

УДК 621.311.1

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ© 2023 г. Е. Е. Бойко¹, Ф. Л. Бык², П. В. Илюшин¹, *, Л. С. Мышкина²¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт энергетических исследований Российской академии наук, Москва, Россия²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

*e-mail: ilyushin.pv@mail.ru

Поступила в редакцию 14.03.2023 г.

После доработки 18.04.2023 г.

Принята к публикации 21.04.2023 г.

Выполнен комплексный анализ систем теплоснабжения муниципальных образований с позиций надежности, экономичности и экологичности. Установлено, что наиболее слабым звеном в системах теплоснабжения с позиций надежности являются тепловые сети, где происходит основное число аварий, сопровождающихся прерыванием поставок тепловой энергии. Основой экономичности являются стоимость и доступность используемых первичных энергоресурсов, энергетическая эффективность технологий их преобразования в полезные виды энергии, а также величина потерь при передаче тепловой энергии до теплоприемников. Экологичность определяется объемом вредных выбросов при производстве и передаче теплоносителя. Авторами предложены способы улучшения перечисленных свойств систем теплоснабжения, что особенно актуально для малых, средних и больших городов, где основой систем теплоснабжения являются котельные. Показано, что включение когенерационных источников в состав систем теплоснабжения, способствует росту их энергоэффективности, а размещение пиковых источников тепловой энергии в непосредственной близости от теплоприемников позволяет снизить тепловые потери и повысить безотказность тепловых сетей. С ростом доступности электроэнергии возникают предпосылки для применения электрод котлов и электробойлеров в качестве пиковых источников тепловой энергии. Предложенные изменения необходимо предусматривать в Схемах теплоснабжения, разрабатываемых органами муниципального самоуправления, которым следует оказать поддержку со стороны экспертного сообщества для повышения инвестиционной привлекательности теплоэнергетики.

Ключевые слова: система теплоснабжения, источник тепловой энергии, когенерационный источник, тепловая сеть, надежность, гибкость, энергетическая эффективность, экологичность

DOI: 10.31857/S0002331023040040, EDN: YKHQHW

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность систем теплоснабжения определяется основными свойствами, отражающими энергетическую, экономическую и экологическую природу процессов производства, передачи и потребления тепловой энергии. Гармонизация этой триады позволяет обеспечить ресурсную, экономическую и технологическую допустимость теплоэнергетики. Достигается это за счет принятия основных решений при построении системы теплоснабжения на основании данных о доступных видах первичных энергоресурсов, теплоносителей, источников тепловой энергии, а также систем регу-

лирования отпуска и передачи тепла, обеспечивающих при изменениях внешних условий и внутренних факторов согласованное функционирование элементов системы.

В мире имеется определенный опыт в создании систем теплоснабжения, использующих различные первичные энергоресурсы и технологии получения тепловой энергии. Универсального решения по созданию эффективной системы теплоснабжения нет и не может быть из-за существенных отличий климатических зон, обеспеченности первичными энергоресурсами, а также наличия факторов, определяющих техническую политику в области удовлетворения потребителей в тепловой энергии.

В России имеются различные системы теплоснабжения, однако в населенных пунктах с высокой концентрацией тепловых нагрузок наибольшее распространение получили системы централизованного теплоснабжения. В этих системах производство тепловой энергии осуществляется на источниках, использующих в основном органическое топливо, а теплоносителем служит пар или вода. Повышение их эффективности является одной из приоритетных задач государственной политики Российской Федерации, что отражено в Федеральном законе от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергоэффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», а также государственной программе Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 321. Основные цели Государственной программы состоят в достижении:

- повышения эффективности обеспечения потребностей внутреннего рынка Российской Федерации соответствующими объемами производства продукции и услуг отраслей топливно-энергетического комплекса;
- повышения инвестиционной активности в отраслях топливно-энергетического комплекса;
- уменьшения негативного воздействия отраслей топливно-энергетического комплекса на окружающую среду и адаптацию их к изменениям климата.

Применительно к системам теплоснабжения это должно проявляться в росте надежности и качества теплоснабжения, повышении инвестиционной привлекательности теплоэнергетики, экономической доступности тепловой энергии, а также сокращении вредных выбросов в окружающую среду при ее производстве, передаче и потреблении. С позиций системного подхода система теплоснабжения является сложным техническим объектом, включающим в себя три основных элемента, выполняющие указанные функции. В Федеральном законе «О теплоснабжении» от 27.07.2010 № 190-ФЗ дано определение системы теплоснабжения, как совокупности источников тепловой энергии и теплопотребляющих установок, технологически соединенных тепловыми сетями. Следует отметить, что чем эффективнее реализуется каждая из перечисленных функций, тем более эффективна система теплоснабжения в целом.

Основными показателями, указывающими на эффективность источников тепловой энергии, являются: коэффициент полезного использования топлива (КПИТ) и коэффициент использования установленной тепловой мощности (КИУМ). Кроме того, еще одной характеристикой для когенерационных источников является коэффициент полезного действия (КПД) используемой технологии для выработки электроэнергии. Показателями, характеризующими тепловые сети, является их аварийность, тепловые потери и расход энергии на транспорт теплоносителя, который пропорционален протяженности трубопроводов. Эффективность тепловых сетей во многом определяется рельефом местности, диаметром трубопроводов и возможностями регулировать гидравлический и термодинамический режим работы при изменении топологии сети. Эффективность теплопотребляющих установок характеризуется потерями при потреблении тепловой энергии, которая зависит от реализуемых мер по энергосбережению. В этой части важную роль играет наличие приборов учета потребляемой тепловой энергии, погодозависимого регулирования в системах отопления, вентиля-

ции и горячего водоснабжения, а также средств поддержания постоянства перепада давления и других, предназначенных для автоматического регулирования теплоотдачи отопительных приборов.

Решение указанного комплекса технических, экономических и экологических задач является предметом разработки “Схем теплоснабжения муниципальных образований” (СТ), в составе которых должны приниматься основные решения, направленные на повышение эффективности систем теплоснабжения. Если в городах с численностью более 500 тыс. человек СТ проходят экспертизу и утверждение в Минэнерго России, то для остальных городов такая процедура не предусмотрена. В этих условиях наиболее остро стоит вопрос повышения эффективности систем теплоснабжения в малых, средних и больших городах. Помимо принятия основных технических решений в СТ должны быть предусмотрены способы их реализации, включая создание благоприятных условий для привлечения инвестиций в требуемых объемах. В этом вопросе важнейшим показателем является срок окупаемости инвестиций при определенной норме доходности в сочетании с сохранением приемлемых цен на тепловую энергию для потребителей.

Объектом исследования является система теплоснабжения муниципального образования. Предметом исследования – перечень мероприятий, направленных на повышение их эффективности. Основная гипотеза состоит в том, что повышение эффективности систем теплоснабжения возможно за счет внесения изменений в состав источников тепловой энергии, а также размещения пиковых источников вблизи теплоприемников для облегчения режима работы тепловых сетей.

Целью исследования является проведение системного анализа эффективности систем теплоснабжения муниципальных образований и мероприятий по ее повышению. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ энергоэффективности производства тепловой энергии;
- анализ аварийности и потерь в тепловых сетях;
- исследование способов повышения гибкости теплоснабжения и влияния перехода на применение электрокотлов и электробойлеров в качестве пиковых источников тепловой энергии.

В результате были разработаны предложения по повышению энергоэффективности производства тепловой энергии, снижению частоты отказов систем теплоснабжения и потерь при транспортировке теплоносителя, а также снижению величины прямых и косвенных выбросов. Сформулированные предложения предназначены для учета при разработке “Схем теплоснабжения муниципальных образований” с целью повышения гибкости систем теплоснабжения за счет взаимозаменяемости видов топлива, энергии и источников тепловой энергии.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Согласно информационно-аналитическому докладу [1] в России на текущий момент функционирует около 600 тепловых электростанций и свыше 76.5 тыс. отопительных котельных. Источники тепловой энергии в сумме вырабатывают около 1221.4 млн Гкал [2] и обеспечивают тепловой энергией потребителей, которыми примерно в равных долях является промышленность и население.

Потребность в тепловой мощности (Q) с учетом климатических и других особенностей России в 2.5–5 раз выше, чем в электрической (P), и варьируется в зависимости от федерального округа. Соотношение потребности в тепловой (WQ) и электрической (WP) энергии по федеральным округам России изменяется в диапазоне от 0.5 до 1.9, как показано на рис. 1 (ЦФО – Центральный федеральный округ, СЗФО – Северо-Западный, ЮФО – Южный, СКФО – Северо-Кавказский, УФО – Уральский, СФО – Сибирский).

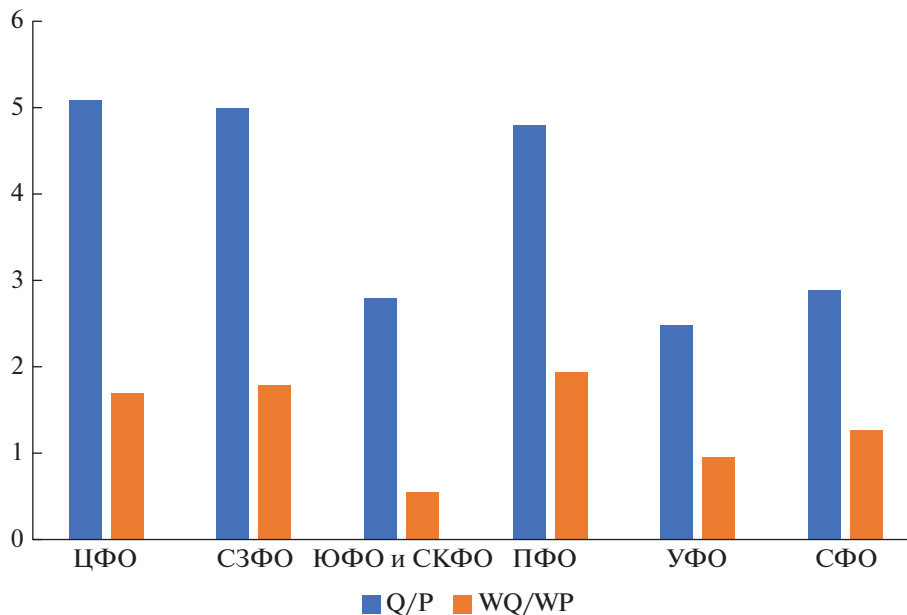


Рис. 1. Соотношение установленных мощностей и выработки тепловой и электрической энергии по федеральным округам.

Общеизвестно, что производство тепловой энергии на когенерационных источниках отличается более высокой энергоэффективностью, чем при раздельном производстве энергии с использованием углеводородного топлива. Поэтому в крупных и крупнейших городах доминирующими источниками тепловой энергии являются ТЭЦ с паросиловыми установками (ТЭЦ-ПСУ). В регионах со стабильным газоснабжением и большим спросом на тепловую энергию возможно проведение модернизации существующих ТЭЦ-ПСУ с применением газотурбинных установок (ГТУ) и их преобразование в ТЭЦ-ГТУ. Примеры такой модернизации известны. Отдельно следует отметить ТЭЦ на базе парогазовых установок (ПГУ), отличающихся высоким электрическим КПД около 55–60%.

В общей сложности с ТЭЦ отпускается около 60% тепловой энергии [3]. Наличие ТЭЦ позволяет муниципальным образованиям добиться решения поставленной в “Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г.” задачи — формирование эффективных рынков теплоснабжения с приоритетом когенерационных источников при соблюдении баланса интересов хозяйствующих субъектов и потребителей. Котельные в этих населенных пунктах выполняют функции аварийных и пиковых источников тепла в зоне действия ТЭЦ, хотя обладают более высокими КПИТ, при этом их КИУМ существенно ниже, чем на ТЭЦ, работающих в теплофикационном режиме (рис. 2).

Котельные являются основными источниками тепловой энергии в малых, средних и больших городах, где они служат основой коммунальной системы теплоснабжения и горячего водоснабжения. Кроме того, котельные, выполняющие функции основного источника тепловой энергии, располагаются в удаленных районах крупных и крупнейших городов на территориях, за пределами радиуса эффективного теплоснабжения ТЭЦ.

По действующим правилам вся вырабатываемая на ТЭЦ электроэнергия поставляется на оптовый рынок электрической энергии и мощности (ОРЭМ) [4–6], что лиша-

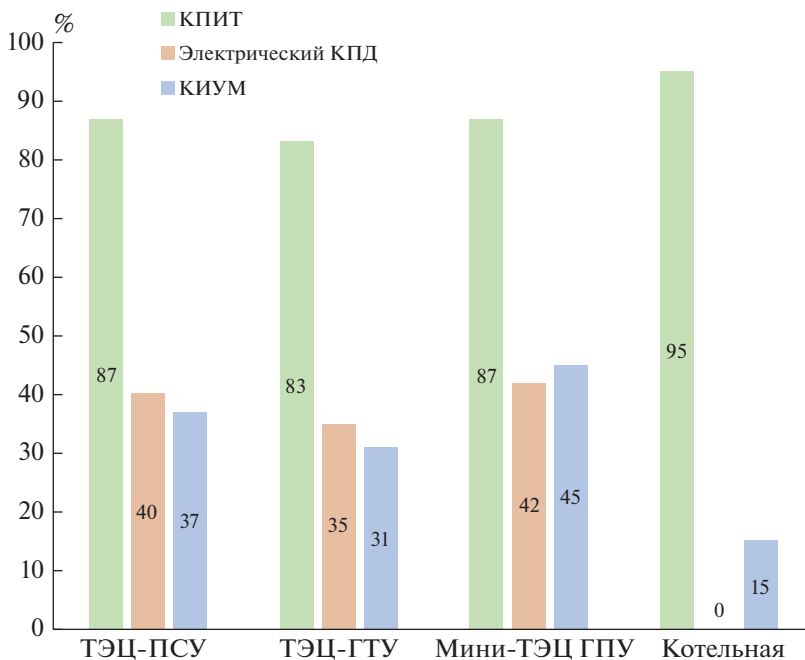


Рис. 2. Эффективность производства энергии на различных теплоисточниках.

ет городскую коммунальную инфраструктуру источников, производящих электроэнергию на их территории. Учитывая долю ТЭЦ в структуре генерирующих мощностей, можно считать, что около 30% электроэнергии в ЕЭС России вырабатывается на ТЭЦ в теплофикационном режиме. Наличие в городах мини-ТЭЦ электрической мощностью до 25 МВт, работающих на розничном рынке электроэнергии, позволяет включать их в состав коммунальной энергетической инфраструктуры для обеспечения потребителей тепловой и электрической энергией непосредственно от этих источников.

Такие проектные решения уже реализованы во Владивостоке, где необходимость мини-ТЭЦ была обоснована особенностью местоположения и наличием островных и полуостровных территорий с затрудненным технологическим присоединением к системе теплоснабжения города [7]. В Новосибирске был реализован проект мини-ТЭЦ “Березовая” на базе газопоршневых установок, строительство которой было обосновано как экономически более эффективное решение, в сравнении с технологическим присоединением к имеющимся тепловым и электрическим сетям. Подобные проекты реализованы в городах Москва, Санкт-Петербург, Казань, Южно-Сахалинск и др.

Анализ СТ показал, что такие решения практически не рассматриваются в малых, средних и больших муниципальных образованиях, где программы развития систем теплоснабжения разрабатываются доминирующими субъектами и направлены исключительно на достижение собственных бизнес-интересов. Такой подход к управлению развитием систем теплоснабжения во многом не учитывает положения “Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г.” [8], направленные на повышение эффективности производства энергии. В итоге в большинстве населенных пунктов разработчиками схем централизованного теплоснабжения выступают доминирующие собственники источников тепловой энергии, являющиеся монополистами, которые препятствуют развитию конкуренции на рынке тепловой энергии. Поэтому в СТ закладываются решения, соответствующие их технической политике и



Рис. 3. Корреляция между отказами в тепловых сетях, выявленными в период испытаний и в отопительный период в г. Новокузнецк за 2017–2021 гг.

бизнес-интересам. По существу СТ городов реализуют бизнес-план доминирующего субъекта, где повышение энергетической эффективности уступает место целям по получению максимальных доходов, что снижает экономическую доступность тепловой энергии для потребителей.

Не обладая достаточными финансовыми и кадровыми ресурсами, а зачастую не имея альтернатив и поддержки со стороны субъектов РФ, муниципальные власти в малых, средних и больших городах вынуждены поддерживать процесс котельнизации, что приводит к низкой энергетической эффективности производства тепловой энергии.

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Суммарная протяженность магистральных трубопроводов в России составляет более 250 тыс. км. При этом их техническое состояние оценивается как неудовлетворительное, о чем свидетельствует анализ раздела “Надежность теплоснабжения” главы 1 и главы “Оценка надежности теплоснабжения” СТ различных муниципальных образований.

В “Схеме теплоснабжения в административных границах города Новокузнецк на период до 2032 г. (актуализация на 2023 г.)” представлена статистика отказов в тепловых сетях за период с 2017 по 2021 гг. На рис. 3 показана взаимосвязь между числом отказов, выявленных в ходе испытаний, и отказов в отопительный период. Очевидно, что отказы в отопительный период имеют более негативные последствия для потребителей, чем в межотопительный период, следовательно отказам в отопительный период должно уделяться особое внимание (рис. 3).

В “Схеме теплоснабжения г. Новосибирска на период до 2033 г. (актуализация на 2023 г.)” показан рост числа отказов как в магистральных, так и внутриквартальных

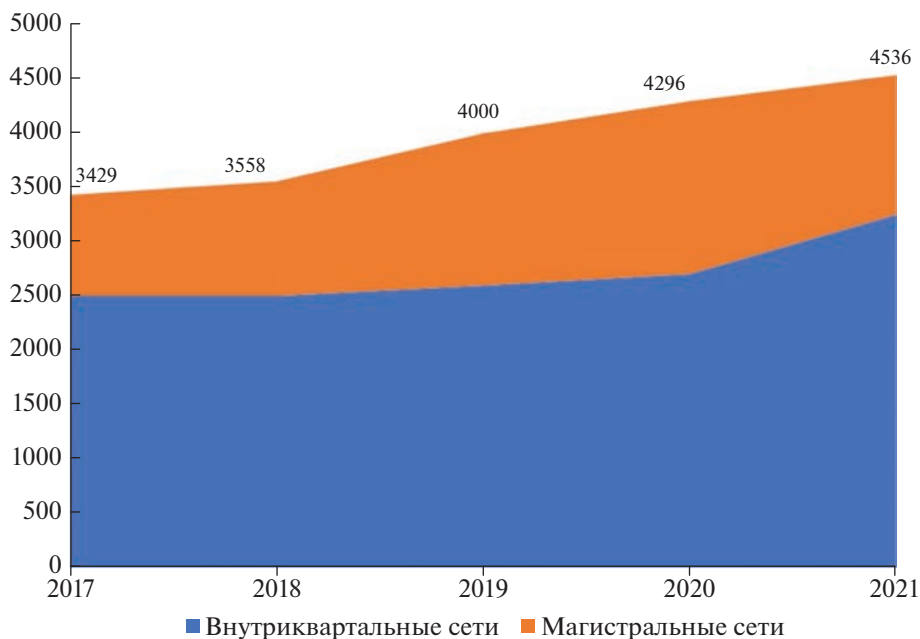


Рис. 4. Динамика отказов на тепловых сетях доминирующего субъекта теплоснабжения.

сетях. В качестве основной причины аварий указан коррозионный износ трубопроводов (рис. 4).

Ежегодный рост числа отказов составляет около 10%, что в последние годы вызывает беспокойство состоянием внутриквартальных тепловых сетей, находящихся в основном в собственности муниципалитета. Этим объясняется заинтересованность муниципалитета передать эти сети в концессию ООО «НТСК», которым владеет ООО «СГК». По факту заключения концессионного соглашения собственник будет распоряжаться не только основными ТЭЦ и крупными котельными, но и всеми магистральными и значительной частью внутриквартальных тепловых сетей г. Новосибирска. По существу, контроль и управление функционированием системы теплоснабжения перейдет в руки одного монополиста, имеющего цель — получение максимальных доходов на рынке тепловой энергии.

Для повышения бесперебойности работы тепловых сетей необходимо реализовывать комплекс мероприятий, включающий техническое диагностирование, экспертизу промышленной безопасности, механические испытания и химический анализ состава металла трубопроводов тепловых сетей, тепловизионная инфракрасная съемка, после чего принимается решение о капитальном ремонте отдельных участков. Наиболее капиталоемким мероприятием является замена трубопроводов. Учитывая большую протяженность тепловых сетей в черте городской застройки, это не только дорогостоящее, но и продолжительное по времени мероприятие, сопровождающееся трудностями с организацией дорожного движения в период проведения работ, а также вредными выбросами в окружающую среду и другими негативными последствиями. Однако при хроническом недофинансировании есть все основания утверждать, что тепловые сети с позиций бесперебойности теплоснабжения являются наиболее слабым звеном, и важно найти решение по облегчению режима их работы.

Еще одним способом повышения надежности тепловых сетей является резервирование отдельных участков путем установки перемычек между трубопроводами со схо-

жими гидравлическими режимами. Так в системе теплоснабжения г. Новосибирска эти перемены позволяют поддерживать работоспособное состояние тепловых сетей в системе централизованного теплоснабжения от четырех ТЭЦ в течение 35 ч.

Анализ СТ таких городов как Новокузнецк, Канск и других позволил выявить отсутствие в планах мероприятий по резервированию трубопроводов тепловых сетей. Более того, в некоторых городах зафиксированы случаи разукрупнения систем теплоснабжения с ликвидацией переключек между тепловыми сетями (например, г. Кемерово) в интересах доминирующего субъекта теплоснабжения, ограничивающего таким образом поставку тепловой энергии от других источников в свою зону действия.

Низкая надежность трубопроводов в системах теплоснабжения становятся причинами крупных коммунальных аварий. В январе 2023 г. из-за прорыва трубопроводов без отопления остались селитебные зоны г. Хабаровск. А в конце 2022 г. ряд крупных аварий произошел в городах Новосибирск и Курск [9–11]. Большинство аварий происходит в период резкого понижения температур, что обусловлено размещением резервных и пиковых котельных в непосредственной близости от теплотрасс для отпуска тепла в общую тепловую сеть. Это сопровождается увеличением гидравлической нагрузки на тепловую сеть, что приводит к росту количества отказов и отключению потребителей, особенно на трубопроводах с высоким уровнем коррозионного износа.

Причинами технологических нарушений также является наличие пиковых водогрейных котельных для поддержания необходимых параметров теплоносителя в системах теплоснабжения. Эти котельные оказывают существенное влияние на режимы работы тепловой сети. Возникающие скачки скорости теплоносителя в тепловых сетях (свыше 3.5 м/с) с высокой температурой теплоносителя могут приводить к гидроударам. Ситуация усугубляется неудовлетворительным техническим состоянием запорной арматуры в тепловых камерах, а также отсутствием квалифицированного ремонтного персонала, осуществляющего восстановление трубопроводных систем.

Приведем гидравлические уравнения коэффициентов объемного сжатия (β_v) и температурного расширения (β_t) воды соответственно:

$$\beta_v = \frac{\Delta V}{V \Delta P}, \text{ Па}^{-1}, \quad (1)$$

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V \Delta t}, \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}, \quad (2)$$

где ΔP – изменение давления, Па; ΔV – изменение объема, м³; Δt – изменение температуры, $^{\circ}\text{C}$;

Из уравнений (1) и (2) следует, что при повышении разницы температур (Δt) наблюдается дополнительный рост разницы давления (ΔP). Анализ механических свойств материалов трубопроводов показывает, что при росте температуры и давления их механические свойства снижаются. Это подтверждается результатами расследования причин крупных коммунальных аварий с повреждением трубопроводов тепловых сетей.

Наглядным примером служит авария в г. Искитим, произошедшая 10 декабря 2022 г. Последствия гидроудара оставили без теплоснабжения 168 потребителей коммунальной, индивидуальной и муниципальной инфраструктуры [12]. Аналогичная ситуация была зафиксирована в г. Новосибирск [13], где в период с конца ноября по начало декабря 2022 г. произошли 3 крупные коммунальные аварии с нарушением теплоснабжения 146 жилых домов и 15 социальных объектов.

Особую роль в возникновении и развитии коммунальных аварий играют прерывания электроснабжения двигателей различных насосов, заслонок, задвижек, запорной арматуры и другого оборудования на котельных и в тепловых сетях. Внешнее электроснабжение указанных объектов часто не соответствует требованиям к электроснабжению электроприемников второй категории надежности, что недопустимо.

Таблица 1. Тарифы на тепловую энергию в системах теплоснабжения г. Кемерово (2022 г.)

№ п/п	Источники тепловой энергии	Тариф, руб./Гкал
1.	Источники доминирующего субъекта теплоснабжения	3149.09
2.	Источники теплоснабжения остальных субъектов теплоснабжения	2171.52–2234.69

ПОТЕРИ И ДОСТУПНОСТЬ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Большие потери тепловой энергии при ее передаче снижают эффективность систем теплоснабжения даже в городах, где производство тепловой энергии осуществляется на источниках, использующих когенерационные технологии. Для компенсации потерь осуществляется сжигание дополнительного количества топлива с целью обеспечения требуемых параметров температуры и давления теплоносителя, что приводит к росту вредных выбросов и ухудшению экологической обстановки.

Так в г. Новосибирск суммарный объем выбросов вредных веществ в атмосферу от источников тепловой энергии в 2020 г. по сравнению с 2019 г. увеличился на 13.7% и составил 253.6 тыс. т, что составляет около 40% от всех выбросов. Во многом это обусловлено большими потерями в тепловых сетях г. Новосибирска. Они достигли 33% в зоне действия ТЭЦ, однако утвержденной в 2023 г. “Схемой теплоснабжения” предусмотрены мероприятия по переключения потребителей с котельных на ТЭЦ, что приведет к увеличению их радиуса теплоснабжения и росту нагрузки на тепловую сеть.

Это соответствует бизнес-интересам доминирующего субъекта, но с большой вероятностью приведет к росту числа аварий и потерь в тепловых сетях. При этом в зоне действия мини-ТЭЦ “Березовая”, находящейся в непосредственной близости от теплоприемников, потери тепловой энергии не превышают 6%, как показано в Главе 1 раздела 6.2 “Схемы теплоснабжения г. Новосибирска до 2033 г. (актуализация на 2023 г.)”.

В соответствии с правилами затраты, связанные с потерями при транспортировке тепловой энергии, включаются в тарифы на тепловую энергию, снижая для потребителей доступность теплоснабжения от энергоэффективных источников. Разукрупнение систем теплоснабжения, как было отмечено выше, также снижает доступность и надежность теплоснабжения потребителей. Стремление получить максимальные доходы за счет разукрупнения систем теплоснабжения покажем на примере г. Кемерово (табл. 1).

В Новосибирске с переходом в ценовую зону 1 июля 2022 г. рост тарифа на тепло составил 11.9% по сравнению с 1 кварталом 2022 г. [20], хотя со стороны субъекта теплоснабжения были выделены финансовые средства на ремонт тепловых сетей. Однако при этом выросли неплатежи со стороны населения, что с большой вероятностью приведет к сокращению затрат на капитальные ремонты в следующие периоды.

Снижение доступности тепловой энергии из-за роста тарифа оборачивается ростом неплатежей и нарастанием социальной напряженности во многих городах России. Так по состоянию на I квартал 2022 г. долги потребителей за тепловую энергию во всех регионах России суммарно составили около 315 млрд руб. [14]. При этом крупнейшие регионы Сибири вошли в топ-4 среди должников за тепловую энергию, чей долг составил около 6% от общего долга потребителей России (рис. 5).

Рост неплатежей за потребляемую тепловую энергию — это важный сигнал, указывающий на диспропорции в теплоэнергетике, обусловленные снижением эффективности централизованного теплоснабжения и нарастанием противоречий между потребителями и теплоснабжающими организациями. Задачей органов муниципального самоуправления является снижение остроты этих противоречий для сохранения и

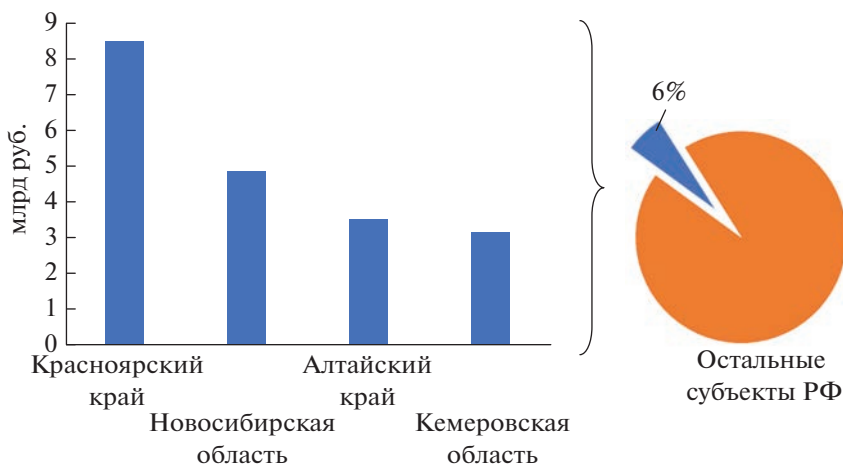


Рис. 5. Распределение долгов потребителей тепловой энергии.

развития систем теплоснабжения. Этого невозможно достичь без привлечения инвестиций в коммунальную энергетическую инфраструктуру для ее модернизации с применением наилучших доступных технологий в производстве и передаче тепловой энергии.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ГИБКОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Сложившееся положение в теплоэнергетике требует пересмотра существующего порядка управления развитием систем теплоснабжения в муниципальных образованиях. Особое внимание следует уделить малым, средним и большим городам, где с целью повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения необходимо включение в их состав источников тепловой энергии на базе когенерационной технологии.

Появление мини-ТЭЦ в составе городской коммунальной инфраструктуры позволит снизить для населения темпы роста тарифа на тепловую энергию, а для прочих потребителей темпы роста стоимости электрической энергии. При этом в муниципальных образованиях возникнут благоприятные условия для социально-экономического развития, что наиболее важно для городов со статусом территорий опережающего развития. Основой для создания мини-ТЭЦ могут служить средние и крупные котельные, работающие на природном трубопроводном или сжиженном газе, являющиеся доминирующим источником тепловой энергии и мощности в населенных пунктах или удаленных жилых микрорайонах. Модернизация этих котельных с применением когенерационных установок позволит повысить энергетическую эффективность, а также надежность электроснабжения собственных нужд и электроприемников, работающих в составе тепловых сетей. Это станет возможным благодаря появлению второго независимого источника электроснабжения — генераторов мини-ТЭЦ.

Наиболее перспективными из когенерационных установок являются газопоршневые установки и пароводяные винтовые турбины. Использование последних целесообразно на промышленных котельных, отпускающих пар для технологических процессов предприятий различных отраслей экономики. Опыт эксплуатации газопоршневых установок в отличие от газотурбинных показал их достаточную маневренность без существенного снижения электрического КПД, который выше, чем у паросиловых установок, установленных на ТЭЦ. Однако их работа с переменным графиком нагрузки электроприемников в зоне действия мини-ТЭЦ требует установки маневрен-

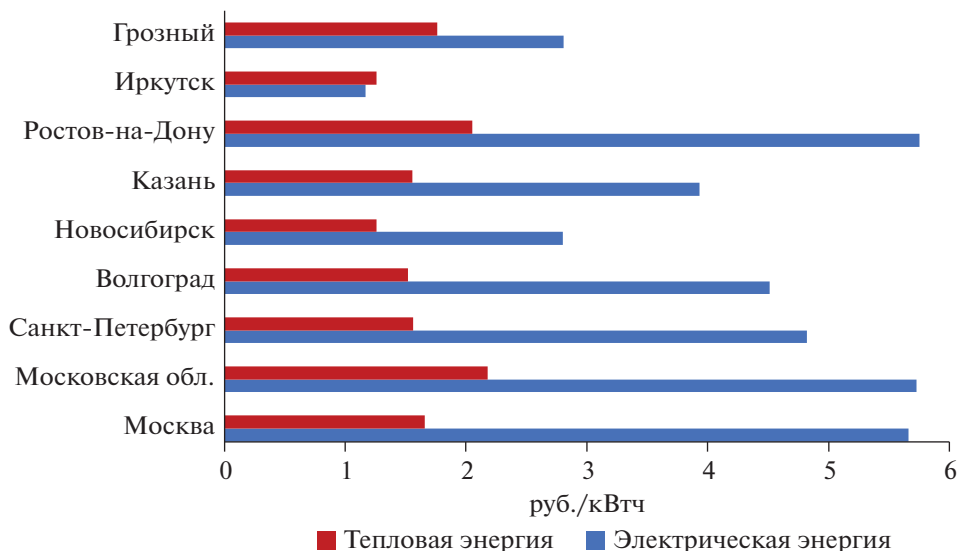


Рис. 6. Стоимость электрической и тепловой энергии для населения на единицу энергии в муниципальных образованиях РФ.

ного котельного оборудования, обеспечивающего постоянство отпуска тепловой энергии. Последнее требует оснащения мини-ТЭЦ котлами с горелками с широким диапазоном регулирования производства тепла.

Наличие мини-ТЭЦ в составе коммунальной энергетической инфраструктуры является обязательным условием для перехода в ценовую зону [15], а также открывает возможности для привлечения инвестиций в реконструкцию физически изношенных и морально устаревших тепловых сетей, с переходом на закрытую систему теплоснабжения.

Что касается технологий, применяемых на аварийных и пиковых источниках тепла, то наличие дополнительной выработки электроэнергии на мини-ТЭЦ позволит применять для этих целей электродкотлы и электробойлеры без наращивания дефицита электроэнергии в малых, средних и больших городах. Источники тепловой энергии, использующие электроэнергию в качестве первичного энергоресурса, относятся к экологически безопасным, однако высокая стоимость электроэнергии сдерживает их массовое использование. Согласно статистическим данным стоимость электроэнергии в большинстве городов России существенно выше тарифа на тепловую энергию (рис. 6).

Из данных, приведенных на рис. 6, можно сделать вывод, что экономическая целесообразность применения электродкотлов и электробойлеров существует только в Иркутской области. Однако следует учесть, что срок окупаемости мини-ТЭЦ, обеспечивающих электроснабжение населения по утвержденному в субъектах РФ тарифу, не превышает 7 лет с доходностью 12%. Очевидна инвестиционная привлекательность мини-ТЭЦ, если для аварийных и пиковых источников тепловой энергии будет установлен специальный тариф на электроэнергию. Фактически населению предлагается отказаться от индивидуальных отопительных и водогрейных приборов и перейти на использование коллективного оборудования, установленного в подъездах и домах.

Наличие разветвленной электрической сети и универсальность электроэнергии обуславливают привлекательность применения электродкотлов и электробойлеров, установка которых вблизи потребителей позволит снизить нагрузку на тепловые сети при резком и кратковременном снижении температуры. Это позволит снизить число

аварий на теплотрассах, что крайне важно, а также повысить управляемость и гибкость систем теплоснабжения за счет взаимозаменяемости одних источников тепловой энергии другими, использующими различные первичные энергоресурсы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение эффективности систем теплоснабжения муниципальных образований требует системного подхода к решению комплекса проблем, включая изменение порядка разработки и проведения экспертизы “Схем теплоснабжения муниципальных образований” в первую очередь городов с населением до 500 тыс. человек.

Требуется исключить возможность лоббирования своих интересов доминирующими субъектами в ущерб интересам населения, теплоснабжение которого осуществляется в рамках оказания коммунальных услуг, ответственность за объем и качество которых возложено на органы муниципального самоуправления.

Для повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения следует предусматривать увеличение доли производства тепловой энергии на когенерационных источниках, что требует создания благоприятных условий для инвестиций в сооружение мини-ТЭЦ. Для этого достаточно предусмотреть участие мини-ТЭЦ не только на рынке тепловой энергии, но и на розничном рынке электроэнергии, что предполагает, как минимум, их присоединение к городской распределительной сети.

Высокая аварийность тепловых сетей является основной причиной прерываний теплоснабжения. Проведение ремонтов и переключений участков трубопроводов в необходимых объемах требуют значительных затрат, которые не предусмотрены в тарифе на передачу тепловой энергии. Это приводит к росту их физического износа, а, следовательно, и росту числа отказов и аварий. Требуется повысить качество проведения испытаний тепловых сетей для своевременного выявления и устранения дефектов.

Снижение аварийности в тепловых сетях возможно за счет повышения управляемости процессом передачи теплоносителя или путем изменения режима работы тепловой сети, приблизив теплоисточники к теплоприемникам для покрытия пиковых нагрузок. Это обеспечит более равномерный режим работы тепловых сетей, а также позволит снизить тепловые потери и число отказов при передаче теплоносителя.

С появлением мини-ТЭЦ, вырабатывающих электрическую энергию, становится технически допустимым и экономически доступным применение электродкотлов и электробойлеров в качестве пиковых теплоисточников. Их размещение в непосредственной близости к теплоприемникам позволит повысить гибкость систем теплоснабжения.

Необходимо проведение дальнейших исследований для доказательства состоятельности гипотезы о том, что внесение изменений в структуру теплоисточников и топологию тепловых сетей, образующих систему теплоснабжения, позволяет обеспечить комплексное решение проблемы повышения их эффективности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-30013) в Институте энергетических исследований Российской академии наук.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 14.07.2022) “Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2023).
2. Информационно-аналитический доклад о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2020 г. // <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/22832/181259> (дата обращения: 05.03.2023).
3. Дильман М.Д., Филиппов С.П. Требования к топливной эффективности перспективных когенерационных установок // Изв. РАН. Энергетика. 2017. № 5. С. 102–111.

4. Бойко Е.Е., Бык Ф.Л., Мышкина Л.С. Гибкость и энергоэффективность систем энергоснабжения // Энергетик. 2022. № 9. С. 24–28.
5. Бойко Е.Е., Бык Ф.Л., Илюшин П.В., Мышкина Л.С. Способы повышения эффективности территориальных систем энергоснабжения // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2022. Т. 65. № 4. С. 108–117.
6. Молодюк В.В. Математическая модель работы ТЭЦ на рынке электроэнергии и тепла // Энергетик. 2014. № 11. С. 12–16.
7. Схема теплоснабжения Владивостокского городского округа на период до 2036 г. (актуализация на 2023 г.).
8. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. // <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 05.03.2023).
9. Главные новости политики, экономики и бизнеса, комментарии аналитиков, финансовые данные с российских и мировых биржевых систем // <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/639093419a7947428cfa5a1a?from=newsfeed> (дата обращения: 05.03.2023).
10. Главные новости политики, экономики и бизнеса, комментарии аналитиков, финансовые данные с российских и мировых биржевых систем // https://nsk.rbc.ru/nsk/02/12/2022/638a04ed9a794777f3641870?from=from_main_11 (дата обращения: 05.03.2023).
11. РИА Новости. События в Москве, России и мире // <https://ria.ru/20230119/khabarovsk-1845868548.html> (дата обращения: 05.03.2023).
12. Главные новости политики, экономики и бизнеса, комментарии аналитиков, финансовые данные с российских и мировых биржевых систем // https://nsk.rbc.ru/nsk/12/12/2022/6396b1519a79475ad9573c89?from=from_main_5 (дата обращения: 05.03.2023).
13. Главные новости политики, экономики и бизнеса, комментарии аналитиков, финансовые данные с российских и мировых биржевых систем // https://nsk.rbc.ru/nsk/02/12/2022/638a04ed9a794777f3641870?from=from_main_11 (дата обращения: 05.03.2023).
14. Онлайн-журнал о жизни в Кузбассе // <https://sibdepo.ru/news/zhiteli-i-organizatsii-kuzbassa-zadolzhali-bolee-3-mlrd-rublej-za-teplo-i-goryachuyu-vodu.html> (дата обращения: 05.03.2023).
15. Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ (ред. от 01.05.2022) “О теплоснабжении”.

Heat Efficiency in Municipalities

E. E. Boyko^a, F. L. Byk^b, P. V. Ilyushin^{a, *}, and L. S. Myshkina^b

^a*Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

**e-mail: ilyushin.pv@mail.ru*

A complex analysis of heat supply systems from the standpoint of reliability, efficiency and environmental friendliness has been carried out. It has been revealed that in heat supply systems the weakest link in terms of reliability is heat networks. The main number of accidents accompanied by interruption of thermal energy supply occurs on them. The cost and availability are the basis for the efficiency of the primary energy resources used, including: the energy efficiency of technologies, their conversion into useful types of energy, as well as the amount of losses in the transfer of thermal energy to heat receivers. Environmental friendliness is determined by the volume of harmful emissions during the production and transmission of the heat conductor. Methods for improving the indicated properties of heat supply systems are proposed, which is especially important for small, medium and large cities, where boiler houses are the basis of heat supply systems. It is shown that the inclusion of cogeneration sources in the composition of heat supply systems contributes to the growth of their energy efficiency. Peak sources of thermal energy, located in close proximity to heat sinks, can reduce heat losses and increase the reliability of heat networks. With the increase in the availability of electricity, prerequisites arise for the use of electric boilers as peak sources of thermal energy. The proposed changes should be included in the Heat Supply Schemes developed by municipal authorities, which should be supported by the expert community in order to increase the investment attractiveness of the thermal power industry.

Keywords: heat supply system, source of thermal energy, cogeneration source, heat network, reliability, flexibility, energy efficiency, environmental friendliness