



ВЫБОР СТРУКТУРЫ ТЕПЛОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ГОРОДАХ РФ ПРИ АКТУАЛИЗАЦИИ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Е.А. Кикоть¹, Ф.Н. Газизов²

¹ООО «Невская Энергетика», г. Санкт-Петербург, Россия

²Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

eak@nevaenergy.ru

Резюме: ЦЕЛЬ. Провести анализ материалов схем теплоснабжения крупных городов России, рассмотреть влияние «котельнизации» городов при планировании развития и модернизации источников теплоснабжения. Разработать методику выбора структуры тепловой генерации городов, отличающуюся применением дополнительного критерия энергоэффективности и системой учитываемых ограничений по энергетическим балансам региона. Показать ослабление внимания к общей энергетической эффективности совокупностей источников тепловой генерации, выявить дополнительный резерв повышения энергетической эффективности теплоснабжения городов. МЕТОДЫ. При решении поставленной задачи, с применением метода сравнительного анализа рассматривались схемы теплоснабжения крупных городов Российской Федерации за последние 7-10 лет. РЕЗУЛЬТАТЫ. В статье описана актуальность темы, создана методическая база, направленная на повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения города. Предложен критерий, учитывающий различную эффективность источников и структурные эффекты, реализуемые при выборе состава работающих тепловых источников для перспективного развития городской застройки. Приведены основные положения, используемые соотношения, особенности разработанной методики. Сделан вывод о целесообразности и эффективности данных предложений при использовании данной методики. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработанная методика выбора структуры тепловой генерации апробирована при анализе схем крупных городов РФ. Эффективность на примере районов г. Нижний Новгород составила от 16,5 млн. до 180,0 млн. рублей в год.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, критерии, методика, структурный эффект, тепловой баланс, баланс электрической мощности, условия сопоставимости.

Для цитирования: Кикоть Е.А., Газизов Ф.Н. Выбор структуры тепловой генерации в городах РФ при актуализации схем теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 5. С. 71-82. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-5-71-82.

SELECTION OF THE STRUCTURE OF THERMAL GENERATION IN CITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION WHEN ACTUALIZING THE HEAT SUPPLY SCHEMES

EA. Kikot¹, FN. Gazizov²

¹LLC "NevskayaEnergetica", S-Petersburg, Russia

²Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

eak@nevaenergy.ru

Abstract: THE PURPOSE. To analyze the materials of heat supply schemes for large cities of Russia, to consider the impact of an increase in the number of boiler houses in cities when planning the development and modernization of heat supply sources. To develop a

methodology for choosing the structure of thermal generation in cities, which is distinguished by the use of an additional criterion for energy efficiency and a system of taken into account restrictions on the energy balances of the region. The weakening of attention to the overall energy efficiency of the aggregates of heat generation sources is shown, an additional reserve for increasing the energy efficiency of heat supply of cities is identified. METHODS. When solving this problem, methods of comparative analysis of the heat supply schemes of large cities of the Russian Federation over the past 7-10 years is used. RESULTS. The article describes the relevance of the topic, created a methodological base aimed at increasing the energy efficiency of heat supply systems in the city. A criterion is proposed that takes into account the different efficiency of sources and structural effects that are realized when choosing the composition of working heat sources for the prospective of urban development. The basic provisions, the relations used, the features of the developed methodology are given. A conclusion is drawn on the appropriateness and effectiveness of these proposals when testing this method. CONCLUSION. The developed method for choosing the structure of thermal generation was tested in the analysis of schemes of large cities of the Russian Federation. Efficiency on the example of the districts of Nizhny Novgorod ranged from 16.5 million to 180.0 million rubles per year.

Keywords: energy efficiency, criteria, methodology, structural effect, heat balance, balance of electric power, comparability.

For citation: Kikot EA, Gazizov FN. Selection of the structure of thermal generation in cities of the Russian Federation when actualizing the heat supply schemes. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020;22(5):71-82. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-5-71-82.

Введение

За последние четверть века отрасль теплоснабжения в России претерпела значительные изменения. В настоящее время имеются прогрессивные технические решения, позволяющие совершенствовать систему теплоснабжения, однако в то же время, в условиях рыночной экономики, механизмы регулирования сферы теплоснабжения изменились, что, к сожалению, не всегда приводит к положительным результатам.

Основными системными проблемами отрасли теплоснабжения являются:

- снижение объемов отпуска тепловой энергии с теплоэлектростанций (ТЭЦ);
- снижение надежности источников тепловой энергии;
- снижение надежности тепловых сетей;
- высокая задолженность за потребленные топливно-энергетические ресурсы в сфере теплоснабжения.

С целью решения накопившихся проблем в сфере теплоснабжения в 2010 г. был принят Федеральный закон «О теплоснабжении» и ряд подзаконных актов к нему, включая нормативно-правовую базу по разработке схем теплоснабжения, которые разрабатывались в Советском Союзе, начиная с послевоенного периода и были нацелены на выбор оптимального варианта организации теплоснабжения потребителей в эпоху плановой экономики и динамичного развития в первую очередь промышленности.

Таким образом, в стране из более чем 20 тысяч муниципальных образований почти в 12 тысяч из них необходимо разрабатывать и актуализировать схемы теплоснабжения в соответствии с современными требованиями НПА.

На сегодня муниципальные образования разработали схемы теплоснабжения своих территорий, качество которых очень разное.

Решения по развитию систем теплоснабжения городов на базе выбора типа источника организации теплоснабжения достаточно разные и их выбор обусловлен разными обстоятельствами: соответствие решениям, изложенным в Генеральном плане развития территории, региональной Схеме и программе развития электроэнергетики, решения инвестиционных программ теплоснабжающих организаций, пожелания администраций городов по строительству того или иного источника и др.

При этом отсутствует методический подход и инструментарий для оперативной комплексной укрупненной оценки выбора оптимального варианта организации теплоснабжения на расчетный период действия схемы теплоснабжения, который поможет в работе федеральных и региональных органов власти, ответственных за мониторинг и утверждение схем теплоснабжения городских округов и поселений.

Цель настоящей статьи: подготовить научно-обоснованные предложения по совершенствованию методологии разработки схем теплоснабжения поселений, городских округов.

При рассмотрении вопросов повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения городов, были проанализированы материалы информационно-аналитических докладов, международных технико-экономических журналов, содержащие анализ деятельности систем теплоэнергетики и теплоснабжения Российской Федерации в последние годы, на основе статистической информации, сведений, полученных из информационных систем отраслевых министерств и ведомств и других официальных источников (Эффективность использования топлива в городах РФ (по материалам схем теплоснабжения) Кикоть Е.А. 2018. С.107-114; Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2015-2016 годы. М., Минэнерго РФ, 2018).

Анализом проблем энергетической эффективности систем теплоснабжения городов занимались отечественные ученые: Л.А. Мелентьев (1932-1998 гг.), Е.Э. Шубин (1964-1976 гг.), Е.Я. Соколов (1947-1998 гг.), В.Н. Папушкин (2006 г. по настоящее время), Е.Г. Гашо (1988г. по настоящее время) и др. Теория анализа развития больших систем энергетики в основном складывалась на опыте анализа систем электроэнергетики в 60-е годы прошлого столетия. Системы теплоснабжения городов стали объектом исследования ряда отраслевых институтов (ВТИ, ВНИИЭ, ВНИПИЭнергопром, ИСЭ, ЭНИН, ВНИИКТЭП, МЭИ, Теплоэлектропроект, позднее ОАО «Фирма ОРГРЭС» и ее филиалы в Сибири и на Урале). Исследования и разработки этих институтов сформировали научную методологию разработки перспективных схем теплоснабжения городов в рамках плановой экономики.

Материалы и методы

Условия работы теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) при становлении розничных рынков электрической и тепловой энергии существенно отличается от тех условий, для которых они проектировались. Специалисты обращают внимание на потери значительных долей рынков как тепловой, так и электрической энергии многими ТЭЦ в России за последние 28 лет. Коэффициент использования топлива на ТЭЦ снижался до 52,1% (2008 г.) и до сих пор не достиг уровня 1992 года (56,1 %) и в 2016 г. составлял 54,9 %. Суммарная установленная мощность ТЭЦ в 2016 г. даже по сравнению с 2012 г. снизилась на 18,2 % [1].

При этом общая энергетическая эффективность систем теплоснабжения проявляет тенденцию к многолетней «стабилизации» на достигнутом уровне, а в некоторых городах – к регрессу, связанному с тем, что часть потребителей переходит на свои собственные источники – котельные, которые по энергетической эффективности уступают ТЭЦ.

Решению задачи повышения энергетической эффективности теплоснабжения городов сопутствует учет как технических, так и экономических факторов. К ним относятся: особенности исторически сложившейся структуры городов и уже построенных объектов энергетической инфраструктуры, состояние систем теплоснабжения (оборудования источников теплоснабжения и тепловых сетей), режимы работы ТЭЦ, климатологические характеристики региона и особенности складывающихся рыночных условий. На данном этапе представляется важным анализировать проведенные в последние годы разработки перспективных схем теплоснабжения городов и предложить направление их совершенствования.

Полезно вспомнить, что в плановой экономике схемы теплоснабжения являлись той основой, на которой проектировались источники централизованного теплоснабжения городов (включая трубопроводные сети транспорта тепловой энергии): ТЭЦ и котельные. За полвека формирования этих систем научными организациями и проектными институтами был накоплен значительный опыт выбора оптимальных путей развития теплофикации. Однако в условиях рыночных (хотя и в значительной степени - регулируемых) отношений в сфере энергетики задачи оценки и выбора путей развития систем теплоснабжения существенно усложнились [2], что требует нового осмысления,

разработки методов и критериев с целью совершенствования этих систем и повышения их энергетической эффективности.

Как было сказано ранее, проблемой анализа и оценки общей энергетической эффективности систем теплоснабжения городов занимались отечественные ученые. Системы теплоснабжения городов, как важнейшая часть систем жизнеобеспечения, достигли максимальной централизации в 70-е годы.

Определенным стимулом для возобновления работ по схемам теплоснабжения городских поселений послужил Федеральный Закон от 2010 г. №190 «О теплоснабжении», а после выхода постановления Правительства РФ от № 154 в 2014 г. разработка схем теплоснабжения приобрела систематический характер. Методология разработки схем теплоснабжения должна была соответствовать рыночным условиям, и в то же время реализовать научные подходы к анализу и прогнозированию новых условий существования сложных систем теплоснабжения. Однако формирование механизмов рыночного управления развитием этих систем не завершено и продолжается в настоящее время.

Предложение реформирования сферы теплоснабжения обсуждается профессиональным сообществом и пока регионами воспринимается настороженно. По мнению авторитетных экспертов [3,4] «является важным (при разработке схем теплоснабжения городов – прим.авт.) обеспечить творческий сплав отработанных балансовых методов и современных подходов на основе применения моделирующих комплексов...».

Методы анализа энергетической эффективности схем теплоснабжения должны адекватно отражать как сложившиеся условия их существования, так и параметры их будущего развития, а также находить пути улучшения общей энергетической эффективности теплоснабжающих комплексов.

При решении перечисленных выше задач возникает новый аспект научных исследований в направлении создания методической базы, позволяющей получать решения, обеспечивающие наилучшую совместную работу тепловых источников и повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения города в целом.

Для совершенствования методики выбора структуры тепловой генерации городов был проведен анализ материалов схем теплоснабжения городов, при котором выявлено следующее:

- при исполнении существующего регламента энергоэффективность принятого варианта отражается в схемах в виде целевого показателя, однако варианты мастер-плана по этому показателю не сравниваются, а лишь фиксируется значение для выбранного по другим критериям варианта,
- процесс «котельнизации» городов, развернутый в 90-х годах прошлого столетия, не нашел серьезных ограничений в рамках рассмотрения и утверждения новых схем теплоснабжения, а определялся лишь интересами «девелоперов» новой застройки, и тем самым – сохранил консервативную тенденцию снижения энергоэффективности теплоснабжения по городу в целом,
- назрела насущная необходимость разработать методику выбора структуры тепловой генерации, которая бы учитывала энергетическую эффективность совокупности источников в целом по городу, и позволяла бы на этапе разработки и актуализации схем создавать условия для улучшения показателей теплоснабжения.

Результаты и обсуждение

Развитие научной методологии оценки энергетических структур при различных этапах становления и развития теплофикации в нашей стране отражает Таблица 1. Традиционно реализовывалось разделение труда в сфере исследований и проектирования систем: сложные вопросы моделирования энергетических систем проводилось силами специализированных научных организаций (институтов АН СССР, прикладных НИИ), а принятие решений по конкретным объектам – в рамках инженерных изысканий проектными организациями. Выходом чисто научных подходов являлись некие рекомендации, которые реализовывались при исполнении конкретных проектов.

Чтобы оценить отличия предлагаемой методики, следует учитывать исторически сложившееся разделение академических научных исследований систем и технологий, и инженерную практику использования результатов таких исследований. Как правило,

комплексное математическое моделирование, многовариантный анализ и оптимизация осуществлялась в академической среде (особенности этих подходов – в средней колонке табл. 1). Инженерная практика (правая колонка табл. 1) базировалась на этих результатах, используя РЕКОМЕНДАЦИИ. И в данном случае – для разработки методики важно было обосновать:

- Определяющий критерий;
- Совокупность обязательных к учету ограничений.

С одной стороны, в плановой экономике исследования «больших» систем энергетики представляло особую сложность, так как по необходимости охватывало практически весь комплекс ТЭК страны. Для этого нужны были беспрецедентно сложные и масштабные модели. И это составляло главную проблему и трудность: охватить весь комплекс. С другой стороны, когда на основе этого были определены «оптимальные» пути формирования и развития систем, то ключевые параметры этих систем предлагались институтам, занятым конкретными проектами (источников теплоснабжения, электроснабжения, электрических и тепловых сетей) в виде «методических указаний». Такими параметрами, например, были: оптимальные удельные капиталовложения в ТЭС, АЭС, ТЭЦ, тепловые и электрические сети, «оптимальный» (для данной отрасли) коэффициент окупаемости этих вложений, затраты на «замещающую мощность» (последние – определились по отраслям и временным периодам специализированными научными институтами в рамках расчетов «межотраслевых балансов», на основе «больших моделей»).

Таблица 1

Связь научной методологии анализа сложных систем теплоснабжения и методик, используемых при проектировании источников и сетей теплоснабжения городов

Характерные особенности	Научная методология (исследования «больших» систем энергетики)	Инженерная практика (разработка схем теплоснабжения городов)
Акценты в анализе	Наиболее существенные связи, общие закономерности и соотношения параметров источников, сетей и потребителей	Учет конкретных условий в данном регионе, оценка перспективы нагрузок, обоснование развития источников, либо сооружение новых
Инструментарий анализа	Иерархия моделей «больших» систем энергетики (в т.ч. – электроэнергетических)	Пакеты прикладных программ («Сириус» - Карагандинский политехнич.ин-т, «ZULU», Теплограф и др.
Формализация задачи (авторы, институты)	ИСЭМ: Мелентьев Л.А., Сидлер В.Г., Сеннова Е.В., Стенников В.А.	ВТИ: Папушкин В.Н., Григорьев А.Г., МЭИ: Гашо Е.Г., Пузаков В.С., СПбГУПТД: Плехута А.Д.
Особенности методик, степень универсальности результатов	Стремление к полной математической формализации на основе многофакторного анализа, аппроксимации зависимостей и отражения реальных условий путем задания ограничений	Использование «обобщенных зависимостей» и «Критериев выбора вариантов»
Способы поиска решений, их аргументации и выбора	Методы нелинейного программирования, а – в ряде подзадач целевого/«полного» перебора вариантов	Использование «целевых» показателей, учет ограничений в форме допустимых областей для параметров, либо – задание вариантов развития

Исходя из изложенных выше ключевых моментов, сделан вывод, что регламент оценки систем, осуществляемый на практике, слишком упрощен в оценке общей энергетической эффективности совокупности тепловых источников города. Он не учитывает ряд ключевых моментов, и, в частности, не предполагает обязательной оценки варианта с максимальным увеличением отпуска тепловой энергии от ТЭЦ. Известны исследования (например [5]), в которых показана недостаточность использования концепции радиуса эффективного теплоснабжения для однозначного отнесения

потребителей к той или иной зоне теплоснабжения. Методика обоснования тепловой генерации должна основываться на использовании критерия общей энергетической эффективности всей совокупности источников на перспективу.

Приняв за основу известное определение удельного расхода условного топлива - как основного показателя энергетической эффективности любой энергетической установки и системы, распространим его применение на совокупность таких систем, обеспечивающих тепловой энергией городское поселение. Тогда общий расход топлива всеми системами поселения выразится так:

$$B_c = b_1 \cdot Q_1 + b_2 \cdot Q_2 + b_3 \cdot Q_3 + \dots b_n \cdot Q_n \quad (1)$$

где $b_1 \dots b_n$ – удельные расходы топлива на отпущенную тепловую энергию, соответственно, от каждого из источников совокупности, тут/Гкал,

$Q_1 \dots Q_n$ – отпуск тепловой энергии, соответственно, от каждой из систем, составляющих совокупность.

В самом общем случае изменение энергоэффективности совокупности выражается следующим уравнением:

$$\Delta B_c = B'_c - B_c = (B'_1 + B'_2 + \dots B'_n) \quad (2)$$

Перейдем к обозначениям «изменений»: $\Delta Q_i = Q'_i - Q_i$ – изменения отпуска тепловой энергии i -той системой (источником), $\Delta b_i = b'_i - b_i$ – изменения удельного расхода условного топлива, соответственно i -той системой (источником); здесь «штрих» означает «после изменения», буквенные обозначения «без штриха» – «до изменения», или значение «базисного» периода с которым проводят сравнение. Введем «относительные отпуска» q_i , для вычисления которых поделим абсолютный отпуск тепловой энергии i -того источника на суммарный отпуск для всей совокупности $q_i = \frac{Q_i}{Q_c}$, и получим общее выражение для изменения энергоэффективности для совокупности систем (источников тепловой энергии):

$$\Delta bc = (\Delta b_1 \cdot q'_1 + b_1 \cdot \Delta q_1) + (\Delta b_2 \cdot q'_2 + b_2 \cdot \Delta q_2) + (\Delta b_n \cdot q'_n + b_n \cdot \Delta q_n) \quad (3)$$

При разработке планов развития городов и схем их теплоснабжения обязательной является оценка энергетической эффективности, и для этого должен использоваться показатель, показывающий соотношение выработки электроэнергии на тепловом потреблении и суммарной подключенной тепловой нагрузки городов.

С учетом логики обоснования выражений (1)-(3) в качестве инструмента такой оценки при выборе структуры тепловой генерации в схеме теплоснабжения города предлагается использовать соотношение:

$$q_{\text{тф}}^{\text{S}} = \frac{\sum \alpha Q_{\text{НАГР}}^{\text{ТЭЦ}}}{\sum [\alpha Q_{\text{НАГР}}^{\text{ТЭЦ}} + (1 - \alpha) Q_{\text{НАГР}}^{\text{ТЭЦ}}] + \sum Q_K} \quad (4)$$

α – коэффициент теплофикации, отражает влияние на энергоэффективность теплофикационной нагрузки, покрываемой из отборов турбин,

$Q_{\text{НАГР}}^{\text{ТЭЦ}}$ – отпуск тепловой энергии от i -той ТЭЦ города (поселения), Гкал/год;

Q^K – отпуск тепловой энергии от j -той котельной города (поселения), Гкал/год.

Это отношение фактически эквивалентно сумме всех структурных эффектов (вторые части двучленов выражения для ТЭЦ города: чем больше это значение – тем большая доля тепловой энергии в городе вырабатывается в комбинированном цикле. Тем самым создается главная предпосылка для увеличения объема выработки тепловой и электрической энергии в комбинированном (теплофикационном) цикле. Критерий (4) – безразмерная величина; для систем, в которых нет ТЭЦ, его значение равно нулю. При появлении теплофикационных агрегатов на котельных (например, ГПУ для обеспечения локальных нужд теплофикации) значение этого показателя отлично от нуля, и также характеризует «уровень теплофикации» по совокупности тепловых источников города.

Каждый член в сумме числителя этого выражения (для каждого отдельного источника) может быть умножен на W – удельную выработку электрической энергии на

базе отпуска данного тепла из отборов турбин (МВт-ч/Гкал). Эта величина – различна для каждого типа источника тепло- электрогенерации, и является важнейшей характеристикой уровня его энергетической эффективности. Таким путем осуществляется переход от анализа структуры выработки и отпуска тепловой энергии к совместному анализу тепловых и электрических балансов поселения на перспективу по параметру «энергоэффективности»:

$$\Theta_c = \frac{\sum w \alpha Q_{\text{НАГР}}^{\text{ТЭЦ}}}{\sum [\alpha Q_{\text{НАГР}}^{\text{ТЭЦ}} + (1-\alpha) Q_{\text{НАГР}}^{\text{ТЭЦ}}] + \sum Q_K} \quad (5)$$

где: w – удельная выработка электрической мощности на тепловом потреблении, прочие обозначения соответствуют (4);

Θ_c – отношение годовой выработки электроэнергии в теплофикационном цикле ТЭЦ к суммарному годовому отпуску тепловой энергии от всех тепловых источников города. В физическом понимании это значение показывает «удельную» выработку электроэнергии, полученной комбинированным способом на всех ТЭЦ рассматриваемой территории, приходящуюся на единицу суммарного тепла, выработанного ТЭЦ и котельными поселения.

Итоговым критерием оценки варианта по структуре тепловой генерации является минимум целевой функции, представляющей собой сумму приведенных (дисконтированных) по времени ($t = l, T$) затрат во вновь монтируемые потребительские установки, в существующие источники тепла, затраты в сети энергоснабжения (в необходимых для теплоснабжения объемах), а также затраты на дополнительную электроэнергию (для приведения вариантов к сопоставимому виду по энергетическим эффектам):

$$Z_{\text{ИТ}} + Z_{\text{ТС}} + Z_{\text{Э}} \rightarrow \min \quad (6)$$

где $Z_{\text{ИТ}}$ – затраты в источники тепла, $Z_{\text{ТС}}$ – затраты в тепловые сети, $Z_{\text{Э}}$ – затраты на электроэнергию, затрачиваемую на перекачку теплоносителя по системе в каждый период по каждому из рассматриваемых вариантов развития системы.

Затраты на дополнительную электроэнергию ($Z_{\text{ДЭ}}$) – представляют собой стоимость электроэнергии, обеспечивающей приведение вариантов к равному энергетическому эффекту. Они равны произведению предельного уровня тарифа на электроэнергию ($Z_{\text{ДЭ}}$, руб./МВт) на ее дополняющий объем ($\Delta \mathcal{E}$, МВт):

$$Z_{\text{ДЭ}} = \sum_{t=1}^T Z_{\text{ДЭ}t} \sum_{j_2} W_{jt} h_t \quad (7)$$

Система условий и ограничений включает: уравнения материального (в узлах) и энергетического (в независимых контурах) баланса, а также замыкающие соотношения, которые описывают сетевую часть теплоснабжающих систем; технические условия и ограничения: на давления теплоносителя в узлах, на скорости течения теплоносителя по ветвям; на располагаемые перепады давления теплоносителя на вводах потребителей; на производительности (мощности) источников тепловой энергии (и др).

Для отражения сформулированных выше требований (по учету как тепловых, так и электрических балансов) в формализованной постановке задачи система условий и ограничений дополнена учетом балансов как тепловой, так и электрической мощности совокупности источников:

$$\sum_{j \in J_2} Q_j = Q \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J_2} P_j = P \quad (9)$$

$$\varphi \leq Q_j \leq \overline{Q_j}, \quad j \in J_2 \quad (10)$$

$$\varphi \leq P_j \leq \overline{P_j}, \quad j \in J_2 \quad (11)$$

Введение критерия (5) и учет дополнительных ограничений (8)-(11) изменяет процедуру выбора наилучшей структуры тепловой генерации в городе (для сложившихся условий и на перспективу), и является основанием для построения методики, которая

реализуется в комплексе алгоритмов и программ, общая структура которого приведена на рис. 1.

Интегральные показатели, приводимые в сводных таблицах схем теплоснабжения городов, отражают существующее положение в сфере теплоснабжения. Из этих данных можно построить оценки (табл. 2) того, насколько эффективно используются источники комбинированной выработки тепловой и электрической энергии (ТЭЦ) в городах России в сложившихся условиях и на перспективу.

Такое детальное рассмотрение общих показателей теплоснабжения крупных городов можно рассматривать, как реализацию основных методологических соображений, изложенных в свое время учеными НИУ «МЭИ», которые в заключение статьи указали, что «Работу [6] можно использовать как методологию определения ключевых характеристик пространственного распределения спроса на тепло в разных городах сопоставимого размера, находящихся в различных природно-климатических условиях». В данном случае это позволило выявить следующее: относительно высокий уровень затрат топлива на удовлетворение нужд теплоснабжения выявляется как в городах с относительно теплым климатом, так и расположенных в Сибири и Северных регионах России.

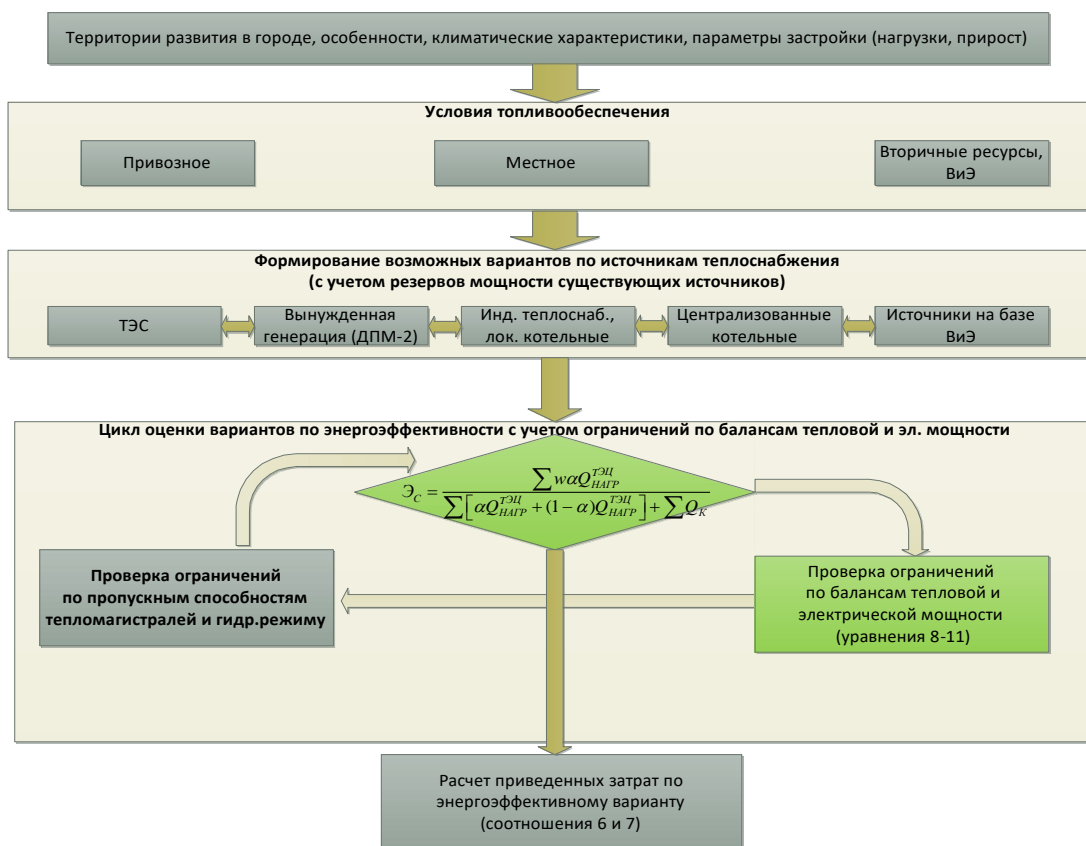


Рис.1. Общая структура. Взаимосвязь программных блоков, реализующих алгоритм выбора структуры тепловой генерации при актуализации схем теплоснабжения города (для сложившихся условий и на перспективу), и является основанием для построения методики, которая реализуется в комплексе алгоритмов и программ.

Таблица 2

Энергетическая эффективность выработки энергии (МВт*ч/Гкал) в крупных городах России

№ п/п	Город	Численность населения, чел.	ГСОП, °С*сут./год	Годовая выработка эл.энергии на ТЭЦ, тыс.кВт*ч		Годовой отпуск тепловой энергии от ТЭЦ, Гкал	Год.отпуск тепловой энергии от котельных, Гкал	Эффективность выработки энергии, МВт*ч/Гкал
				теплофикационная	конденсационная			
1	Астрахань	532504	3 411,2	840 726	882 660	1 891 701	694 174	0,325
2	Владивосток	606589	4 811,4	1 090 780	855 220	3 225 290	1 717 025	0,221
3	Волгоград	1015586	3 924,8	1 546 516	623 867	2 723 600	5 091 600	0,198
4	Ижевск	646277	5 606,4	1 870 370	н/д	4 418 769	2 374 754	0,275
5	Кемерово	553076	6 356,0	1 923 677	1 435 334	5 950 700	6 717 600	0,152
6	Краснодар	881476	2 682,0	582 544	6 265 807	1 319 000	1 982 900	0,176
7	Красноярск	1035500	6 221,0	2 641 109	2 291 282	8 048 900	2 636 000	0,247
8	Махачкала	592976	2 491,2	58 900	0	277 809	954 101	0,048
9	Нижний Новгород	1264075	5 181,5	2 187 914	1 181 922	4 259 000	5 012 840	0,236
10	Новокузнецк	552445	6 197,1	1 882 699	1 798 979	6 099 408	76 707	0,305
11	Новосибирск	1602915	6 210,1	6 289 000	5 508 000	11 191 400	5 228 700	0,383
12	Омск	1178391	6 069,6	3 702 037	2 956 119	8 996 100	8 865	0,411
13	Оренбург	564443	5 312,6	1 263 227	1 161 934	3 007 446	1 382 683	0,288
14	Пенза	523726	3 903,9	902 038	434 525	2 376 820	1 434 837	0,237
15	Ростов-на-Дону	1125299	3 336,6	591 100	129 800	1 508 000	2 479 720	0,148
16	Рязань	537622	4 888,0	1 700 900	265 200	4 341 329	863 664	0,327
17	Самара	1169719	5 115,6	2 163 911	471 624	8 648 417	1 470 577	0,214
18	Саратов	843460	4 418,0	1 744 432	597 578	4 467 600	1 922 000	0,273
19	Севастополь	428753	2 268,0	26 545	34 629	118 184	549 484	0,040
20	Тольятти	710567	5 115,6	3 882 520	1 481 852	10 174 653	877 944	0,351
21	Томск	572740	6 500,7	1 481 116	347 831	4 505 680	1 024 920	0,268
22	Тула	485221	4 600,0	318 300	305 000	1 420 000	2 902 000	0,074
23	Тюмень	744554	6 221,1	3 088 790	3 900 000	5 919 250	2 636 000	0,361
24	Ульяновск	624518	5 384,8	1 836 000	1 089 000	4 191 000	950 995	0,357
25	Уфа	1130000	5 516,7	2 737 850	2 051 899	8 388 600	3 428 065	0,232
26	Хабаровск	616242	6 018,0	2 367 864	2 421 088	7 021 849	122 835	0,331
27	Челябинск	1198858	5 777,0	2 065 716	1 289 415	9 718 013	2 272 041	0,172
28	Ярославль	608079	6 143,8	1 541 446	458 815	4 109 967	2 010 342	0,252

Однако можно проследить и основную тенденцию в городах с долей покрытия тепловых нагрузок от ТЭЦ, более 60 % – энергоэффективность устойчиво выше (на 10-30 %). На сравнительном графике (Рис/ 2), отражающим суммарные годовые показатели разных городов РФ в такой группе городов (Ряд 2) удалось сохранить долю выработки тепловой энергии на ТЭЦ свыше 60 %.

Не смотря на разные климатические условия (например, Краснодар – ГСОП 2682, Тольятти – 5116, Новосибирск – 6210) за счет значительной доли отпуска тепловой энергии от ТЭЦ, удельная выработка теплофикационной электрической энергии существенно выше, чем в аналогичных климатических условиях, но с меньшей долей отпуска тепла от ТЭЦ (Ростов-на-Дону - для ГСОП 3337 удельная выработка всего 0,148 кВт-ч/Гкал, Самара – при ГСОП 4811, Эуд = 0,214 кВт-ч/Гкал, Красноярск – при ГСОП 6221, Эуд = 0,247 кВт-ч/Гкал).

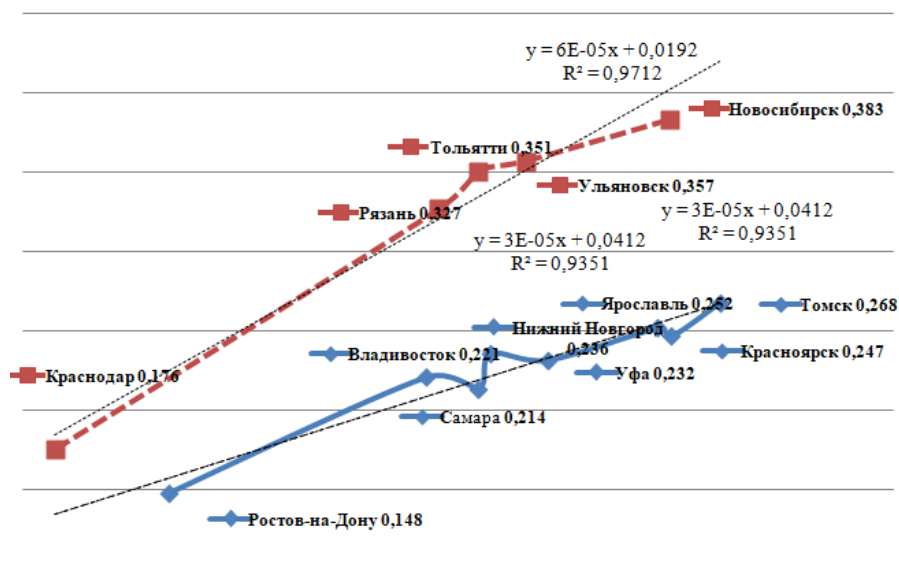


Рис.2. Сравнение энергоэффективности по удельной выработке теплофикационной электроэнергии городов РФ (ряд 2), сохранившим превалирование ТЭЦ (qтэц>60%) в покрытии суммарных тепловых нагрузок города

Сравнение данных по 12 городам подтверждает результативность методики выбора структуры тепловой генерации при разработке схем теплоснабжения городов на перспективу. Применение методики на уровне районов крупного города (Нижнего Новгорода) позволило получить существенные эффекты в энергоэффективности теплоснабжения этих районов путем перенесения тепловых нагрузок с неэффективных котельных на существующую крупную ТЭЦ.

В городах, где сохранено превалирование теплофикации (как по структуре загруженных теплоисточников, так и по структуре отпуска тепловой энергии от ТЭЦ) – уровень топливных затрат на 7-12 % ниже аналогичных систем, которые эксплуатируются в похожих условиях.

Выводы

– Анализ материалов схем теплоснабжения крупных городов России подтвердил тенденцию снижения общей энергетической эффективности теплоснабжения, а – в качестве причины - действие основного фактора: «котельнизации» городов при планировании развития и модернизации источников теплоснабжения.

– На основе анализа практики разработки и реализации мероприятий схем теплоснабжения городов были обоснованы соотношения для анализа энергетической эффективности совокупности систем теплоснабжения городов на предпроектной стадии выбора вариантов развития в схемах теплоснабжения городов. Применение соотношений показало, что снижение доли отпуска тепловой энергии от источников с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии происходит из-за раздельного анализа тепловых и электрических балансов региона.

– Анализ энергетической эффективности источников теплоснабжения в схемах теплоснабжения 28 крупных городов России показал, что в городах, где удалось сохранить превалирование ТЭЦ в покрытии суммарных тепловых нагрузок города (свыше 60 %), удельная теплофикационная выработка электрической энергии на Гкал отпущенной тепловой энергии на 10 - 30 % выше, чем в городах, где этот показатель ниже 50 %.

– С учетом полученных результатов разработана методика выбора структуры тепловой генерации городов, отличающаяся применением дополнительного критерия энергоэффективности (5) и системой учитываемых ограничений по энергетическим балансам региона (7)-(11).

Разработанная методика выбора структуры тепловой генерации апробирована при анализе схем крупных городов РФ. Эффективность на примере районов г. Нижний Новгород составила от 16,5 млн. до 180,0 млн. рублей в год. Применение разработанной методики позволит повысить энергетическую эффективность имеющихся ресурсов ТЭЦ.

Литература

1. Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2015-2016 годы. – Информационно-аналитический доклад. М., Минэнерго РФ, 2018.
2. Кикоть Е.А. Эффективность использования топлива в городах РФ (по материалам схем теплоснабжения) // Международный технико-экономический журнал. 2018. № 3. С.107-114.
3. Пузаков В.С. Анализ разработки и утверждения схем теплоснабжения в Российской Федерации // Новости теплоснабжения, 2015. № 4. С. 4-13.
4. Гашо Е.Г., Пузаков В.С. Схемы теплоснабжения российских городов и реальная жизнь. Новости теплоснабжения. 2020. №2. С. 8-22.
5. Чичирова Н.Д., Ахметова И.Г. Оценка эффективного радиуса систем централизованного теплоснабжения города Казани. Труды Академэнерго. 2016. №1. С. 89-95.
6. Гашо Е.Г., Гужов С.В., Макрушин С.В. Исследование общих закономерностей развития городских энергосистем в различных социально-экономических и природно-климатических условиях. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018. №4. С.612-617.
7. Кикоть Е.А., Косяков С.А. Эффективность использования топлива в городах РФ (по материалам схем теплоснабжения) // Энергосбережение – теория и практика, материалы 9 международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, Москва, АО «Издательский дом МЭИ». 2018.
8. Сухарева Е., Федюхин А., Кикоть Е. Гибкое распределение затрат между электроэнергией и теплом как фактор повышения конкурентоспособности ТЭЦ) // ИОР Серия конференций: наука о земле и окружающей среде. 2019.
9. Бутко А.А. Необходимость разработки и значимость схем теплоснабжения городов в условиях рыночной экономики. Новости теплоснабжения. 2005. № 11.
10. 65 лет ОАО «Объединение ВНИПИэнергопром» // Новости теплоснабжения. 2007. № 11.
11. Папушкин В.Н., Григорьев А.С., Щербаков А.П. Задачи перспективных схем теплоснабжения. Изменение зон действия источников тепловой энергии (систем теплоснабжения) Новости теплоснабжения. 2013. № 03.
12. Степаненко В.А. Кризис схем теплоснабжения или взлет энергетического планирования-3 // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». Доступно по: (http://esco.co.ua/journal/2012_8/art223.htm). 2012. № 8.
13. Пузаков В.С. Теплоснабжение по-европейски // Новости теплоснабжения. 2008. № 8.
14. Mauthner F., Weiss W. Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply. 2011 / Solar Heating & Cooling Programme International Energy Agency.
15. Directive 2010/31/EU of European parliament of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.

Авторы публикации

Кикоть Евгений Александрович – инженер, генеральный директор ООО «Невская Энергетика» (г.Санкт-Петербург).

Газизов Фарит Насибуллович – инженер, доцент кафедры «Экономика и организация производства» (ЭОП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ, г.Казань), технический директор ООО «Невская Энергетика» (г.Санкт-Петербург).

References

1. Heat power and district heating in Russia in 2015-2016. *Information and analytical report*. M., RF Ministry of Energy, 2018.
2. Kikot' EA. Fuel efficiency in cities of the Russian Federation (based on materials from heat supply schemes). *International Technical and Economic Journal*. 2018;3:107-114.
3. Puzakov VS. Analysis of the development and approval of heat supply schemes in the Russian Federation. *News of heat supply*. 2015;4:4-13.
4. Gasho EG, Puzakov VS. Heat supply schemes of Russian cities and real life. *Heat supply news*. 2020;2:8-22.

5. Chichirova ND, Akhmetova IG. Evaluation of the effective radius of district heating systems in the city of Kazan. *Proceedings of Academenergo*, 2016;1:89-95.
6. Gasho EG, Guzhov SV, Makrushin SV. Study of General patterns of development of urban power systems in various socio-economic and natural-climatic conditions. *Proceedings of the Tula state University. Technical Sciences*. 2018;4:612-617.
7. Kikot EA, Kosyakov SA. Efficiency of fuel use in cities of the Russian Federation (based on materials from heat supply schemes). *Energy saving - theory and practice, materials of the 9 international school-seminar for young scientists and specialists*. Moscow. MPEI Publishing House JSC. 2018.
8. Sukhareva E, Fedyukhin A, Kikot E. Flexible allocation of costs between electricity and heat as a factor for improving the CHP competitiveness. *IOP Conference series: earth and environmental science*.
9. Butko AA. The need to develop and the importance of heat supply schemes for cities in a market economy. *News of heat supply*. 2005. N. 11
10. 65 years of OJSC Association VNIPInergoprom. *News of heat supply*. 2007. N. 11
11. Papushkin VN, Grigoriev AS, Shcherbakov AP. Problems of promising heat supply schemes. Changing the coverage areas of heat sources (heat supply systems). *News of heat supply*. 2013. N. 03
12. Stepanenko VA. The crisis of heat supply schemes or the rise of energy planning-3. *Electronic magazine of the energy service company Ecological systems*. Available at: (http://esco.co.ua/journal/2012_8/art223.htm). 2012. N 8.
13. Puzakov VS. Heat supply in a European way. *News of heat supply*. 2008. N. 08
14. Mauthner F, Weiss W. Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply. 2011. *Solar Heating & Cooling Programme International Energy Agency*.
15. Directive 2010/31/EU of European parliament of Council of 19 May 2010. *On the energy performance of buildings*.

Authors of the publication

Evgeniy. A. Kikot – LLC Nevskaya Energetica, S-Petersburg, Russia. E-mail: eak@nevaenergy.ru.

Farit. N. Gazizov – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia. E-mail: eak@nevaenergy.ru.

Поступила в редакцию

26 октября 2020г.