

## АННОТАЦИЯ

*Проанализированы исторические тренды развития систем централизованного теплоснабжения в Республике Беларусь за последние 25–30 лет, определены основные тенденции их совершенствования. Дан краткий обзор зарубежного опыта в сфере развития систем теплоснабжения. Приводятся комплекс технических решений по модернизации энергетических объектов централизованного теплоснабжения на ближайшую перспективу.*

## ANNOTATION

*The historical trends of district heating systems development in the Republic of Belarus for the past 25–30 years are analyzed and the main ways of their perfection are identified. A brief review of international experience in the development of district heating systems is shown. As a part of the short term goals the number of technical solutions for the district heating systems modernization are proposed.*

# Анализ состояния и основные тенденции развития систем централизованного теплоснабжения в Беларуси

**В. А. Седнин**, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»,

**А. В. Седнин**, к. т. н., доцент, заведующий Научно-исследовательским и инновационным центром автоматизированных систем управления в теплоэнергетике и промышленности (НИИЦ АСУ ТЭП),  
Белорусский национальный технический университет

## Введение

Эффективность функционирования систем теплоснабжения прямо или косвенно интересует большую часть населения страны, по крайней мере, когда они видят счёт на оплату жилищно-коммунальных услуг. Для специалистов несомненный интерес должна представлять оценка состояния и перспективы развития систем теплоснабжения. Поэтому так важно в разрезе подготовки долгосрочных планов развития экономики Беларуси иметь стратегию совершенствования и развития системы теплоснабжения.

В статье основное внимание уделено системам централизованного теплоснабжения (СЦТ). Они преобладают в структуре теплоснабжения и являются одним из важнейших элементов энергетического комплекса республики. СЦТ города или промышленного центра представляет собой сложнейший технический комплекс с разнородным составом теплогенерирующих и теплопотребляющих установок

и соединяющих их многообразных схем тепловых сетей. Внутри элементов СЦТ одновременно протекают и тесно взаимодействуют различные физико-химические процессы (горение, течение жидкостей и газов, тепло- и массоперенос и др.). Сложность СЦТ компенсируется несомненными преимуществами, к которым относят [1, 2]: низкие удельные затраты топливно-энергетических ресурсов на выработку тепловой энергии, высокую производительность труда, хорошие экологические показатели. Исходя из анализа отечественного и зарубежного опыта эксплуатации СЦТ можно констатировать, что они далеко не исчерпали свой потенциал для совершенствования. Необходимость повышения экономической, энергетической и экологической эффективности систем теплоснабжения определяется мировыми тенденциями в энергетике и социально-экономической обстановкой в стране. Потенциальная возможность повышения комплексной эффективности вытекает из закономерностей развития техносферы и заключается в разработке и применении новых прогрессивных методических и технических решений на уровне совершенствования технологической функции и развития функций управления и планирования систем теплоснабжения. Для достижения указанной цели необходимо проведение теоретических и прикладных исследований в области оптимизации структурно-схемных

решений СЦТ и создание инновационных технологий теплоснабжения, новых образцов теплоэнергетического и теплоиспользующего оборудования, автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). При этом следует опираться как на отечественные разработки, так и на опыт зарубежных стран, таких как Дания, Финляндия, Германия, Южная Корея и других, в которых за последние десятилетия эффективно развивались СЦТ и комбинированные централизованные системы тепло- и хладоснабжения.

Традиционно в структуре теплоснабжения страны выделяют две подотрасли, именуемые на профессиональном сленге «большой» и «малой» теплоэнергетикой. К первой относят объекты энергосистемы, ко второй — объекты промышленной и коммунальной энергетики. На практике часто пытаются их сопоставлять как по степени важности, так и по степени сложности. В действительности они предназначены для решения одних и тех же задач, и рассматриваемые в статье проблемы одинаково касаются обеих подотраслей.

### **Основные тенденции развития СЦТ в последние десятилетия**

Отправной точкой для анализа были приняты тезисы последней Энергетической программы СССР, в основу которой были положены решения ноябрьского (1982) Пленума ЦК КПСС [3] и которая разрабатывалась на базе предварительных планов развития экономики Советского Союза до 2000 г. Основными направлениями развития теплоснабжения народного хозяйства и населения страны предусматривалось: расширение централизованного теплоснабжения на основе дальнейшего развития теплофикации и всемерной концентрации производства теплоты с целью прекращения роста, а в дальнейшем — сокращение числа мелких котельных с заменой их более эффективными автоматизированными теплоустановками повышенной мощности; максимально возможное использование ядерного горючего для централизованного теплоснабжения; освоение для нужд теплоснабжения нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), вовлечение в оборот вторичных энергетических ресурсов [3]. На повестке дня в свете перспективы совершенствования СЦТ рассматривалась также необходимость решения ряда системных задач [1]: определения рациональной структуры источников теплоты (ИТ) в зависимости от формирова-

ния энергетического баланса в отдельных регионах страны; изучения динамики роста и развития СЦТ; оптимизации режимов использования ИТ разных типов; повышения надёжности теплоснабжения потребителей.

Сопоставляя современное состояние теплоснабжения в республике с перечисленными направлениями развития и совершенствования СЦТ, можно отметить следующее. По степени развития теплофикации Беларусь является одним из мировых лидеров (более 50 % тепловой энергии вырабатывается в рамках комбинированного производства электрической и тепловой энергии). Централизация производства теплоты в областных городах практически достигла своего предела. Атомная энергетика (атомные ТЭЦ и атомные источники теплоты) в области производства тепловой энергии не получила своего развития. Слабо используются в сфере теплоснабжения вторичные и нетрадиционные источники энергии. В то же время на ряде ТЭЦ внедрены парогазовые установки, многие промышленные и коммунальные котельные переведены в режим мини-ТЭЦ с использованием газопоршневых, паротурбинных и газотурбинных установок, в республике построены около двух десятков паросиловых электростанций на местных видах топлива, в том числе три с применением органического цикла Ренкина. Касаясь системных задач совершенствования СЦТ, можно смело утверждать, что их решению не уделялось должного внимания, развитие СЦТ осуществлялось без какого-либо научного обоснования, часто на волюнтаристских принципах.

Справедливости ради надо отметить, что в последние 15–20 лет развитию и совершенствованию теплоснабжения в республике уделялось пристальное внимание. Был принят ряд постановлений Совета Министров, разработана и принята, хоть и в урезанном виде, Концепция развития теплоснабжения в Республике Беларусь до 2020 года. Значительные средства были вложены в реновацию тепловых сетей, как наименее надёжного элемента СЦТ, в реконструкцию и модернизацию теплоисточников, тепловых пунктов и насосных станций. Учёт производства и потребления тепловой энергии реализован на базе современных приборов. Тем не менее эффективность реализации этих мероприятий в целом не имела прорывного характера, а степень обновления основных фондов предприятий теплоснабжения не достигала требуемого уровня.

### Системные проблемы теплоснабжения

Начиная с середины 90-х годов прошлого столетия наблюдались многочисленные факты «ухода» промышленных предприятий от СЦТ, практически массовое строительство заводских котельных и, как следствие, на втором этапе начиная с 2000-х гг. строительство газопоршневых и газотурбинных мини-ТЭЦ. При этом экономическая обоснованность этих мероприятий в основном определялась недостатками тарифной политики и перекрёстным субсидированием, а не техническими или общегосударственными интересами. Одновременно происходила реструктуризация ведомственной принадлежности теплоисточников: большинство существующих с советских времён заводских котельных были переданы предприятиям двух ведомств: энергосистемы (ГПО «Белэнерго») и Минжилкомхоза. Последнему также передавались в большом количестве котельные в сельской местности и бывших военных городках.

В «малой» энергетике убыточность производства тепловой энергии и необходимость больших вложений в принимаемые котельные, а также порой необоснованные структурные реорганизации в жилищно-коммунальной сфере привели к ситуации, когда денег на дальнейшее совершенствование теплоснабжения у самих предприятий не оставалось. Модернизация объектов в последние 5–10 лет в основном идёт за счёт государственных программ или внешних заимствований. Гарантом возврата средств в конечном итоге также является государство. В «большой» энергетике было достаточно проблем по модернизации электрической части, поэтому модернизация систем теплоснабжения в основном производилась по остаточному принципу или при реализации программ использования местных видов топлива.

В создавшихся условиях, чтобы покрывать расходы на производство и поставку тепловой энергии, необходимо было увеличивать тарифы на электроэнергию, что в свою очередь повышало рентабельность собственных когенерационных энергоцентров. Ответной мерой стали ограничения на отпуск электроэнергии в электросети энергосистемы. Энергосистема упустила развитие тенденции создания мини-ТЭЦ и вместо того, чтобы подойти стратегически к решению проблемы, например определить места их строительства с позиции повышения надёжности электроснабжения и снижения потерь на транспорт, в большинстве случаев просто использовала для сдерживания развития локальных энергоисточников

административные ресурсы монополиста в области передачи электрической энергии.

К сожалению, в республике нет единого государственного или общественного (по опыту ряда зарубежных стран) органа, который бы рассматривал ситуацию в сфере теплоснабжения в целом и предлагал научно-обоснованную техническую политику. На наш взгляд, в рассматриваемый период теплоснабжение развивалось без системной научной проработки, а в большей степени по стихийно-рыночным законам.

Следует также отметить, что развитие СЦТ в современных условиях приводит к усилению как внутренних связей между их отдельными элементами, так и внешних связей СЦТ со смежными отраслями. Особенно это характерно в отношении электроэнергетики и энергомашиностроения. Так, одним из определяющих факторов развития СЦТ сегодня является ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС (БелАЭС). Это предполагает более глубокое использование ТЭЦ в качестве маневренных источников и использование теплоснабжения как базы для потребления электроэнергии в провальной части графика электрических нагрузок. Проблема должна рассматриваться системно в рамках всей экономики. Однако времени и средств недостаточно, поэтому реализуются наиболее низкокзатратные, но не самые экономически эффективные решения.

В части изменения взаимоотношений энергетики и энергомашиностроения следует отметить, что при модернизации объектов теплоснабжения применяют энергетическое оборудование большого числа фирм-производителей, часто далеко не самого высокого качества, что впоследствии усложняет и удорожает эксплуатацию, снижая эффективность функционирования СЦТ.

### Структурная оптимизация систем теплоснабжения

Проблемы структурной и параметрической оптимизации являются актуальными как для проектирования новых, так и при модернизации существующих СЦТ. Как известно, в рамках структурной оптимизации осуществляется выбор рационального состава системы теплоснабжения и конфигурации тепловой сети, места размещения теплоисточников и их производительности [4]. Структурная сложность СЦТ [1, 2, 4–6] во многом определяется рассредоточенностью элементов производства, транспорта и потребления теплоты, многоконтурностью

и двухлинейностью схем тепловых сетей, наличием активных элементов (насосных и дроссельных станций), регулирующих устройств, а также неоднородностью и нелинейностью индивидуальных технических и экономических характеристик элементов.

На заре появления СЦТ, около ста лет назад, они формировались как «энергетические оазисы» внутри городской застройки. Как правило, они имели древовидную структуру с ИТ в корневой вершине. По мере развития централизованного теплоснабжения этих «оазисов» становилось все больше, они расширялись и объединялись. Далее, 25–30 лет назад, основным путём развития СЦТ больших городов стало формирование крупномасштабных систем с увеличением мощностей энергетических агрегатов и источников в целом [1]. Это было обусловлено рядом факторов: постоянным ростом потребности в тепловой энергии, необходимостью повышения экономической эффективности её генерации, требованиями охраны окружающей среды. Ввиду указанных исторических тенденций сегодня в большинстве городов республики сложились достаточно уникальные структуры СЦТ. В последние годы они развивались и изменялись как за счёт подключения новых потребителей, так и снижения тепловой нагрузки ряда старых потребителей (уменьшение потребления промышленными потребителями, повышение теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций зданий и др.). Соответственно по этим и другим причинам изменялись объёмы и режимы теплотребления во временном тренде суток и сезонов. При этом, несомненно, приобретало повышенную актуальность решение задач оперативного управления режимами работы СЦТ и повышения их адаптивности к внешним воздействиям [2]. Казалось бы, при таком сценарии задачи оптимизации структуры СЦТ как бы уходят на второй план, но в действительности они остаются первостепенными не только с позиций стратегического развития теплоснабжения, но и организации управления теплоснабжением.

Рассмотрим проблемы СЦТ, связанные с решением задач структурной модернизации. Большинство СЦТ республики требуют реконструкции, и от своевременности и обоснованности выбора технических решений в значительной мере зависит как надёжность и экономичность их работы после модернизации, так и эффективность капиталовложений в саму реконструкцию. В определённой степени можно утверждать, что устарели и перестали соответствовать современному уровню теплоснабжения

принципы построения и организации структуры самих тепловых сетей. При разработке проектов их модернизации не проводится обоснования аварийного резервирования, подключение дополнительной нагрузки допускается присоединением мелких потребителей непосредственно к магистралям, не уделяется должного внимания расчёту теплогидравлических режимов, поэтому в большинстве случаев СЦТ продолжают эксплуатироваться с завышенным расходом теплоносителя. Технические решения по оптимизации распределения потоков теплоносителя в тепловых сетях СЦТ и повышению их структурной надёжности ранее предлагались многими исследователями [1, 2, 4–6]. В частности, изменение древовидной схемы тепловой сети посредством устройства крупных автоматизированных тепловых подстанций в узлах разделения сетей на магистральные и распределительные, так называемых групповых тепловых подстанций (ГТП) [5]. Предложенная в [1] схема представляла собой общее распределительное кольцо, к которому подключаются все теплоисточники и от которого обеспечивается через крупные узлы регулирования (районные станции теплоснабжения) теплоснабжение теплотребителей. При этом предусматривается резервирование тепловых сетей. В западных странах используется иная идеология построения тепловых сетей, которую можно назвать «сотовой». Городская тепловая сеть представляет собой «соты трубопроводов», объединённые в общую сеть таким образом, что параллельные ветви дублируют друг друга. Это позволяет обеспечивать теплоносителем практически любого потребителя по двум независимым теплопроводам. Но и там предпочтение отдаётся объединению нескольких ИТ, работающих на единую тепловую сеть. Примером может служить СЦТ г. Хельсинки, где отключение теплотребителя разрешается не более чем на трое суток в год. Проблемным вопросом до сих пор остаётся количественная оценка эффективности затрат на повышение надёжности теплоснабжения, что не позволяет на стадии проектирования рассматривать более надёжные, но и более дорогие варианты.

В нашей стране до настоящего времени эти и иные решения по совершенствованию тепловых сетей не нашли своего применения. Как следствие, на практике не решены до конца вопросы согласования режимов функционирования теплоисточников и теплотребителей. Известно, что для оптимального решения задачи распределения теплоносителя необходимо гармоничное сочетание центрального

(на теплоисточнике), группового (на ГТП, ЦТП, ИТП) и местного (у потребителя) регулирования режимов работы. В целом такая задача решается только с помощью полноценной АСУ ТП теплоснабжения [2, 7–9]. При этом становится возможной работа ИТ по динамическому (оптимальному) температурному графику [10].

Таким образом, для обеспечения требуемой надёжности функционирования СЦТ необходима организация тепловых сетей таким образом, чтобы в них присутствовали контуры, объединяющие гидравлически отдельные разветвляющиеся системы теплопроводов, то есть должен выполняться принцип взаимного резервирования магистральных теплотрасс. С целью оптимизации режимов эксплуатации (загрузки) генерирующего оборудования целесообразно объединение нескольких СЦТ для работы нескольких ИТ на общий график тепловой нагрузки. При этом могут использоваться варианты как с последовательными, так и параллельными схемами включения ИТ. Считается, что первый вид схем со структурой «ТЭЦ – пиковые котельные» позволяет размещать ТЭЦ вне города, повышать надёжность схемы СЦТ и снизить стоимость транзитных тепловых сетей. Однако сегодня все шире должны рассматриваться и использоваться варианты с параллельной схемой работы теплоисточников. Это определяется, в частности, и тем, что многие построенные ранее «загородные» ТЭЦ сегодня находятся в черте города. Например, в Минске строительство жилых массивов и инфраструктурных объектов вышло за границы кольцевой дороги. И в этом смысле, каким бы утопическим это ни казалось, со временем целесообразным будет строительство вдоль кольцевой дороги тепломагистрали, объединяющей Минские ТЭЦ-3, ТЭЦ-4 и котельную «Шабаны».

Ещё одна современная тенденция, которую нельзя не учитывать — развитие многоукладности теплофикационной (когенерационной) теплоэнергетики. В конце 80-х годов прошлого столетия высказывалось мнение, что период массового создания новых небольших СЦТ закончился, современный этап характеризуется непрерывным развитием и усложнением систем [1]. Однако начало 90-х годов ознаменовалось, как отмечалось выше, бурным ростом локальных СЦТ промышленного и гражданского назначения. Затем наступила «эра» мини-ТЭЦ. Таким образом, появилась «многоукладность» в энергетике со всеми её достоинствами и недостатками, преимуществами и проблемами.

Новые свойства, приобретённые СЦТ в процессе их развития, требуют и дальнейших исследований в области теплоснабжения и применения инновационных подходов к проектированию с использованием системной методологии и математического моделирования. В ходе предпроектных и проектных работ должен решаться комплекс задач синтеза рациональной структуры СЦТ и формирования программы развития и совершенствования системы теплоснабжения населённого пункта. При существующей практике рассмотрения и утверждения планов перспективного развития схем теплоснабжения городов отсутствует возможность их оптимизации с учётом отрасли и республики в целом. В настоящее время разработка планов схем теплоснабжения на государственном уровне поручена двум проектным институтам: «Белнипиэнергопром» — по городам с теплоисточниками от ГПО «Белэнерго» и «Белкомунпроект» — по городам, теплоснабжение которых обеспечивается организациями Минжилкомхоза. Практика разработки схем теплоснабжения основана на сопоставлении ряда вариантов, определяемых на основе инженерного анализа. Эти варианты, как правило, отличаются структурой системы, видом и количеством теплоисточников, составом их оборудования, трассировкой и параметрами тепловых сетей, схемами присоединения абонентов и т. п. Сопоставление этих вариантов по экономическим критериям позволяет выбрать «приемлемый».

К сожалению, на практике локально-оптимальные проектные решения часто не соответствуют действительному оптимуму. Следует использовать современные математические подходы, в частности, методы сетевого моделирования для принятия оптимального решения по схемам теплоснабжения города или региона [11]. Также при разработке схем теплоснабжения населённых пунктов необходимо и целесообразно рассматривать не одноуровневую (объект), а двухуровневую (ТЭК–объект) или трёхуровневую (ТЭК–подотрасль–объект) математическую модель. Кроме того, в число вариантов для сравнения следует вводить вариант инвестирования теплопотребителей с целью снижения их тепловых нагрузок, потенциала требуемой теплоты и выравнивания теплопотребления. Здесь уместно ещё раз подчеркнуть, что в условиях развития когенерационных мощностей в промышленной и коммунальной энергетике и строительства БелАЭС важным аспектом становится учёт взаимодействия систем теплоснабжения с электроэнергетической системой.

Не менее важным аспектом оптимизации развития систем теплоснабжения, как отмечалось выше, является учёт фактора надёжности, который в технико-экономических расчётах систем теплоснабжения может учитываться путём оценки в денежном эквиваленте предполагаемого ущерба от отказов оборудования. Если оценить ущерб в денежном эквиваленте невозможно, следует в модель вносить ограничения согласно нормативным значениям параметров надёжности, регламентирующим её минимально допустимый уровень. Имеются различные подходы к оценке нормируемых показателей надёжности, но с инженерной точки зрения основным показателем является минимально допустимая температура воздуха в отапливаемых помещениях.

Следовательно, развитие организационной и научно-методической базы для решения системных оптимизационных задач СЦТ на стадии предпроектных и проектных работ продолжает оставаться важной проблемной задачей.

### Зарубежный опыт

В странах Северной Европы [12, 13] сегодня создаются СЦТ 4-го поколения. Проводимые там в последние годы исследования подтвердили технические возможности применения технологий низкотемпературного теплоснабжения, расширения использования ВИЭ, снижения расхода теплоты на отопление зданий и потерь теплоты в тепловых сетях. Указанные направления в совокупности с соответствием элементов СЦТ концепции «умный город» и расширением взаимодействия в рамках её идеологии с системами электроснабжения и газоснабжения являются отличительными особенностями СЦТ 4-го поколения. Считается, чтобы обладать системным свойством устойчивости во времени и пространстве, они должны отвечать ряду требований.

*Первое — организация возможности подачи низкотемпературной теплоты в контуры систем отопления и горячего водоснабжения (ГВС) новых и существующих зданий.* Предполагается создание в ближайшем будущем систем, позволяющих использовать для отопления теплоноситель с температурой не более 50 °С прямой и около 20 °С обратной сетевой воды. Такие условия, в частности, могут быть созданы за счёт увеличения поверхности теплообмена радиаторов, применения теплообменников, встроенных в ограждающие конструкции (пол, стены и потолок), и воздушного отопления. В зданиях обязательным станет внедрение адаптивных

систем управления, применение которых на основе прогнозных данных по метеоусловиям поможет рассчитывать потребность в тепловой энергии для каждой комнаты. Данные системы управления позволят производить балансировку требуемой тепловой энергии в течение суток и понизить пиковые нагрузки. Предлагается минимизировать расстояния от теплообменника системы ГВС до конечного потребителя.

*Второе — минимизация энергопотерь при транспорте теплоты.* Планируется организация работы теплотрубопроводов систем теплоснабжения при средних значениях температуры сетевой воды в подающем трубопроводе 50 °С, в обратном — 20 °С, что позволит снизить градиент температуры между трубопроводами тепловых сетей и температурой грунта. Станет возможным уменьшение диаметров тепловых сетей за счёт внедрения функции ограничения тепловой мощности в пиковые периоды. Предполагается использование теплопроводов со сдвоенными теплопроводами в одной изоляции, когда подающая труба находится в центре, а обратная в точке равенства температур изоляции и обратной сетевой воды, что позволит уменьшить тепловые потери, а тем самым исключить потери тепловой энергии от обратного трубопровода. Само качество изоляции также предполагается улучшить за счёт применения специальных «теплопоглощающих» материалов.

*Третье — развитие структурной функциональности СЦТ.* Применение идеологии «умные тепловые сети» предполагает возможность их работы с большим количеством ИТ, которые включают в себя как централизованные источники большой мощности, так и малые территориально распределённые источники, в том числе индивидуальные. При этом возможно также использование теплоты низкопотенциальных источников, теплоты от мусороперерабатывающих заводов, сбросной теплоты промышленных производств и охлаждения коммерческих зданий, геотермальных источников, солнечных теплоисточников и теплоаккумуляторов с сезонным хранением теплоты. Уменьшение температуры воды в СЦТ позволит повысить эффективность комбинированных установок по производству теплоты и электроэнергии, а также применять тепловые насосы большой мощности и сезонные системы аккумулирования теплоты. Также предлагается создание закольцованных тепловых сетей для работы системы в периоды малого расхода.

*Четвёртое* — вхождение в состав интегральных интеллектуальных энергетических систем, включая системы централизованного хладоснабжения. Присоединение большого числа ВИЭ в существующие энергетические системы должно быть согласовано с остальными источниками. Одним из возможных вариантов является изменение режимов работы ТЭЦ, а также широкое применение теплонасосного оборудования и электрических котлов. Должны найти широкое применение различные технологии аккумуляции теплоты. Так, в Дании уже используются технологии регулирования режимов работы ТЭЦ при помощи аккумуляторов тепловой энергии с интеграцией в СЦТ теплонасосных станций большой мощности и привлечением ТЭЦ различной мощности к стабилизации режимов электросистемы, причём установки на базе двигателей внутреннего сгорания работают регуляторами для поддержания частоты в энергосистеме, могут включаться в работу на время до 30 секунд.

*Пятое* — СЦТ должны быть привлекательными с точки зрения стоимости энергии, а также возможности привлечения стратегического финансирования для будущего развития.

### Основные задачи развития СЦТ

Таким образом, обращаясь к проблеме прогнозирования и планирования развития СЦТ, можно рассмотреть два подхода: стратегический и тактический.

В стратегическом разрезе следует исходить из методологии системных исследований [1], рассматривая развитие СЦТ во взаимосвязи с другими элементами энергетического комплекса (ЭК). Основные задачи, связанные с оптимизацией развития СЦТ, группируются на четырёх иерархических уровнях:

- ♦ топливно-энергетический комплекс страны (ТЭК);
- ♦ электроэнергетическая система (ЭЭС);
- ♦ система теплоснабжения города или промышленного центра;
- ♦ источники теплоты с присоединёнными тепловыми сетями.

На первом уровне оптимизации масштаб развития централизованного теплоснабжения в стране и в отдельных крупных регионах должен быть увязан с вопросами развития ТЭК и определены границы их взаимного влияния. Большая часть задач на этом уровне должна решаться с перспективой на 20–30 лет. На втором уровне решаются задачи по определению генерирующих мощностей и режимов

эксплуатации СЦТ с учётом требований ЭЭС на перспективу 10–15 лет. На третьем уровне решаются задачи выбора стратегии оптимального развития СЦТ, включающие определение объёмов реконструкции или модернизации в части отдельных ИТ и топологии развития теплотрасс и режимных параметров тепловых сетей. При этом развитие системы теплоснабжения города (промышленного центра) оптимизируется на перспективу 10–15 лет. Четвёртый уровень включает оптимизацию отдельных элементов системы теплоснабжения при заданных связях СЦТ с ЭЭС и другими внешними системами. В рамках сложившихся СЦТ рассматриваются конкретные варианты модернизации ИТ и тепловых сетей. Вследствие существенного взаимного влияния результатов решений задач разных иерархических уровней необходимо обеспечить их итерационное взаимодействие.

Решение тактических задач (что более вероятно и реально в современных условиях ввиду ограничений финансирования развития и модернизации СЦТ) методологически следует рассматривать в плоскости модернизации существующих систем на региональном уровне с учётом интересов электроэнергетики. В этом случае в зависимости от размеров (мощности) СЦТ можно разделить на две основные группы:

- ♦ локальные системы с районными котельными или мини-ТЭЦ в качестве ИТ;
- ♦ распределённые системы с несколькими ИТ в виде ТЭЦ, пиковых и (или) районных котельных.

Первые характеризуются сравнительно небольшой протяжённостью тепловых сетей, построенных по древовидной структуре. Для них очередными задачами совершенствования является повышение эффективности технологий выработки и транспорта тепловой энергии, что может решаться в рамках внедрения АСУ ТП. Оно в отношении локальных систем требует сравнительно небольших затрат, но позволяет значительно повысить эффективность функционирования СЦТ за счёт повышения качества управления и эксплуатации. При этом появляется возможность организации системы диагностики оборудования путём статистического анализа информации, поступающей от АСУ ТП, и имитационного моделирования для прогнозирования работы энергетического оборудования. Дальнейшее развитие локальных систем теплоснабжения следует рассматривать как их интеграцию в единую систему

теплоснабжения города с организацией поперечных связей по транспорту теплоносителя и портов для приёма тепловой энергии от промышленных и коммунальных предприятий. Это позволит решать оптимизационные задачи по загрузке энергетического оборудования в разрезе всего города и максимально использовать возможности по утилизации побочных энергетических и материальных ресурсов.

Для больших распределённых систем с несколькими ИТ основной задачей является оптимизация структуры тепловой сети. Традиционным решением на постсоветском пространстве для таких СЦТ, как указывалось выше, остаётся также древовидная структура с ТЭЦ в корневой вершине, далее — магистральная сеть теплопроводов с разветвлениями к пиковым котельным, к которым подключались распределительные тепловые сети до ЦТП, с последующими квартальными сетями до ИТП потребителей. К распределительным сетям также подключались заводские теплопункты, если к ним не планировались паровые теплопроводы, и в ряде случаев могли присоединяться ответвления к ИТП с независимой схемой подключения. Для повышения надёжности теплоснабжения делались транспортные переключки на случай аварий магистральных теплотрасс. Объединение в сеть нескольких ТЭЦ обычно не практиковалось. При такой структуре аварии на магистральных и распределительных теплопроводах могли приводить к отключению большого числа потребителей. Плановая замена участков теплопроводов или их модернизация в этом случае требует прокладки дополнительных трубопроводов по временной схеме. Как отмечалось, в своё время были разработаны технические решения по построению тепловых сетей с ГТП и их закольцовкой. Сегодня эту проблему на практике решают путём установки соответствующих переключек между магистралями. Другим решением, которое было применено в ряде городов при модернизации СЦТ с целью повышения их надёжности, являлось дублирование теплоисточников путём размещения в конце зоны распределительных сетей дополнительных ИТ малой мощности. Это решение заманчиво с точки зрения появления БелАЭС. Оно позволяет устанавливать на дополнительных ИТ теплоаккумуляторы и электродкотлы и использовать их и для стабилизации графика потребления электроэнергии. Очевидно, что на практике целесообразно использовать оба указанных технических решения. При этом мы приходим к возможности и необходимости модернизации ЦТП и ИТП прямого подключения, делая

их «гибридными», то есть придавая им дополнительные опции: генерации тепловой энергии, включая электронагрев и трансформацию низкопотенциальной теплоты, аккумуляирования тепловой энергии, утилизации побочных энергетических потоков. Более того, в этом случае появляются дополнительные возможности по снижению температуры обратной сетевой воды, поступающей на ИТ верхнего уровня. Между тем эта опция может остаться и за пиковыми котельными при оснащении их электродкотлами и тепловыми насосами. Очевидно, что в этом случае не менее, а даже более актуальным, чем в локальных сетях, является создание порталов для приёма тепловой энергии, получаемой в результате утилизации побочных потоков на промышленных предприятиях.

Параллельно с оптимизацией структуры тепловых сетей и размещением в ней дополнительных элементов должны решаться вопросы технической возможности оптимизации режимов работы ИТ, в первую очередь загрузки энергетических мощностей по критерию минимизации затрат в энергосистеме в целом, и оптимизации режимов транспорта теплоносителя. Эта задача не может эффективно решаться без достоверной информации, получаемой с нижнего уровня АСУ ТП, поэтому её внедрение в рамках всего комплекса СЦТ, как и в первом случае, является первоочередной задачей.

В заключение следует отметить, что ключевым моментом в современных условиях развития теплоснабжения остаётся пятый «идеологический» принцип систем теплоснабжения 4-го поколения: СЦТ должны быть привлекательны с точки зрения стоимости энергии, а также стратегического финансирования их развития. Для наших условий первый шаг — это однозначное признание тепловой энергии товаром, создание в стране условий действующим в этой области субъектам для взаимовыгодной торговли этим товаром и дальнейшего совершенствования систем теплоснабжения на базе научно-обоснованной технической политики. Тогда реально в ближайшее время получить в Беларуси СЦТ не только 4-го, но и 5-го поколения. ■

## Литература

1. Попырин, А. С. Исследование систем теплоснабжения // А. С. Попырин, К. С. Светлов, Г. М. Беляева и др. — М.: Наука, 1989. — 215 с.
2. Седнин, В. А. Теория и практика создания автоматизированных систем управления теплоснабжением / В. А. Седнин. — Мн.: Изд-во БНТУ, 2005. — 192 с.



3. Основные положения энергетической программы СССР на длительную перспективу. — М.: Политиздат, 1984. — 32 с.
4. Громов, Н. К. Городские теплофикационные системы / Н. К. Громов. — М.: Энергия, 1974. — 256 с.
5. Ионин, А. А. Надёжность систем тепловых сетей / А. А. Ионин. — М.: Стройиздат, 1989. — 302 с.
6. Монахов, Г. В. Моделирование управления режимами тепловых сетей / Г. В. Монахов, Ю. А. Войтинская. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 224 с.
7. Седнин, В. А. Алгоритм решения задачи оптимизации структуры и состава системы централизованного теплоснабжения / Седнин В. А., Седнин В. А., Шкляр И. В., Корзников А. Д. // Наука и техника. — 2013. — № 6. — С. 64–67.
8. Седнин, В. А. Внедрение АСУ ТП как основополагающий фактор повышения надёжности и эффективности систем теплоснабжения // Технология, оборудование, качество. Сб. матер. Белорусского промышленного форума 2007., Минск, 15–18 мая 2007 г. / Экспофорум. — Мн., 2007. — С. 121, 122.
9. Седнин, В. А. Оптимизация параметров температурного графика отпуска теплоты в теплофикационных системах / В. А. Седнин, А. В. Седнин, М. Л. Богданович // Изв. вузов. Энергетика. — 2009. — № 4. — С. 55–61.
10. Седнин, В. А. Концепция создания автоматизированной системы управления технологическими процессами Минских тепловых сетей / В. А. Седнин, А. В. Седнин, Е. О. Воронов // Повышение эффективности энергетического оборудования: Материалы научно-практической конференции, в 2 т. Т. 2. — 2012. — С. 481–500.
11. Седнин, В. А. Оптимизация параметров температурного графика отпуска теплоты в теплофикационных системах / В. А. Седнин, А. В. Седнин, М. Л. Богданович // Изв. вузов. Энергетика. — 2009. — № 4. — С. 55–61.
12. H. Lund, 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems / S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hvelplund, B. V. Mathiesen // Energy 68. — 2014. — С. 1–11.
13. T. Nuytten, Flexibility of a combined heat and power system with thermal energy storage for district heating / B. Claesens, K. Paredis, J. Van Bael, D. Six // Applied Energy. — 2013. — С. 83–91.