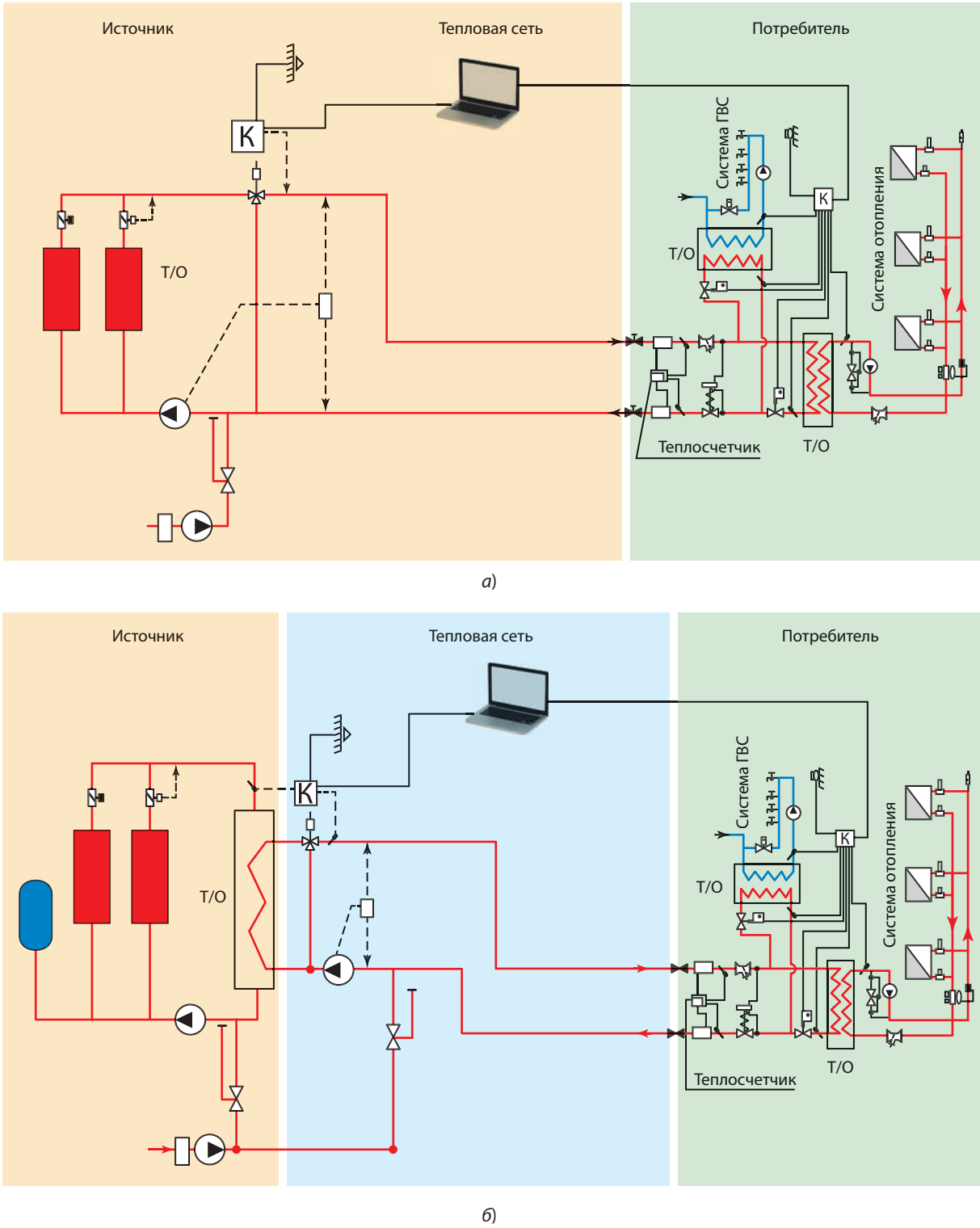


Рис. 8.
Двух- (а) и трехконтурная (б) теплоснабжающие системы

Рис. 9.
Применение пластинчатых теплообменников в тепловых пунктах зданий [6]



Количественное (качественно-количественное) регулирование позволяет уменьшить циркуляционный расход, разгружает тепловые сети, создавая возможность подключения новых потребителей, сокращает расход электроэнергии на перекачку воды и снижает тепловые потери через изоляцию трубопроводов.

Перспективным техническим решением, благоприятным для системы в целом, является *снижение максимальной температуры сетевой воды*, подаваемой в тепловые сети, до 100 °С и ниже, а обратной, возвращаемой на источник, до 40 °С и менее. Уже в настоящее время имеются примеры работы централизованных систем с температурой теплоносителя, подаваемого в сеть, равной 80—90 °С, а возвращаемого — 35—40 °С. В ТСС 5-го поколения поставлена задача снижения до гипернизкой температуры теплоносителя, отпускаемого в сеть, до 30—40 °С (рис. 10). Наиболее активное движение в этом направлении осуществляют скандинавские страны.

Низкие температуры теплоносителя позволяют повысить безопасность, снизить потери тепловой энергии при ее транспортировке, уменьшить физическое воздействие на теплопроводы, связанное с их сжатием и расширением. Всё оборудование системы работает в благоприятных тепловых режимах, поэтому значительно снижается риск его повреждения или разрушения. В таких

системах расширяются возможности использования тепла солнечных, теплонасосных и других низкопотенциальных источников тепла, а также упрощается утилизация отработанного тепла промышленных производств.

Технические возможности теплопотребляющих установок позволяют иметь достаточно низкие температуры обратной сетевой воды. Это делает возможным сохранить или даже увеличить перепад температур. Так, температурный график 130/70 °С может быть заменен на график 100/40 °С или 80/20 °С с тем же расчетным расходом воды. Дальнейшее понижение температуры обратной воды может привести к снижению этих расходов. Такой переход на пониженный температурный график не требует увеличения диаметров трубопроводов тепловой сети.

Снижение температуры подаваемой сетевой воды на 1 °С увеличивает выработку электрической энергии на ТЭЦ на 0,1—0,3 %. При этом потери тепла в тепловых сетях ТСС сокращаются примерно на 0,3 % тепла, отпускаемого в сеть.

При переходе на пониженные температуры могут измениться расчетные расходы теплоносителя, поэтому необходимо проверить пропускную способность тепловых сетей. Однако если учесть, что большинство ТСС в нашей стране фактически работают с температурами, близкими к 100 °С

3. Трансформация теплоснабжающих систем в условиях энергоперехода

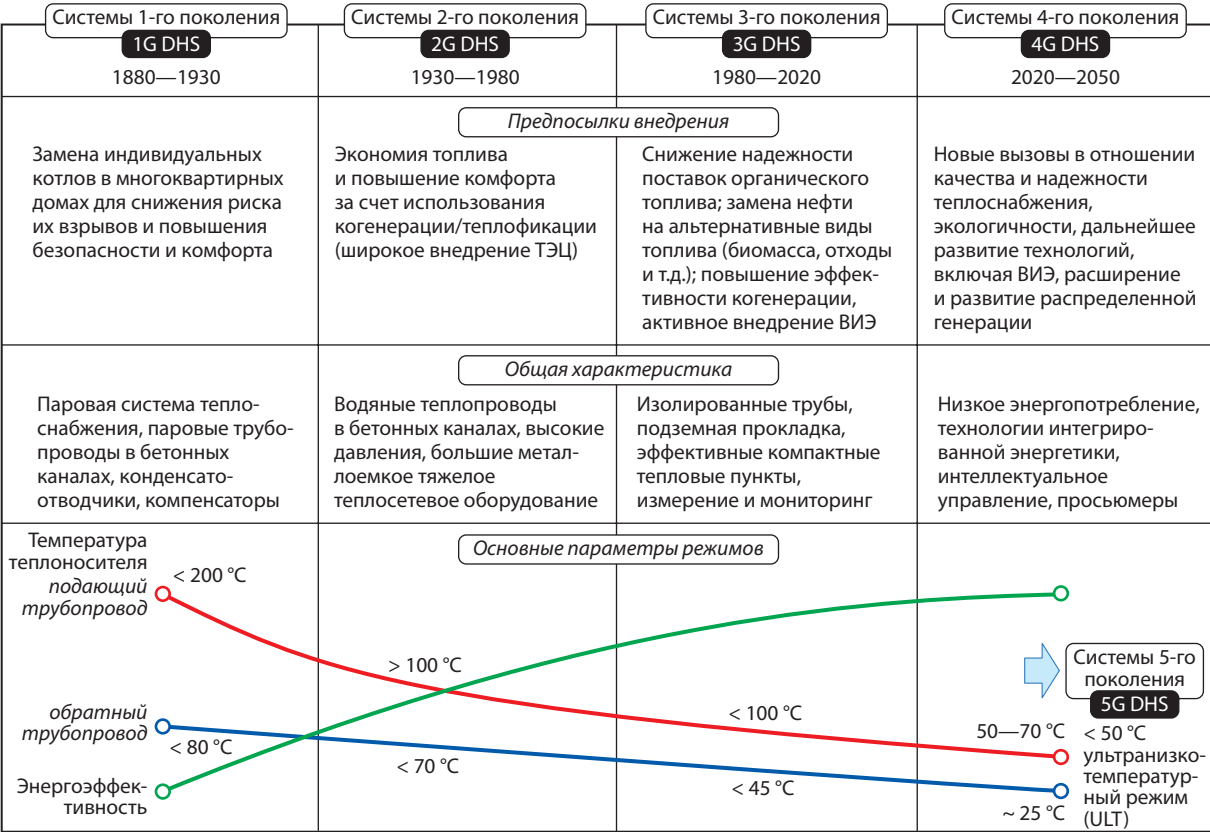


Рис. 10.
Последовательное снижение максимальной температуры теплоносителя в соответствии с трансформацией поколений теплоснабжающих систем [2]

или немного большими, а расходы сетевой воды в них, как правило, завышены, то существенная их реконструкция не потребуется. В системах от котельных, которые зачастую имеют температуру теплоносителя 60—70 °C, она тем более не требуется.

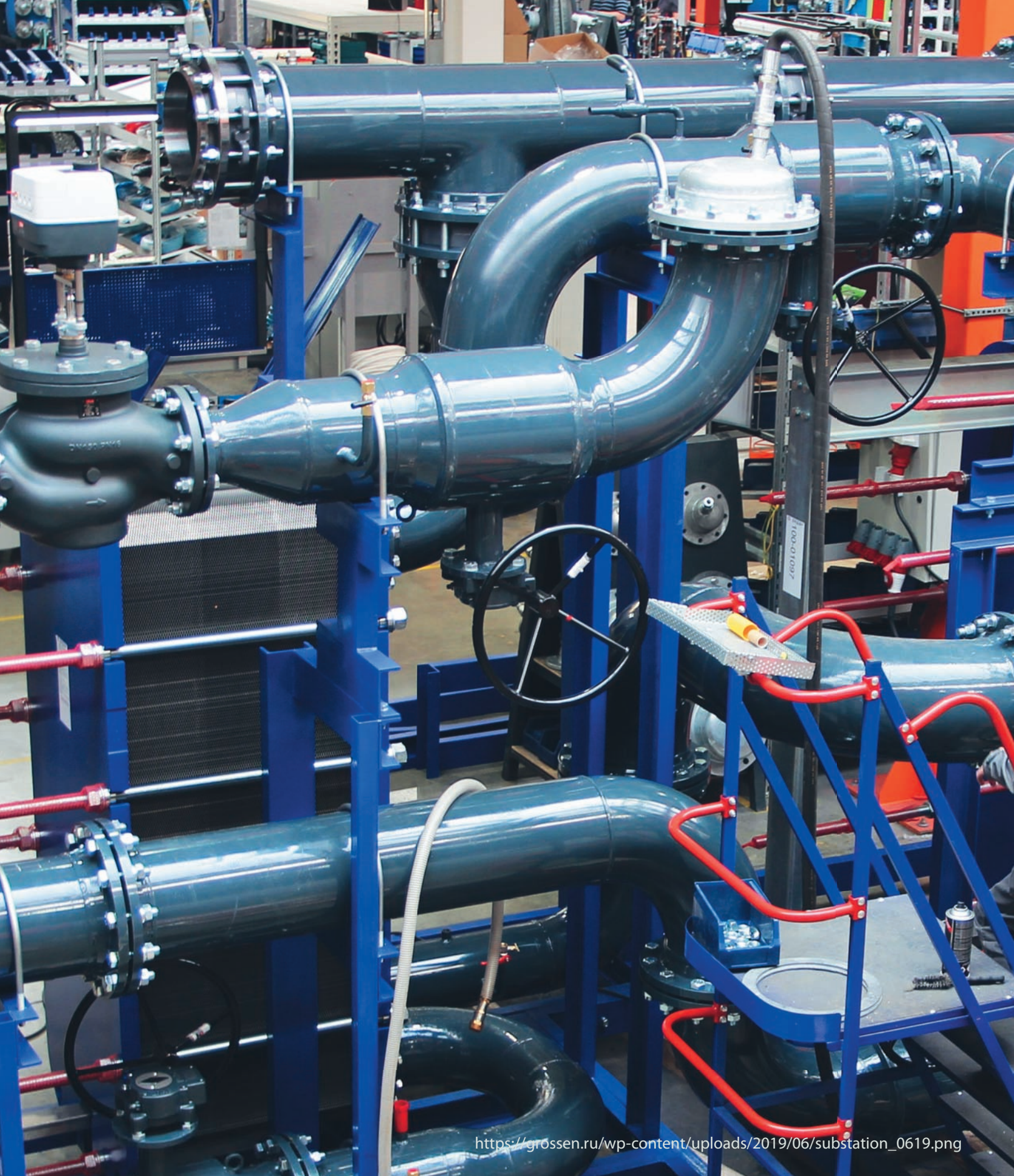
Такое же положительное влияние на режимы работы и долговечность оборудования оказывает *снижение давления теплоносителя* в системе. Кроме этого, при низком давлении существенно

сокращаются утечки теплоносителя через неплотности. В регулируемых системах с теплообменниками достаточно создать только циркуляционный напор, не ставя под высокое давление их оборудование.

Рекомендации по преобразованию структуры систем и режимам их функционирования не могут быть универсальными. Они индивидуальны для каждой конкретной системы и определяются ее особенностями.



<https://sgpress.ru/wp-content/uploads/2021/06/3720D13B-F633-4B33-AA6A-16980D7B6E7.png>



https://grossen.ru/wp-content/uploads/2019/06/substation_0619.png

Важным является распространение теплофикации на малые и средние города и населенные пункты, а также на малые нагрузки

4 Техническая политика в теплоснабжении



Основные положения реализации технической политики

Основные положения технической политики в теплоснабжении, обеспечивающие выполнение перспективных принципов его развития, дополняющие структурные и технологические изменения, а также учитывающие сложившееся состояние и особенности теплоснабжения России, могут быть сформулированы в следующем виде:

1. Предпочтительное перспективное направление развития теплоснабжения на базе ПГУ-ТЭЦ и ГТУ-ТЭЦ различной мощности (от микроТЭЦ до крупных ТЭЦ). Очень важным здесь является распространение теплофикации на малые нагрузки, а также на малые и средние города и населенные пункты.

ТЭЦ со своими особенностями и по своим возможностям более подготовлены к передовым технологиям и новым техническим решениям по тепловым схемам и термодинамическим процессам. Скорость их внедрения на ТЭЦ может быть существенно выше, а затраты ниже, чем на других источниках.

2. Применение газотурбинной надстройки в существующих котельных и переоборудование котельных с изношенным оборудованием в ПГУ- и ГТУ-ТЭЦ небольшой и средней мощности, дизельных блок-ТЭЦ, включая использование теплоты уходящих газов в котлах-утилизаторах.

3. Замена парка устаревших котлов на неэффективных котельных на котлы с новыми технологиями сжигания топлива (кипящий слой, низкотемпературное вихревое сжигание, плазменное воспламенение угля, диффузионное, смешанное, кинетическое сжигание газа), включая внедрение автоматизированных котельных повышенной заводской готовности.

4. Переход на прогрессивные технологии прокладки теплопроводов, преимущественно заводского изготовления с применением коррозионно-стойких материалов, высокоэффективных типов теплоизоляции и дистанционной, автоматизированной системы контроля влажности изоляции и диагностики состояния оборудования.

5. Внедрение автоматического частотного регулирования электродвигателей насосного и тягодутьевого оборудования на источниках тепла, насосных станциях и тепловых пунктах с возможностью дистанционного управления.

6. Создание автоматизированной распределенной системы диспетчерского управления теплогидравлическими режимами функционирования источников

тепла, тепловых сетей и потребителей на интеллектуальной основе.

7. Замена неэффективной, громоздкой запорной арматуры на шаровую и поворотную с высокой плотностью и минимальным сопротивлением с интеллектуальными датчиками, исполнительными механизмами и удаленным управлением.

8. Оснащение тепловых вводов зданий индивидуальными автоматизированными пунктами заводской готовности с пластинчатыми теплообменниками, теплосчетчиками, регуляторами и другой автоматикой с сенсорными системами.

9. Более широкое применение металлопластиковых, пластмассовых, медных, латунных и других долговечных труб, высокоэффективных отопительных и вентиляционных приборов в местных системах теплоснабжения при их реконструкции или в новом строительстве зданий.

10. Монтаж балансировочных клапанов на стояках системы отопления.

11. Замена водоразборной арматуры на новую, энергоресурсосберегающую.

12. Внедрение эффективных систем вентиляции и кондиционирования воздуха с рекуперацией, максимально использующих тепло удаляемого из помещений воздуха.

Техническая политика преобразования систем централизованного теплоснабжения не должна ориентироваться на однотипные решения. В каждом конкретном случае должны учитываться экономические, технологические и экологические особенности существующих систем, их подготовленность к внедрению нового перспективного оборудования, условия топливоснабжения, а также социальные и другие факторы.

Реализация изложенной технической политики в теплоснабжении в настоящее время стала возможной благодаря формирующемуся в стране рынку передовых технологий и оборудования. В настоящее время этот рынок всё активнее наполняется отечественным оборудованием, вместе с тем здесь предстоит еще большая работа по импортозамещению.

Пути повышения эффективности источников тепла

Конкурирующими с традиционными паротурбинными установками ТЭЦ, фактически достигшими своего технологического совершенства, будут оставаться ГТУ и ПГУ. Они обладают целым рядом неоспоримых преимуществ (в том числе экономических и экологических) по сравнению с другими энергогенерирующими установками. В перспективе они должны иметь:

- высокую надежность, включая отказоустойчивость, длительный межремонтный период и нормативный срок эксплуатации;
- высокую экономичность (КПД перспективных установок превысит современные значения для ГТУ — 35—39 %, а ПГУ — 58—64 %);
- экологическую безопасность;
- возможность использования различных видов топлива;
- низкую стоимость.

Газотурбинные установки могут применяться не только для нового строительства, но и для реконструкции традиционных паротурбинных станций. При этом обычные котлы заменяются на ГТУ и котлы-утилизаторы с включением существующих паровых турбин в парогазовый цикл. Эффективным представляется использование газотурбинной надстройки в существующих котельных. Возможность их поэтапного и относительно быстрого ввода существенно сокращает сроки окупаемости проекта. Например, строительство ПГУ-ТЭЦ может осуществляться с монтажа модульного газотурбинного блока простого цикла, который вводится менее чем за год и уже может использоваться в качестве пикового (по экономическим соображениям) источника электроэнергии. Далее, по мере готовности тепловых нагрузок и самой станции, могут вводиться котлы-утилизаторы, паровые турбины и прочее оборудование, необходимое для превращения станции в полноценный эффективный источник тепловой и электрической энергии.

В России ГТУ появились в 1960-е годы. Сегодня их производством занимаются около десятка компаний. По своим характеристикам отечественные установки уступают зарубежным аналогам

по эффективности (КПД 33—36 %), рабочему ресурсу (ниже на 25—30 тыс. ч), по сервисному обслуживанию, по уровню цифровизации, выбросов NO_x , CO_2 . При этом они конкурентоспособны по стоимости, адаптированы к местным условиям и обладают достаточной надежностью для многих применений, но еще требуют дальнейшего совершенствования для достижения уровня мировых лидеров.

Большая доля тепловых нагрузок в перспективе будет покрываться от *малых ТЭЦ* мощностью от одного до нескольких десятков мегаватт. Они могут выполняться на базе двигателей внутреннего сгорания, дизельных двигателей или на базе ГТУ. Установки изготавливаются в блочном исполнении в заводских условиях и готовыми к пуску в эксплуатацию. Они могут работать без обслуживающего персонала с периодическим осмотром 1 раз в 3—5 дней. Коэффициент использования топлива в них равен 80—90 %.

Эти установки весьма быстро завоевывают тепловой рынок. В нашей стране они также начинают использоваться. Их производство осваивается на ряде заводов в городах Калуге, Самаре, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге и др.

Перспективным направлением совершенствования котельных является оснащение их *системами автоматики и регулирования*. При этом улучшается процесс горения топлива, повышается КПД котла на 7—10 %, снижаются на 15—20 % выбросы продуктов неполного сгорания топлива.

Разрабатываемые решения по комплексной автоматизации газовых котельных и их систем позволяют до 50 % сократить расход газа на единицу производимой энергии по сравнению с традиционными котлами.

Широкое применение при реконструкции и развитии систем должны получить конденсационные котлы на газе и котлы с топками кипящего слоя для угля. Конденсационные котлы называют теплогенераторами нового поколения. КПД таких котлов на 5—8 % выше, а выбросы вредных веществ ниже, чем у традиционных котельных: по монооксиду углерода (окись углерода, угарный газ, CO) в 2 раза, а окиси азота на 20—30 %.

Основными достоинствами котлов с кипящим слоем является возможность надежного сжигания низкокачественных углей (и других горючих материалов) с высоким КПД (85—92 %) и низкими выбросами вредных веществ в окружающую среду.

Одним из эффективных способов продления сроков службы водогрейных котлов и улучшения режимов их работы является внедрение двухконтурных схем котельных. Успешной реализации решения способствует появление современных малогабаритных водо-водяных теплообменников. Применение двухконтурной схемы обеспечит стабильное качество воды в котле, позволит поддерживать оптимальный температурный уровень котловой воды во внутреннем контуре, сделает независимыми гидравлический режим котельной и тепловой сети, что улучшит работу и повысит эффективность котлов.

Инновации в тепловых сетях

Повышение надежности трубопроводов, снижение тепловых потерь и продление сроков службы тепловых сетей, как показывает многолетний опыт зарубежных стран и первые практические результаты в России, возможно путем применения новых конструкций теплопроводов и способов их прокладки.

Долговечным и стойким к агрессивным средам является *стеклоэмалевое антикоррозийное* покрытие теплопроводов, получаемое путем индукционного оплавления. Эмалирование труб производится в заводских условиях, а их стыков — на месте прокладки с помощью передвижных установок. Разработанный в России такой способ защиты труб пока имеет ограниченное применение. Вместе с тем для наиболее тяжелых и ответственных участков тепловых сетей его использование было бы целесообразным. В последние годы активно развиваются методы *плазменного напыления* защитных покрытий. Поиск и разработка доступных способов повышения антикоррозийной стойкости теплопроводов сохраняют свою актуальность.

Компенсация теплового расширения теплопроводов, как правило, осуществляется с помощью специальных устройств — компенсаторов. Они являются достаточно дорогим и ненадежным элементом, так как часто выходят из строя, служат местом утечек теплоносителя, увеличивают

капиталоемкость, металлоемкость сетей и т.п. Устранение этих недостатков возможно путем применения конструкций труб, устойчивых к тепловым деформациям. Для ответственных магистральных сетей разработаны *самокомпенсирующиеся трубы*. Они могут работать в широком диапазоне температур теплоносителя и представляют собой спирально-шовную трубу, в стенке которой имеются предварительно сформированные гофры. Предложенная конструкция обеспечивает непрерывность и экономичность процесса изготовления труб. Для систем с температурой теплоносителя до 130 °С разработаны *трубы с предварительным напряжением*. Такие трубы исключают необходимость установки компенсаторов, существенно упрощают и удешевляют прокладку тепловых сетей. Для компенсации теплового расширения предварительно изолированных труб применяется специальная компенсационная муфта. Она срабатывает только один раз и поглощает перемещения трубопровода при заполнении его горячей водой, после чего муфта фиксируется сваркой в этом положении. Трубы принимают соответствующее состояние в грунте и после этого не испытывают перемещений вследствие тепловых расширений.

Очень остро для отечественных тепловых сетей стоит вопрос замены низкоэффективной минераловатной теплоизоляции на более качественную с высокими теплозащитными характеристиками. В мире, в том числе и в России, известно достаточно большое количество новых теплоизоляционных материалов. Наибольшее применение получил *пенополиуретан*. Положительные результаты применения в различных областях труб из пластмассовых материалов сделали возможным их использование не только для транспортировки высокоминерализованных и агрессивных сред, но и в качестве защитного кожуха. В результате появилась конструкция «труба в трубе».

К такой конструкции относятся *системы тепловых сетей заводского изготовления* с пенополиуретановой (ППУ) теплоизоляцией в полиэтиленовой оболочке и с контролем влажности изоляции. Эти тепловые сети изготавливаются диаметром 1200 мм и менее. Они могут прокладываться в грунте непосредственно, без железобетонных каналов. Их основные преимущества при соблюдении всех технологических требований по сравнению с традиционными для России

конструкциями и прокладкой тепловых сетей можно представить в следующем виде:

- снижение повреждаемости в 8—10 раз;
- уменьшение коэффициента теплопроводности в 2 раза;
- повышение долговечности с 10—15 лет до 30 лет и более;
- снижение тепловых потерь через изоляцию с 25—30 % до 3—5 %;
- сокращение расходов на ремонт теплотрасс в 3 раза;
- снижение капиталовложений в 1,3—1,5 раз;
- уменьшение эксплуатационных расходов в 7—9 раз;
- значительное сокращение сроков строительства;
- наличие системы оперативного контроля за влажностью изоляции.

Сопоставление экономических показателей канальной прокладки тепловых сетей с минераловатной изоляцией и бесканальной прокладки труб с пенополиуретановой изоляцией показывает, что капиталовложения в прокладку последних, по осторожным оценкам, ниже на 15—20 %, а эксплуатационные расходы — в 9 раз, ремонтные — в 3 раза, сроки их эксплуатации в 2 раза выше, чем у традиционных тепловых сетей. Всё это обеспечивает им очевидные преимущества.

В настоящее время в России примерная мощность имеющегося производства как магистральных, так и разводящих трубопроводов (от 57 мм и ниже до 1200 мм) составляет около 10 тыс. км/год. Однако из-за неостребованности труб с ППУ-изоляцией по разным причинам, в том числе из-за недостаточного финансирования, мощность предприятий используется в среднем на 30—60 %, при этом в зависимости от сезона значение мощности может отличаться в 5—7 раз. Вместе с тем внедрение этого прогрессивного способа прокладки тепловых сетей в нашей стране имеет очень хорошие перспективы. С появлением тепловых сетей заводской готовности (так называемых предварительно изолированных труб) стало возможным укладывать данные конструкции непосредственно

в грунт. Здесь очень важен комплексный подход. В его основу должны быть положены два основных условия. Во-первых, система труб заводского изготовления должна включать все необходимые компоненты: теплопроводы, фасонные изделия (отводы, переходы с одного диаметра на другой, тройники, ответвления), компенсаторы, опоры, запорную арматуру, систему контроля влажности изоляции и состояния оборудования. Во-вторых, должны быть выдержаны технические требования всего технологического процесса, начиная с проектирования, изготовления, прокладки, пуска в эксплуатацию и заканчивая условиями функционирования системы. Зачастую претензии, предъявляемые к предварительно изолированным трубопроводам, обусловлены нарушением какого-либо из перечисленных условий.

Новейшим способом прокладки труб является технология «запашки». В едином рабочем цикле она объединяет выемку грунта, прокладку трубопровода и покрытие его землей. Другой метод прокладки на небольшой глубине использует специальные технологии и материалы, которые обеспечивают высокую сохранность труб. Для создания подземных тоннелей малого диаметра применяется технология микротоннелирования, обладающая высокой точностью в стесненных городских условиях. Такие способы прокладки труб значительно экономят время и сокращают расходы на прокладку трубопровода.

Создание конструкций теплопроводов заводской готовности с контролем влажности изоляции и бесканальной их прокладкой открыло новую эру в развитии систем транспорта тепла. Технология бесканальной прокладки труб успешно дополняется бескамерной установкой запорной арматуры, не требующей обслуживания, а следовательно, и устройства самих камер.

Современные конструкции *задвижек шарового или поворотного типа* с эффективными уплотнительными материалами обладают высокой надежностью, гарантируют оперативное переключение тепловых сетей с целью реализации рациональных режимов их работы или в аварийных ситуациях и обеспечивают плотность отключения теплопроводов. Для их изготовления применяют устойчивые к коррозии и абразивному износу материалы, такие как наностекло, нанокерамика, полибутен, керамика, искусственные полимеры,

многокомпонентные и гибридные композиционные материалы и др. Такая арматура не требует периодического обслуживания, сокращает тепловые потери и утечки теплоносителя. Кроме того, она позволяет существенно сократить гидравлическое сопротивление систем, что очень важно при существующей их перегруженности. Для приведения в действие таких задвижек существует большой ассортимент электродвигателей, управляемых с места либо дистанционно с диспетчерского центра. Их применение может смягчить последствия аварийных ситуаций.

Ощутимый прогресс в области транспорта тепловой энергии невозможен без оснащения тепловых сетей *системами учета измерения и регулирования*. Здесь начинают применяться контроллеры, управляемые регулирующие клапаны, современные электронные регуляторы давления, расхода, перепада давления, температуры и т.п. Растет разнообразие схем присоединения ответвлений к магистральным сетям. Они действительно превращаются в узлы управления и трансформации теплоносителя с регулируемыми насосами смешения, теплообменниками, с наличием автоматики и регуляторов, приборов измерения. Появление новых технических средств должно существенно изменить оснащенность насосных станций и станций регулирования давления. Они могут комплектоваться системами дистанционного управления и контролироваться из единого диспетчерского пункта. Для реализации этого направления фактически имеется необходимый рынок оборудования, включая отдельное программное обеспечение и комплектные компьютерные системы.

Энергоэффективные технологии в системах теплоснабжения

Основные энергоэффективные направления развития систем теплоснабжения зданий включают: усиление теплозащитных характеристик ограждающих конструкций; совершенствование схем подключения внутридомовых систем к тепловым сетям; разработку систем автоматики и регулирования; создание новых схем, конструкций и оборудования для систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции.

Большое внимание в странах с холодным климатом, таких как Россия, уделяется *методам*

и средствам улучшения теплоизоляции зданий и их отдельных элементов, в том числе утеплению оконных и дверных проемов, строительных стыков, швов и т. п. Достигнутый в строительной практике опыт позволяет уже сегодня снизить теплопотребление наших зданий не менее чем в 3 раза. В большей мере этот потенциал связан с существующей застройкой, объемы которой несопоставимо велики по сравнению с новым строительством. Положительный опыт энергоэффективного нового строительства имеется в Москве и Санкт-Петербурге. Здесь разработаны конструкции стен в виде *сэндвичей с эффективной теплоизоляцией*, не уступающей зарубежным аналогам. При этом по стоимости такие здания дешевле традиционных, выполненных из панельных конструкций.

В существующих зданиях предпочтением пользуется наружное нанесение изоляционного покрытия. Эта технология не нарушает целостность изоляционного слоя и не уменьшает жилую площадь. Теплоизоляция пенного типа наносится напылением, а изготавливаемая в виде матов крепится с помощью каркасных конструкций. Применяют различные теплоизоляционные конструкции: мокрый фасад без воздушных прослоек, вентилируемый фасад, фасадные панели, вакуумные панели; отражающая теплоизоляция; сэндвич-панели и др.

Около 30 % потерь тепла зданием можно устранить, если применять *оконные рамы в виде умных стеклопакетов* (низкоэмиссионные, электрохромные, термохромные, фотохромные и др.) и ликвидировать неплотности в оконных и дверных проемах с помощью уплотняющей мастики на основе пенопласта. Интенсивные работы ведутся по разработке новых стекол. Полученные в последние годы результаты позволяют более чем в 3 раза уменьшить их теплопроводность. Для покрытия старых стекол разработаны специальные тонкие пленки оксида металла, которые препятствуют тепловому излучению.

Хорошая герметичность здания кроме минимального энергопотребления увеличивает его долговечность и защищает от повреждений.

Задачей ближайшего будущего для наших систем является *дооснащение потребителей теплосчетчиками*. В настоящее время оснащенность

общедомовыми приборами в среднем по стране составляет около 70 %, а индивидуальными — 40 %. Все известные теплосчетчики принципиально отличаются только расходомерами. Их существует не менее пяти типов: *механические* (их несколько видов) — слабо чувствительны к качеству воды, просты, более дешевы, но недолговечны; *магнитно-индукционные* — работают на электронной основе, имеют достаточно высокую точность, большой срок эксплуатации, средний уровень цен, но чувствительны к наличию железа в воде; *ультразвуковые* — электронного типа, имеют высокую точность измерений, значительный срок эксплуатации, большой межповерочный интервал, но наиболее дорогие. Существуют и разрабатываются и другие типы теплосчетчиков, некоторые из них представлены на рис. 11. Все измерения с помощью теплосчетчиков производятся и рассчитываются исключительно электронным способом.

Системы теплопотребления зданий начинаются с узлов подключения к наружным тепловым сетям. Известно множество схем подключения, каждая из них имеет свои области применения. Вместе с тем, как показывает зарубежный и отечественный опыт, наибольшим преимуществом обладает *схема с теплообменниками*. Она обеспечивает гидравлическую независимость внутренних систем теплопотребления от наружной системы, включающей источник и тепловые сети.

Небольшие габариты и малый вес современных теплообменников позволили изготавливать автоматизированные *тепловые пункты* для подключения внутренних систем в заводских условиях, что повышает их качество и снижает стоимость. Внедрение тепловых пунктов обеспечивает новый уровень технологии эксплуатации теплоснабжающих систем, ориентированной на совместную работу источников тепла, автоматическое регулирование, энергосбережение и улучшение комфортных условий в помещениях.

С целью создания комфортных условий и рационального использования тепла установки теплопотребления должны оснащаться *системами автоматики и регулирования*. Проведенные исследования однозначно свидетельствуют о целесообразности оснащения зданий такими систе-

**Рис. 11.****Виды приборов учета тепловой энергии, применяемые в России [7]:**

основные требования к производимым теплосчетчикам состоят в обеспечении высокой точности, длительного срока эксплуатации и межповерочного интервала. Согласно этим требованиям, складывающаяся тенденция заключается в разработке теплосчетчиков без механических компонентов или с очень простыми механическими приборами

мами. Годовая экономия тепловой энергии может составить до 0,10 Гкал на 1 м² отапливаемой площади (более 30 %).

В настоящее время на российском рынке появилось большое количество приборов автоматики и регулирования, в основном импортного производства: регуляторы давления и перепада давления; регуляторы расхода; регуляторы температуры; регулирующие двух-, трехходовые клапаны; сервомоторы; балансировочные, термостатические клапаны; высокочастотные преобразователи для регулирования частоты вращения насосов (регулируемый привод); программируемые (на сутки, неделю) блоки управления (контроллеры) регуляторами, насосами. Всё это приборы нового поколения, основанные на электронной базе. Они применяются как в комплексе друг с другом, так и самостоятельно.

Управление перепадом давления осуществляет *регулятор перепада давления*. Он поддерживает необходимую постоянную его величину на вводе в здание независимо от колебаний во внешней сети. *Регулятор расхода* обеспечивает подачу требуемого количества теплоносителя. Подобные функции выполняют простые по конструкции *балансировочные клапаны*, но наибольший эффект они дают в системах с постоянным расходом теплоносителя. Для автоматического регулирования используются технология динамического регулирования расхода, инновационная балансировка и автоматические клапаны.

Эти приборы как первый этап автоматизации могут применяться в наших системах для гидравлической регулировки тепловых сетей, которая в настоящее время часто выполняется неэффективными способами, с помощью дроссельных диафрагм и сопел элеваторов.

Регуляторы перепада давления и расхода могут быть использованы в узлах управления тепловых сетей для увязки гидравлических режимов кольцевых магистральных сетей с тупиковыми распределительными сетями. Они также применяются на источниках тепла для управления режимами работы тепловых сетей.

Регуляторы температуры совместно с регулирующими клапанами и сервоприводом выполняют функции погодной компенсации путем регулирования подачи тепла в системах отопления и вентиляции или для поддержания постоянной температуры теплоносителя в системах горячего водоснабжения. Обычно они устанавливаются на вводе в здание в контуре наружной тепловой сети. Регулирование осуществляется в соответствии с изменением температуры наружного воздуха. Для создания хороших условий работы этих регуляторов нередко перед ними устанавливается регулятор перепада давления. Он защищает от высоких давлений и осуществляет грубую регулировку параметров теплоносителя.

С целью ликвидации температурных перекосов в здании (перегрева одних и недогрева других помещений) на стояках отопления в обратных линиях устанавливаются *балансировочные клапаны* для регулирования по ним потоков теплоносителя.

Термостатические клапаны устанавливаются перед радиаторами отопления и применяются для индивидуального регулирования температуры воздуха в помещении. Они контролируют теплоотдачу отопительных приборов, которая должна соответствовать требованиям потребителя. Программируемые клапаны управляют теплоотдачей в зависимости от времени суток и назначения помещения. Инновационным направлением регулирования радиаторов являются интеллектуальные термостаты, которые с помощью интернета вещей анализируют условия в помещении (температуру, влажность, присутствие людей) и поддерживают комфортные условия в помещении в соответствии с заданными.

Широкое применение в теплоснабжающих системах нашли *насосы с регулируемой скоростью вращения*, которые позволяют автоматически изменять их действующие напоры, а при наличии термостата обеспечивают необходимую темпера-

туру в системах отопления путем регулирования расхода теплоносителя. Они имеют минимальную потребляемую мощность, поэтому существенно сокращают потребление электроэнергии на перекачку, упорядочивают гидравлические режимы работы системы, разгружают источники, тепловые сети и увеличивают возможности дополнительного отпуска тепла. В России выпускается достаточно широкий спектр таких насосов, в частности с дистанционным управлением по Wi-Fi, с датчиком защиты от сухого хода, работающим без вмешательства человека, со сменным картриджем, обеспечивающим простоту обслуживания, с внутренним обратным клапаном потока без необходимости проверки направления потока в гидравлической системе.

Основным перспективным направлением, успешно реализуемым в зарубежных странах, является комплексная автоматизация теплового ввода в зданиях. Наибольший эффект достигается при включении в такой узел пластинчатых теплообменников. Компактные *индивидуальные автоматизированные тепловые пункты* (ИТП) с теплообменниками на отопление и горячее водоснабжение, оснащенные погодозависимой автоматикой, изготавливаются в заводских условиях и монтируются вместо элеваторных узлов (рис. 12).

Автоматизированные ИТП обеспечивают следующие преимущества:

- гидравлическую независимость внутридомовых и наружных систем;
- высокую точность регулирования тепловых и гидравлических режимов;
- снижение температуры обратной воды в результате использования теплоносителя после систем отопления и вентиляции для нагрева холодной воды, поступающей на горячее водоснабжение;
- увеличение используемого температурного перепада теплоносителя;
- низкое рабочее давление;
- хорошее качество воды;
- взаиморезервирование систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения между собой.

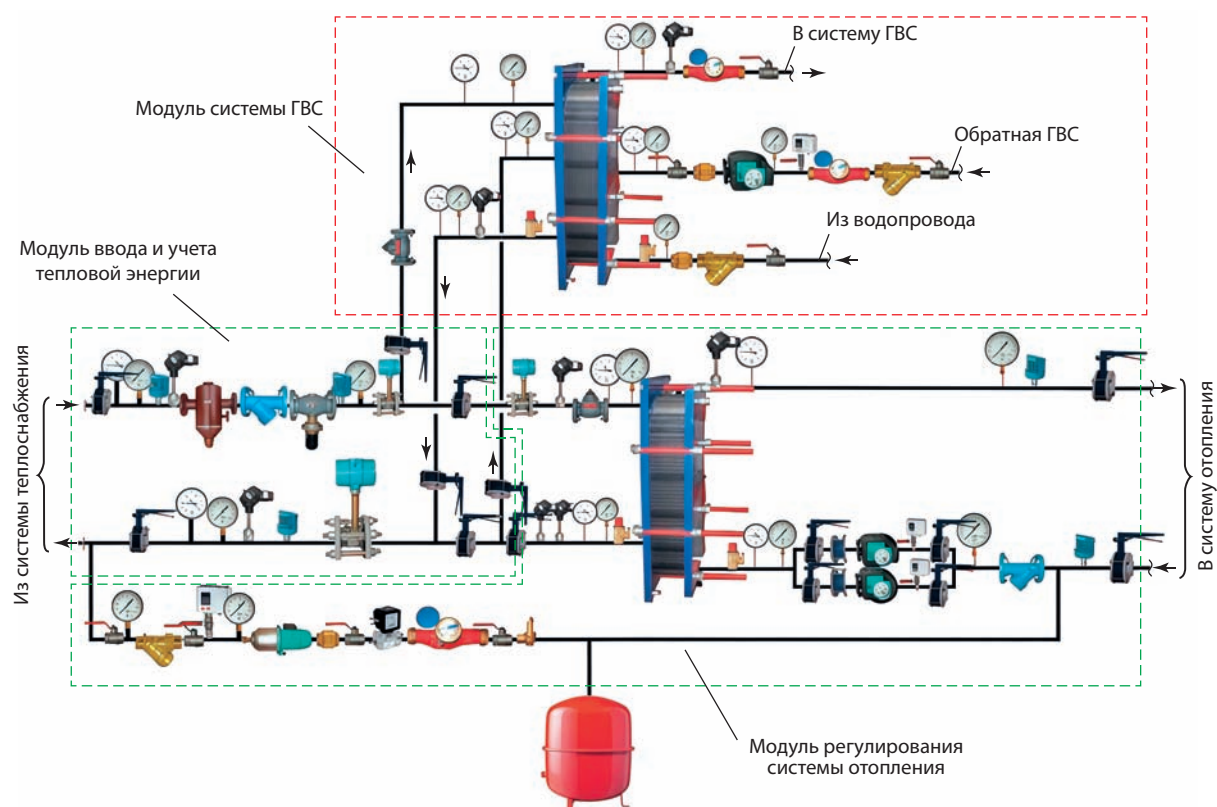


Рис. 12.
Принципиальная схема индивидуального теплового пункта [8]

Такие ИТП работают в автоматическом режиме согласно программе, заданной контроллеру, и могут управляться дистанционно через мобильные приложения или через интернет.

Наряду с энергосбережением и снижением оплаты за тепло, одним из важных стимулов здесь должно стать стремление повысить уровень комфорта. Достаточно широкие возможности возлагаются на искусственный интеллект и систему управления «умный дом», обеспечивающие автоматизацию процессов и контроль работы оборудования через интернет, беспроводные системы. В первую очередь это может коснуться вновь строящихся зданий, затем существующей застройки.

Требования по переходу на оснащение зданий автоматизированными тепловыми пунктами с пластинчатыми теплообменниками существуют в России и включены в нормативные документы

многих европейских стран, в том числе Финляндии, Швеции, Дании и других.

Низкое давление теплоносителя, обеспечиваемое подключением систем через теплообменники, сделает возможным более широкое применение *медных и металлопластиковых труб*, обладающих минимальным гидравлическим сопротивлением и максимальной долговечностью. Они достаточно хорошо будут дополняться высококачественной *шаровой запорно-регулирующей арматурой*.

Схема разводки всех внутренних систем должна производиться таким образом, чтобы возможно было организовать *индивидуальный учет* потребления тепловой энергии.

Системы отопления наиболее целесообразно выполнять в двухтрубном исполнении в целях реализации *индивидуального регулирования*

в отдельных помещениях и максимально эффективного использования тепловой энергии. Они должны подключаться к распределительным коллекторам, на которых устанавливаются термоголовки, регулирующие циркуляцию теплоносителя по отдельному контуру каждого помещения. Отопительные приборы должны оборудоваться термостатическими клапанами, настраиваемыми на необходимую внутреннюю температуру. Очень важно, чтобы применяемые металлоемкие отопительные радиаторы постепенно заменялись на легкие приборы с большой поверхностью теплоотдачи, обладающие максимальным теплосъемом. Это снизит температуру подаваемого теплоносителя. Погодозависимые системы позволяют управлять регулятором отопления, который реагирует на изменение температуры воздуха в помещении, увеличивая нагрев при ее понижении или уменьшая его при ее увеличении.

Системы горячего водоснабжения обязательно должны оснащаться *счетчиками горячей воды* и иметь циркуляционную линию, которая обеспечивает постоянную температуру воды и исключает ее сливы. Схемы разводки системы ГВС могут быть различными. В частности, предлагается перспективная *схема типа «труба в трубе»*. По внутренней трубе подается горячая вода к водоразборным кранам, а межтрубное пространство используется в качестве циркуляционной линии. Такая схема значительно сокращает потери тепла и упрощает прокладку трубопроводов. Существующие водоразборные

устройства должны заменяться на *энергоресурсосберегающие краны, душевые насадки* и другие приборы. Для массового их внедрения необходимо стимулировать создание рынка энергосберегающего оборудования.

Развитие систем вентиляции должно быть ориентировано на максимальное использование тепла удаляемого из помещения воздуха для нагрева свежего приточного воздуха. Для этого на рынке оборудования предлагаются специальные *рекуперативные теплообменники*, которые могут утилизировать не менее 60 % тепла, содержащегося в удаляемом воздухе. Кроме того, энергосбережению способствуют специальные схемы разводки воздуховодов, позволяющие дополнительно подогревать приточный воздух. Большое значение при создании современных систем вентиляции придается *автоматизации, регулированию и устройствам подготовки воздуха*, подаваемого в помещение, и *очистки воздуха*, удаляемого из него. Разработаны и выпускаются комплекты установок повышенной заводской готовности, которые могут применяться как в общественных учреждениях, так и в производственных зданиях.

Как следует из вышеизложенного, существует и разрабатывается большое количество новых энергоэффективных технологий и оборудования, они неизбежно будут внедряться в теплоснабжающие системы и обеспечивать их трансформацию.

Заклучение

Активное проявление глобализации в энергетике требует пересмотра принципов построения теплоснабжающих систем и управления ими. Объединение разнотипных источников энергии, интеграция технологических, интеллектуальных и информационно-телекоммуникационных систем в единый технологический комплекс могут обеспечить реализацию новых функциональных возможностей и применение более совершенных технологий эксплуатации. Перспективным направлением является создание централизованно-распределенных систем

на базе теплофикации/когенерации, нетрадиционных и возобновляемых источников с горизонтально распределенным управлением режимами таких систем и активным участием потребителей в процессе энергоснабжения. Принципы построения таких ТСС включают следующие основные положения, которые могут быть основой формирования теплоснабжающих систем будущего:

1. Технические направления преобразования теплоснабжающих систем в нашей стране долж-

ны быть направлены на повышение комфорта для потребителей, надежности, экономичности и экологической состоятельности теплоснабжения.

2. Основными способами и путями преобразования ТСС являются:

а) изменение структуры систем, ориентированное на принципы организации горизонтального и пространственно распределенного теплоснабжения, автоматизацию, резервирование, рациональное соотношение числа и диаметров основных магистралей, а также на выбор оптимальной мощности ИТ с учетом требований надежности;

б) применение, как правило, независимых схем присоединения потребителей и закрытых систем теплоснабжения;

в) переход на новые технологии эксплуатации, связанные с совместной работой ИТ, низкими температурами и давлениями теплоносителя, переменным его расходом;

г) повышение качества, надежности и разнообразия элементов ИТ, тепловых сетей, узлов присоединения нагрузок и местных систем теплоснабжения;

д) внедрение систем автоматики и регулирования, приборов учета и измерения и создание автоматизированной системы диспетчерского управления с переходом в последующем к интеллектуальному управлению;

е) интеграция информационных технологий, скоростной передачи данных — G5 и выше, интернет-технологий, искусственного интеллекта, организация умного потребления тепловой энергии.

3. Перспективным направлением повышения эффективности теплоснабжающих систем является разделение ИТ, тепловых сетей и теплоснабжающих установок на независимые контуры с помощью теплообменников, систем регулирования и интеллектуального управления ими.

4. Развитие источников тепла должно быть ориентировано на применение теплофикации, предпочтительно на базе ПГУ- и ГТУ-ТЭЦ широкого диапазона мощностей.

5. Переоснащение котельных должно осуществляться путем замены неэффективных котлов на новые, с прогрессивными технологиями сжи-

гания топлива и применением современных средств автоматизации и регулирования процессов горения.

6. В тепловых сетях преимущественно должны применяться предварительно изолированные теплопроводы, бесканальный и надземный способы их прокладки, шаровая запорная арматура, а также система оперативного контроля и диагностики состояния оборудования.

7. Современный уровень эксплуатации теплоснабжающих систем и совместная работа источников тепла невозможны без создания автоматизированной распределенной системы диспетчерского управления.

8. Большой резерв энергосбережения сосредоточен в сфере потребления, поэтому здесь основные приоритеты должны включать:

а) оснащение тепловых вводов в здания теплосчетчиками;

б) замену элеваторных узлов на автоматизированные тепловые пункты с пластинчатыми теплообменниками и регуляторами;

в) установку балансировочных клапанов на стояках отопления;

г) более широкое применение медных, металлопластиковых труб, высокоэффективных отопительных и вентиляционных приборов, энергосберегающей арматуры и оборудования.

9. В связи с ужесточением нормативов по утеплению и герметизации зданий особые требования должны предъявляться к системе вентиляции и кондиционирования воздуха.

10. Схема разработки, принятия и реализации решений включает большой комплекс вопросов, которые должны быть положены в основу разработки схем теплоснабжения городов и населенных пунктов.

Изложенные результаты систематизируют имеющиеся наработки по развитию теплоснабжающих систем, формируют основные концептуальные положения и отражают некоторые свойства будущих энергетических систем. Идеология, создание и управление такими системами является важнейшей проблемой, требующей серьезного осмысления, проведения активных научно-практических исследований и последовательной их реализации в реальной практике.

Литература

1. **Ексаев А.Р.** Об электронных моделях систем теплоснабжения городов / А.Р. Ексаев // Энергосовет. 2010. № 7 (12). С. 22—24. URL: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=90&utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения 18.09.2025).

2. **4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems** / H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire et al. // Energy. Vol. 68. 15 April 2014. P. 1—11. doi: 10.1016/J.ENERGY.2014.02.089

3. **Кулагин В.А.** Водородная энергетика: за и против / В.А. Кулагин, Д.А. Грушевенко // Бюллетень «Энергетика, экология, энергосбережение» / под ред. А.В. Клименко. 2023. Вып. 2. 36 с. ISBN 978-5-383-01683-1

4. **Технологии** улавливания диоксида углерода на ТЭС, его транспортировка, полезное использование и захоронение / Г.А. Рябов ; Перспективы применения установки улавливания углекислого газа на филиалах ПАО «Мосэнергo» / С.А. Петелин, А.Н. Вивчар, П.В. Бублей и др. // Бюллетень «Энергетика, экология, энергосбережение» / под ред. А.В. Клименко. 2022. Вып. 3. 32 с. ISBN 978-5-383-01649-7

5. **Применение** чиллера SANYO на сбросной воде в системе тригенерации // Мир климата / 2008. № 47. URL: https://mir-klimata.info/primenenie-chillera-sanyo-na-sbrosnoj-vode-v-sisteme-trigeneracii/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения 18.09.2025).

6. **Теплообменники.** Пластинчатые разборные теплообменники // ИжТеплоРесурс : сайт. URL: http://www.izhtrn.zaopolym.com.ru/teploobmenniki?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera# (дата обращения: 18.09.2025).

7. **Теплосчетчики** многоканальные ТМ-3Э // All-pribors.ru. Измерительное оборудование : сайт. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/48235-11-tm-3e-51038> (дата обращения: 18.09.2025).

8. **Проектирование** автоматизации котельных и ИТП // Avitek engineering : сайт. URL: https://avitekengineering.ru/proektirovanie/proektirovanie-avtomatizatsii-kotelnykh-i-itp/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 18.09.2025).

Научно-популярное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ЭКОЛОГИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
Под редакцией академика РАН Александра Викторовича Клименко

Выпуск 3

СТЕННИКОВ Валерий Алексеевич

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ
ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМ
В УСЛОВИЯХ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА**

Оригинал-макет подготовлен АО «Издательский дом МЭИ»

Подписано в печать 23.10.2025. Формат 60 × 90/8. Усл. печ. л. 5,0

Контакты издателя: Инженерное управление ПАО «Мосэнерго».

Тел.: +7 (495) 957-19-57, доб. 30-94.

Электронная почта: staroverovaaa@mosenergo.ru

Управление по работе со СМИ и органами власти ПАО «Мосэнерго».

Тел.: 8 (495) 957-19-57, доб. 22-90, 37-17.

Электронная почта: press-centre@mosenergo.ru.

Адрес в Интернете: www.mosenergo.ru

