

## ТЕПЛОФИКАЦИЯ И ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

### АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ РОССИИ<sup>1</sup>

© 2021 г. Е. Г. Гашо<sup>а</sup>, В. С. Пузаков<sup>б</sup>, С. В. Гужов<sup>а</sup>, \*

<sup>а</sup>Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”,  
Красноказарменная ул., д. 14, Москва, 111250 Россия

<sup>б</sup>ООО “Энчис Технологии”,

Киевское шоссе, 22-й км, домовл. 4, стр. 4, блок Д, БП “Румянцево”, Москва, 108811 Россия

\*e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.08.2019 г.

После доработки 08.06.2020 г.

Принята к публикации 23.06.2020 г.

Статья посвящена анализу проблем развития систем теплоснабжения крупных и средних городов России. Для этого выполнен обзор и проведен краткий анализ утвержденных схем теплоснабжения почти сорока городов с учетом их ключевых территориальных особенностей. Проанализированы главные особенности систем теплоснабжения городов, включая состояние тепловых сетей, избыточные мощности источников, параметры ТЭЦ, работающих в режиме вынужденной генерации, а также возможности использования вторичных и возобновляемых источников энергии для выработки тепловой энергии. Произведен расчет удельных показателей потребления тепла, в том числе с учетом градусо-суток отопительного периода. Рассмотрены зависимости удельного потребления топлива и эффективности выработки энергии от климатических параметров, плотности населения и других факторов. Для оценки потенциальных резервов повышения эффективности приведены сводные данные по суммарной установленной тепловой мощности, режимам отпуска тепловой энергии в городах. Целью работы являлось выявление ключевых проблем и основных тенденций развития систем теплоснабжения крупных городов. Распределение крупных и средних городов России по нескольким типологическим группам показало общность возникающих в них проблем и возможные наборы типовых мер и методов их решения. Выполнена оценка эффективности систем теплоснабжения в целом для некоторых городов в зависимости от плотности и численности населения и в различных климатических зонах. Полученные показатели совокупной эффективности систем теплоснабжения не имеют прямой увязки с долей промышленной нагрузки, плотностью населения и климатом. Предложено использовать в разработке схем теплоснабжения показатели энергетической и экологической эффективности для выявления ключевых резервов устойчивого развития важнейших жизнеобеспечивающих инфраструктур городов в различных климатических зонах России.

**Ключевые слова:** схема теплоснабжения крупного города, суммарная установленная тепловая мощность, отпуск тепловой энергии, нормативный износ трубопроводов тепловых сетей, эффективность выработки тепловой энергии, климатическая зона

**DOI:** 10.1134/S0040363621020028

Необходимость разработки схем теплоснабжения городов была обусловлена принятым в 2010 г. Федеральным законом РФ № 190-ФЗ “О теплоснабжении” [1]. Какие итоги этой работы можно подвести за истекшее десятилетие?

По данным Минстроя России, из 20 770 муниципальных образований в России [2] почти для половины (9012) нет необходимости разрабатывать схемы теплоснабжения, так как отсутствует централизованная система теплоснабжения, а

также потребность в ее создании в перспективе. В остальных 11 627 муниципальных образованиях схемы теплоснабжения нужно разрабатывать и утверждать. Следует отметить, что по данным Росстата [3], в настоящее время в России насчитывается всего 1117 городов, из них 170 численностью населения свыше 100 тыс. чел.

#### РАЗРАБОТКА И УТВЕРЖДЕНИЕ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ В РОССИИ

За период 2013–2017 гг. большая часть городов и поселений России прошли первичную разра-

<sup>1</sup> Статья подготовлена по результатам проекта, выполненного при поддержке Российского научного фонда (уникальный идентификатор гранта РНФ № 16-19-20568).

ботку и утверждение схем теплоснабжения. По состоянию на 1 июня 2015 г. из 11 627 муниципальных образований схемы теплоснабжения были утверждены в 8183 (или в 70.38%), соответственно, требовалась разработка еще 3444 схем теплоснабжения. Таким образом, можно говорить о том, что значительная доля поселений и городских округов прошли первичную разработку схем теплоснабжения и динамика их утверждения в целом по стране за 2015–2017 гг. практически находится на одном уровне при общем количестве требуемых схем свыше 11.6 тыс. шт.

Вместе с тем авторы уверены, что необходимость создания схем теплоснабжения была оправдана только для 1200–1250 городских поселений (численностью более 25 тыс. чел.), а завышение этого количества почти в 10 раз сыграло весьма негативную роль.

По данным авторов, основное отставание с разработкой и утверждением схем теплоснабжения до сих пор наблюдается в отдельных регионах Дальневосточного федерального округа, например в Чукотском автономном округе, где из 34 поселений, для которых требуется создание схем теплоснабжения, они разработаны и утверждены не более чем в 10. В докладе [4] приведены данные по разработке схем теплоснабжения городов численностью населения от 100 тыс. чел. и выше во второй половине 2013 г. и первой половине 2014 г.

В России в зону ответственности Министерства энергетики (Минэнерго) РФ по утверждению схем теплоснабжения входят 131 город численностью населения от 100 до 500 тыс. чел. и 39 городов численностью населения от 500 тыс. чел. и выше, включая город федерального значения Севастополь численностью около 430 тыс. чел. Проведенный анализ данных Минстроя России, портала Госзакупок [5] и данных интернет-сайтов администраций городов показал, что во всех городах численностью населения от 100 до 500 тыс. чел. разработаны и утверждены схемы теплоснабжения до конца 2016 г. В соответствии с требованиями действующих нормативно-правовых актов [1, 6], схемы теплоснабжения городов численностью населения от 500 тыс. чел. и выше утверждаются Министерством энергетики РФ после того, как предварительно пройдут всестороннюю экспертизу внутри этого ведомства.

По данным Минэнерго России по состоянию на начало 2019 г. прошли первичную разработку и утверждение схем теплоснабжения своих территорий следующие города: Астрахань, Барнаул, Владивосток, Волгоград, Воронеж, Екатеринбург, Ижевск, Иркутск, Казань, Кемерово, Киров, Краснодар, Красноярск, Липецк, Махачкала, Москва, Набережные Челны, Нижний Новгород, Новокузнецк, Новосибирск, Омск, Оренбург, Пенза, Пермь, Ростов-на-Дону, Рязань, Самара,

Санкт-Петербург, Саратов, Севастополь, Тольятти, Томск, Тула, Тюмень, Ульяновск, Уфа, Хабаровск, Челябинск, Ярославль. Необходимо отметить, что не во всех крупных городах этот процесс происходил одновременно, по сути он растянулся почти на пять лет.

На первоначальном этапе проводился обзор схем теплоснабжения 35 крупных городов по существующему состоянию систем теплоснабжения с учетом особенностей территорий [наличие ГРЭС (КЭС), ТЭЦ и других источников энергии (включая блоки, работающие в вынужденном режиме), тепловых сетей и их износа, потребления тепловой энергии, топлива], перспектив развития источников, применения комбинированного производства тепловой и электрической энергии, потенциала использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и местных видов топлива для выработки тепловой энергии.

В рамках выполненного обзора схем теплоснабжения городов проведен, в частности, анализ используемых подходов к обоснованию различных вариантов организации теплоснабжения. Разработанные схемы (несмотря на экспертизу Минэнерго России) изобилуют неточностями, искажениями исходных данных. Раздел “существующие проблемы” при оценке текущего состояния и перспектив развития системы теплоснабжения городских поселений зачастую написан поверхностно и не дает представления о ключевых особенностях и принципиально важных, ключевых проблемах самых значимых инфраструктур городов.

Для общего понимания существующих резервов на рис. 1 представлены сводные данные по суммарной установленной тепловой мощности, подключенной тепловой нагрузке ТЭЦ и котельных и отпуску тепловой энергии в городах. Значительное разнообразие как размеров и климатических условий, так и других важнейших параметров и особенностей организации теплоснабжения городов остается вне поля зрения разработчиков схем, а также исследователей и экспертов, которые зачастую ограничиваются условными и абстрактными математическими моделями, не отражающими ни специфики города, ни топологии и территориальных нюансов размещения базовых источников и потребителей тепловой энергии.

Из приведенных данных видно, что во всех крупных городах используются варианты теплоснабжения на базе ТЭЦ и котельных, работающих на различных видах топлива (природный газ, уголь), а установленная мощность источников, подключенной тепловой нагрузке и отпуске тепловой энергии в абсолютных единицах различается в разы, что как раз и обусловлено особенностями конкретных территорий (климат, тип тепловой нагрузки и др.). В схемах теплоснабжения также пока не нашла своего отражения весьма

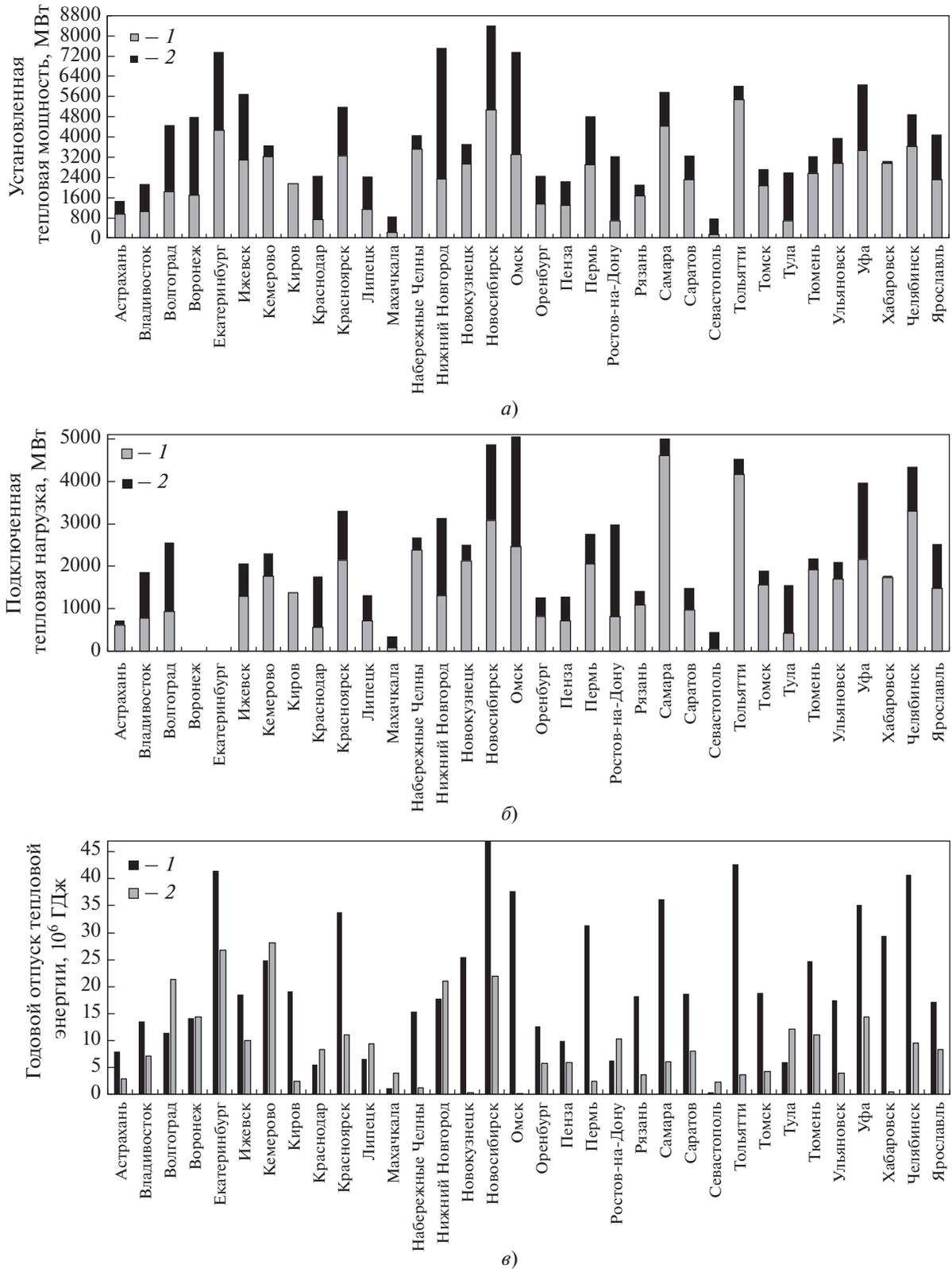


Рис. 1. Установленная тепловая мощность (а), подключенная тепловая нагрузка (б) и годовой отпуск тепловой энергии (в) ТЭЦ (1) и котельных (2) в крупных городах России

тревожная и набирающая силу тенденция роста автономных и децентрализованных источников тепла в некоторых городах с высокой плотностью тепловых нагрузок.

### ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В СХЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

В таблице приведен выборочный анализ ключевых особенностей и параметров систем теплоснабжения некоторых крупных городов страны, выделенных в типологические группы: промышленные центры, города, находящиеся в теплых и холодных районах, прочие. Из таблицы видно, каково разнообразие систем теплоснабжения, которое сильно затрудняет формирование единой политики повышения энергетической и экологической эффективности энергоисточников и систем теплоэнергоснабжения городов в целом. Даже у соседних городов, расположенных в сходных климатических условиях, могут существенно расходиться удельные показатели установленной тепловой мощности или потребления тепла на человека. В таблице представлены общие и удельные показатели для всей системы в целом, а ведь известно, насколько важно размещение различных источников на территориях с высокой плотностью тепловой нагрузки – именно по этим топологическим показателям нужно создавать отдельные типологические модели.

Резервы промышленной и коммунальной теплофикации городов, обеспечивавшие рост и развитие страны во второй половине прошлого века, уже исчерпаны. Что делать дальше? Создание схем теплоснабжения в редких случаях направлено на решение задач комплексного развития, экономии тепла, использования промышленных вторичных энергетических ресурсов и других резервов повышения эффективности.

В единичных случаях (Краснодар и Махачкала) используются возобновляемые источники энергии для выработки тепловой энергии, что обусловлено особенностями их месторасположения. В отдельных схемах теплоснабжения (Астрахань, Барнаул, Краснодар, Красноярск) принятие решения о выборе варианта теплоснабжения основывается на данных региональной схемы и программы развития электроэнергетики (СиПР), т.е. на заложенных в ней положениях производится обоснование размещения нового или реконструируемого источника генерации. Но в некоторых городах внедрение ВИЭ для выработки тепловой энергии на текущем этапе нецелесообразно (например, установка тепловых насосов на сточных водах) ввиду высоких сроков окупаемости и, соответственно, низкой инвестиционной привлекательности проектов (Астрахань, Барнаул,

Ижевск, Красноярск, Набережные Челны, Нижний Новгород, Новосибирск, Оренбург, Пенза, Пермь). Внедрение ВИЭ продолжается только там, где их использование уже сложилось исторически и выбор типа ВИЭ тесно связан с региональными особенностями города: в Махачкале используются местные геотермальные источники, в Краснодаре в котлах сжигается лузга подсолнечника (из-за наличия большого числа предприятий по переработке семечек и производству подсолнечного масла в регионе). В остальных городах внедрение ВИЭ в рамках разработки/актуализации схем теплоснабжения практически не рассматривалось. Также редко в схемах уделялось внимание использованию вторичных энергоресурсов крупных и энергоемких предприятий.

Проведенный анализ необходимости перехода на закрытую схему горячего водоснабжения (ГВС) в крупных городах и нормативного износа трубопроводов тепловых сетей показал, что из 36 городов только 13 работают с закрытой схемой ГВС: Воронеж, Ижевск, Киров, Краснодар, Красноярск, Махачкала, Новосибирск, Пермь, Рязань, Севастополь, Тюмень, Уфа, Челябинск. Остальные города имеют полностью или частично открытые схемы ГВС и должны быть переведены на закрытые до 2022 г. в соответствии с требованиями Федерального закона от 07.12.2011 № 416-ФЗ “О водоснабжении и водоотведении” [7]. Такая реконструкция потребует колоссальных денежных вливаний со сроками окупаемости несколько десятков лет. В большинстве схем теплоснабжения городов сроки окупаемости по данным мероприятиям даже не определяются.

Отдельные блоки на ТЭЦ в четырех городах (Барнаул, Липецк, Новокузнецк, Самара) работают в вынужденном режиме.

Данные по нормативному износу трубопроводов тепловых сетей свидетельствуют о том, что во всех рассматриваемых крупных городах он составляет от 41 до 100%. Восстановление трубопроводов путем их замены потребует опять же колоссальных денежных масс, которых нет ни в одном городском бюджете. В настоящее время в России в среднем ежегодно заменяют лишь около 1.5% нормативно изношенных трубопроводов вместо положенных 5%.

### АНАЛИЗ ДАННЫХ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ

На рис. 2 представлены сводные сравнительные данные по годовому потреблению топлива и удельному потреблению топлива на человека в год с учетом “очистения от климата”, т.е. климатической составляющей – градусо-суток отопительного периода (ГСОП). Для этого общее коли-

## Параметры и особенности систем теплоснабжения в типологических группах городов

Город	Ключевые параметры				Особенности и резервы
	население, млн чел.	удельная тепловая нагрузка, МВт/1000 чел.	удельная длина теплосетей, м/чел.	удельный отпуск тепла, ГДж/(чел · год)	
<b>Промышленные центры</b>					
Волгоград	1.01	2.53	0.86	32.32	Первый вариант включает в себя переключение тепловой нагрузки котельных на ТЭЦ-1 (в одном из районов – Тракторозаводском); остальные варианты направлены на расширение зоны действия существующих котельных путем переключения на них тепловой нагрузки низкоэффективных котельных
Красноярск	1.04	3.18	0.93	43.04	В целях оптимизации режимов загрузки ТЭЦ предусматривается переключение части тепловой нагрузки ТЭЦ-3 и ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1, а также частичное переключение на ТЭЦ тепловой нагрузки котельных, принадлежащих ООО «КраМЗЭнерго»
Новокузнецк	0.55	4.56	1.18	104.26	В схеме теплоснабжения рассмотрены варианты теплоснабжения не города в целом, а двух планировочных районов, которые могут быть подключены к ТЭЦ или котельным. Теплоснабжение города на рассматриваемые периоды рекомендуется вести от существующих теплоисточников (ТЭЦ и муниципальных котельных), а также от вновь построенных котельных и индивидуальных систем теплоснабжения
Омск	1.18	4.27	1.19	63.43	Перераспределение тепловых нагрузок между источниками тепловой энергии, строительство теплотрассы от ТЭЦ-4 в зоны перспективного роста нагрузки
Тольятти	0.71	6.36	0.77	64.90	Предусматриваются пять вариантов развития системы теплоснабжения в зависимости от реализации перспективных планов производственных площадок предприятий и жилой застройки

Продолжение

Город	Ключевые параметры				Особенности и резервы
	население, млн чел.	удельная тепловая нагрузка, МВт/1000 чел.	удельная длина теплосетей, м/чел.	удельный отпуск тепла, ГДж/(чел · год)	
Уфа	1.13	3.52	0.84	43.96	Первый сценарий – снятие ограничения установленной мощности ТЭЦ-5 размещением дожимных компрессоров. Согласно второму сценарию развития располагаемая тепловая мощность ПГУ ТЭЦ должна иметь проектное значение 337 МВт, а тепловую нагрузку жилого района “Рома-новка” будет покрывать новая котельная Дема-8 установленной тепловой мощностью 180 МВт
Челя-бинск	1.20	3.61	0.77	41.87	Предусмотрены вывод из эксплуатации устаревшего оборудования ЧТЭЦ-1 и ЧГРЭС, сооружение нового третьего энергоблока ЧГРЭС, реконструкция турбоагрегатов ЧТЭЦ-2 с увеличением тепловой мощности. Кроме того, планируется перевод ЧТЭЦ-2 на сжигание угля
В северных (холодных) районах					
Кемерово	0.65	3.18	1.00	96.30	Предполагается увеличение зоны действия Кемеровской ГРЭС, Кемеровской и Ново-Кемеровской ТЭЦ и Заискитимской водогрейной котельной (с установкой на ней оборудования для выработки электроэнергии) при подключении к ним перспективных потребителей
Новоси-бирск	1.60	3.04	0.93	42.96	При актуализации схемы скорректированы предполагаемые сроки ввода и установленные тепловые мощности предлагаемых к вводу котельных на новых территориях. Также предлагается построить котельные в зонах низкоэффективных источников тепла и увеличить мощность ТЭЦ-3
Тюмень	0.745	2.92	1.00	48.15	Два предлагаемых варианта реализации мероприятий на тепловых сетях и развития ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2 предусматривают изменение существующих зон теплоснабжения от ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2. Планируемые к строительству потребители, попадающие в существующую зону теплоснабжения от ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2, подключаются без ограничений

Продолжение

Город	Ключевые параметры				Особенности и резервы
	население, млн чел.	удельная тепловая нагрузка, МВт/1000 чел.	удельная длина теплосетей, м/чел.	удельный отпуск тепла, ГДж/(чел · год)	
В приморских (теплых) районах					
Астрахань	0.53	1.38	0.90	20.52	Применительно к источникам комбинированной выработки тепловой и электрической энергии муниципального образования “Город Астрахань” в “Схеме и программе развития Единой энергетической системы России на 2016–2022 гг.”, в указанный период ввод, вывод и строительство генерирующего оборудования не планируются
Владивосток	0.61	3.04	0.98	31.82	Строительство ГТ-ТЭЦ “Восточная” на площадке ЦПВБ тепловой мощностью 488 МВт. Реконструкция ТЭЦ-1, ТЭЦ-2. Расширение котельной “Северная” с доведением ее мощности до 580 МВт, строительство котельной “Змеинка” тепловой мощностью 290 МВт
Краснодар	0.88	1.98	1.08	15.70	Вариант № 1 был направлен на использование потенциала существующих ТЭЦ и строительство новых, но не был реализован. Вариант № 2 предусматривает развитие распределенной теплогенерации (котельных) для покрытия существующих и перспективных тепловых нагрузок с учетом максимальной загрузки существующих источников комбинированной выработки тепловой и электрической энергии
Махачкала	0.59	0.58	0.70	8.79	Предусмотрена реконструкция ТЭЦ (модернизация энергетических котлов БКЗ-75-39ТМ, БКЗ-75-39ГМА-2, водогрейных котлов ПТВМ-50) и скважин ОАО “Геоэкопром”, предполагающая увеличение мощностей централизованного теплоснабжения
Севастополь	0.43	1.01	1.16	6.49	Два сценария с использованием централизованного тепло- и энергоснабжения (в том числе от Севастопольской ТЭЦ) и два с установками распределенного теплоснабжения потребителей

## Окончание

Город	Ключевые параметры				Особенности и резервы
	население, млн чел.	удельная тепловая нагрузка, МВт/1000 чел.	удельная длина теплосетей, м/чел.	удельный отпуск тепла, ГДж/(чел · год)	
Прочие					
Нижний Новгород	1.26	2.49	1.00	30.73	Предусматриваются два варианта развития системы теплоснабжения при условии ввода в эксплуатацию Нижегородской ТЭЦ и один вариант (рекомендованный) при условии отсутствия использования тепловой мощности Нижегородской ТЭЦ с развитием системы теплоснабжения от Автозаводской ТЭЦ (строительство ПГУ)
Оренбург	0.56	2.27	0.80	32.87	Вариант 1 предполагает закрытие семи котельных, находящихся в зоне действия Сакмарской ТЭЦ, и перевод их тепловых нагрузок на Сакмарскую ТЭЦ. Вариант 2 предусматривает теплоснабжение удаленных перспективных площадок нового строительства в городе от собственных газовых котельных. По варианту 3 развития системы теплоснабжения города предлагается закрытие 16 малых котельных, находящихся в зоне действия Сакмарской ТЭЦ, и перевод их тепловых нагрузок на Сакмарскую ТЭЦ
Пенза	0.52	2.49	0.71	30.65	Рассмотрено два варианта. Принят вариант 1 (консервативный), который предполагает покрытие перспективных нагрузок города путем реконструкции оборудования имеющихся в настоящее время источников тепловой мощности
Самара	1.17	4.27	1.00	36.18	В мастер-плане схемы теплоснабжения города сформированы четыре альтернативных варианта развития существующей зоны теплоснабжения, предусматривающих перевод нагрузки от одного источника к другому
Саратов	0.843	1.720	0.60	31.74	Мастер-план и варианты развития системы теплоснабжения отсутствуют
Ульяновск	0.625	3.35	0.96	23.87	В мастер-плане схемы теплоснабжения города сформированы четыре сценария развития Правобережных районов (Засвияжского, Железнодорожного, Ленинского) и три сценария развития Левобережного (Заволжского) района

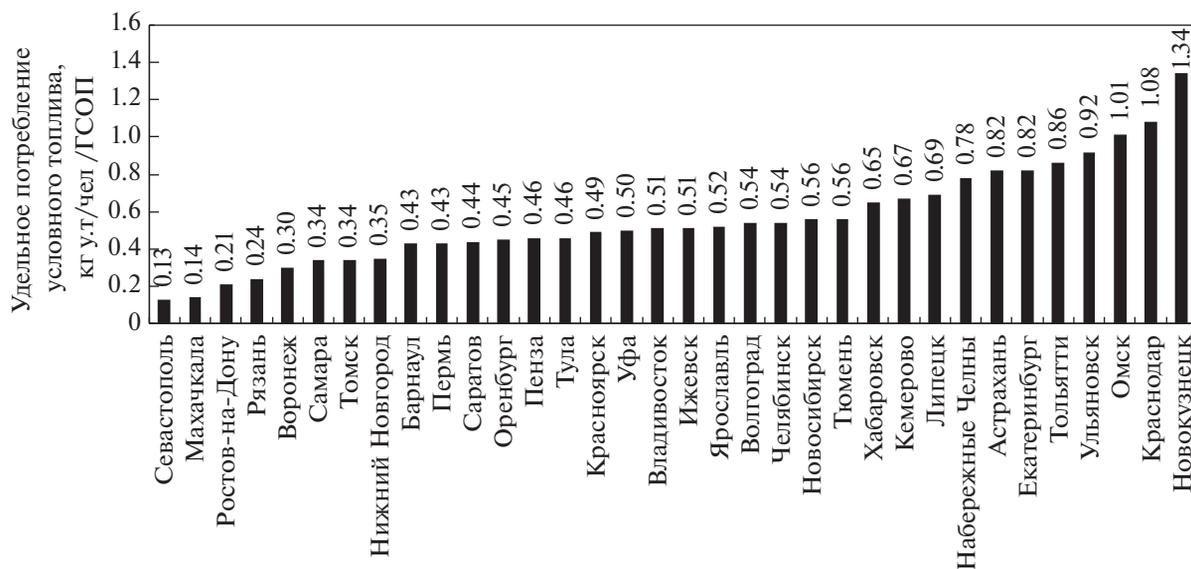


Рис. 2. Удельное потребление условного топлива на человека (“очищенное от климата”) по городам численностью населения от 500 тыс. чел. и выше

чество тепловой энергии за год поделено на ГСОП, т.е. на интенсивность холодного периода года, что дает возможность сравнивать города из разных климатических зон. Из гистограммы видно, что на сегодняшний день в крупных российских городах удельное потребление условного топлива в год на одного жителя (“очищенное от климата”) различается в разы: от 0.13 до 1.34 кг у.т./чел./ГСОП. Стоит отметить, что данный удельный показатель включает в себя также затраты топлива на выработку действующими в границах городских округов энергоисточниками (ТЭЦ) электроэнергии, которая поставляется в Единую энергетическую систему страны (за исключением изолированных энергоузлов). Этим можно объяснить низкие удельные топливные затраты в таких южных городах, как Севастополь и Махачкала, где выработка собственной электроэнергии мала и на два порядка отличается от выработки электроэнергии в других городах России.

Кроме того, на удельное потребление топлива на одного городского жителя влияет доля промышленного теплоснабжения из централизованных систем. Но далеко не во всех рассмотренных схемах четко выделено теплоснабжение промышленности. Промышленные тепловые нагрузки, как известно, могут покрываться из централизованных систем (котельных или ТЭЦ), промышленных котельных или ТЭЦ, утилизационных установок предприятий. Возможно, требуется дополнительный анализ их теплоснабжения, в рассматриваемом же примере авторы выделяют группу городов со значительной промышленной доминантой (см. таблицу) для

сравнения их удельных показателей с остальными городами, а зависимость удельных расходов тепла и топлива от доли промышленной нагрузки не выявлена.

Также ввиду местных особенностей рассматриваемых территорий на годовой удельный расход условного топлива на 1 чел. заметное влияние оказывают климатические характеристики, которыми всегда необходимо руководствоваться при определении тепловой нагрузки любого потребителя.

На основании проведенного анализа схем теплоснабжения крупных городов определена текущая эффективность выработки энергии в городах как отношение выработки электрической энергии в комбинированном цикле к тепловой энергии, отпущенной со всех типов источников системы централизованного теплоснабжения (показатель предложен В.И. Шлапаковым [8]), результаты расчетов представлены на рис. 3, 4. Поэтому, чтобы привести данные по городам в относительно сопоставимый по климату вид, необходимо сделать соответствующий расчет и очистить их от климатической составляющей – ГСОП. “Очистка от климата” позволила получить более корректные сравнительные данные по городам с наименьшим разбросом (рис. 5, 6). В дальнейшем их можно уточнить путем выделения топливной составляющей на выработку электроэнергии на ТЭЦ, затрат топлива на промышленность и др.

Из представленных данных видно, насколько эффективно используются существующие источники комбинированной выработки тепловой и электрической энергии (ТЭЦ) в городах России. Причем в тех же южных городах Махачкале и Сева-

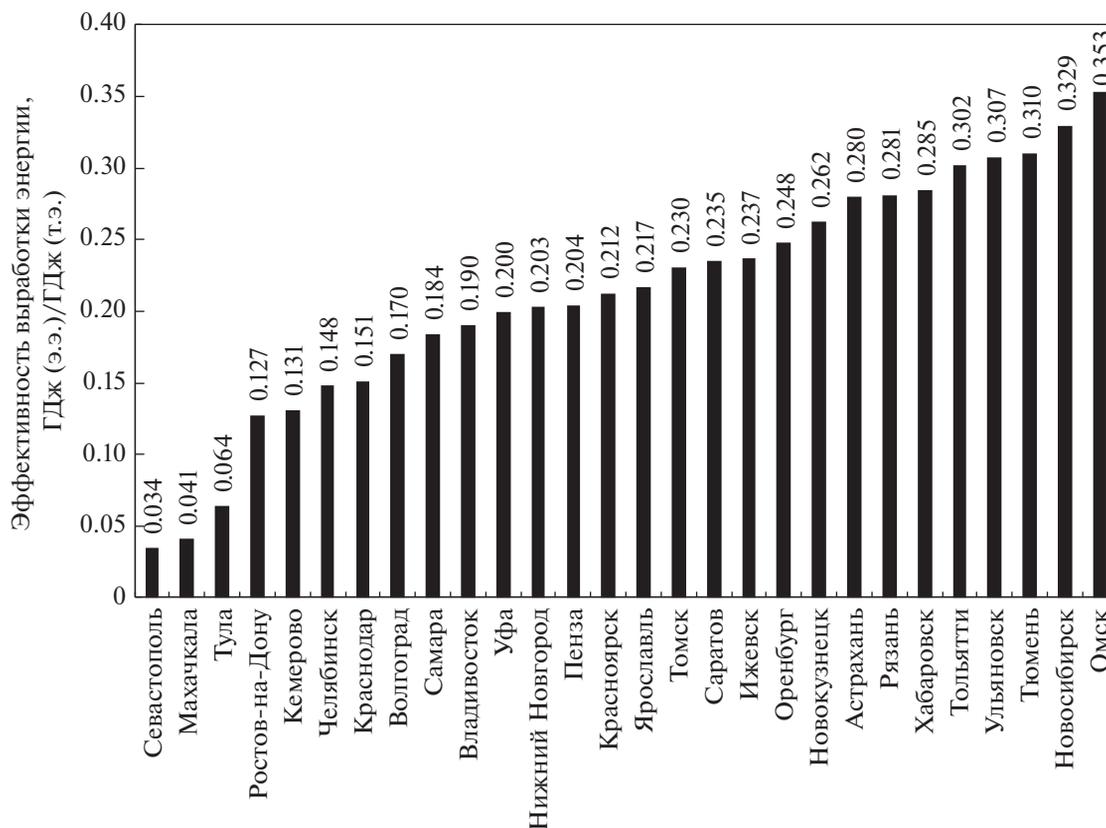


Рис. 3. Эффективность выработки энергии по городам численностью населения от 500 тыс. чел. и выше

стополе доля выработки электроэнергии на тепловом потреблении находится на очень низком уровне, в то время как, например, в Омске эффективность выработки энергии самая высокая, если опираться на исходные данные схем теплоснабжения городов.

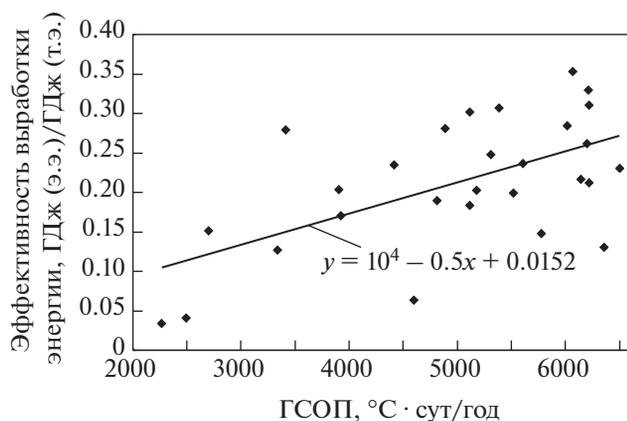
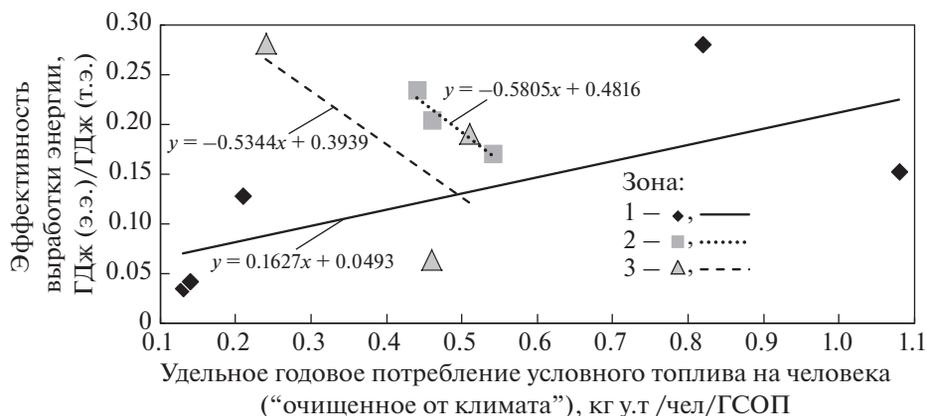


Рис. 4. Зависимость эффективности выработки энергии от числа ГСОП по городам численностью населения от 500 тыс. чел. и выше. Точки – фактические данные; линии – расчет

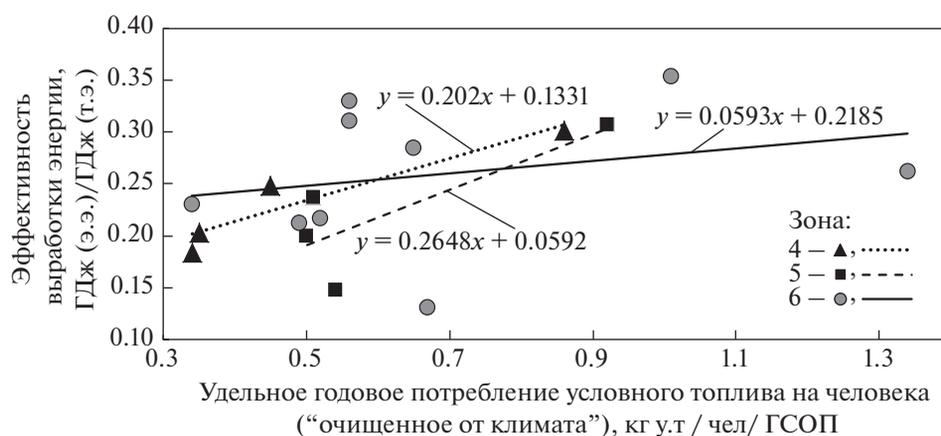
### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ ПО КЛИМАТИЧЕСКИМ ЗОНАМ И ДРУГИМ ВЛИЯЮЩИМ ФАКТОРАМ

В данном разделе рассмотрены удельное потребление топлива на человека и эффективность выработки энергии в зависимости от расположения крупного города в конкретной климатической зоне. Территория России делится на семь климатических зон. В городах, входящих в 1-ю и 2-ю климатические зоны, эффективно децентрализованное теплоснабжение, в остальных зонах – централизованное. Далее представлена “разбивка” крупных городов по шести климатическим зонам (в 7-ю ни один из рассмотренных городов не попадает).

Из крупных городов к 1-й климатической зоне относятся пять: Астрахань, Краснодар, Махачкала, Ростов-на-Дону и Севастополь. Анализ данных по этим городам показывает, что в большинстве из них при увеличении удельного потребления топлива на человека (“очищенного от климата”) возрастает и эффективность выработки энергии (см. рис. 5). Из общего тренда “выпадает” только Краснодар. При этом также видно, что чем больше



**Рис. 5.** Зависимость эффективности выработки энергии от удельного расхода топлива на человека (“очищенное от климата”) по крупным городам для климатических зон 1, 2, 3. Точки – фактические данные, линии – линейные зависимости, построенные по этим данным



**Рис. 6.** Зависимость эффективности выработки энергии от удельного расхода топлива на человека (“очищенное от климата”) по крупным городам для климатических зон 4, 5, 6. Точки – фактические данные, а линии – линейные зависимости, построенные по этим данным

удельное потребление топлива на душу населения, тем выше эффективность выработки энергии.

Во 2-й климатической зоне – три крупных города: Саратов, Пенза, Волгоград. Анализ данных по ним показывает, что здесь ситуация, по сравнению с городами из 1-й климатической зоны, обратная – при росте удельного потребления топлива на человека (“очищенного от климата”) эффективность выработки энергии снижается (см. рис. 5).

К 3-й климатической зоне относятся такие крупные города, как Рязань, Тула и Владивосток, и ситуация здесь аналогична городам из 2-й климатической зоны – при снижении удельного потребления топлива на человека (“очищенного от климата”) повышается эффективность выработки энергии (см. рис. 5).

В 4-й климатической зоне расположены Самара, Нижний Новгород, Оренбург и Тольятти, в

5-й климатической зоне – Уфа, Ижевск, Челябинск и Ульяновск, в 6-й – Томск, Красноярск, Ярославль, Тюмень, Новосибирск, Хабаровск, Кемерово, Омск и Новокузнецк. Анализ данных по всем перечисленным городам показывает, что ситуация в них аналогична городам из 1-й климатической зоны – при увеличении удельного потребления топлива на человека (“очищенного от климата”) наблюдается рост эффективности выработки энергии (см. рис. 6).

Таким образом, учитывая имеющиеся данные, можно подытожить: в городах 1, 4, 5, 6-й климатических зон при росте удельного расхода топлива на человека (“очищенного от климата”) эффективность выработки энергии повышается, а в городах 2-й и 3-й климатических зон – снижается.

Анализ показателей схем теплоснабжения крупных городов в зависимости от численности населения в них производится при условном их

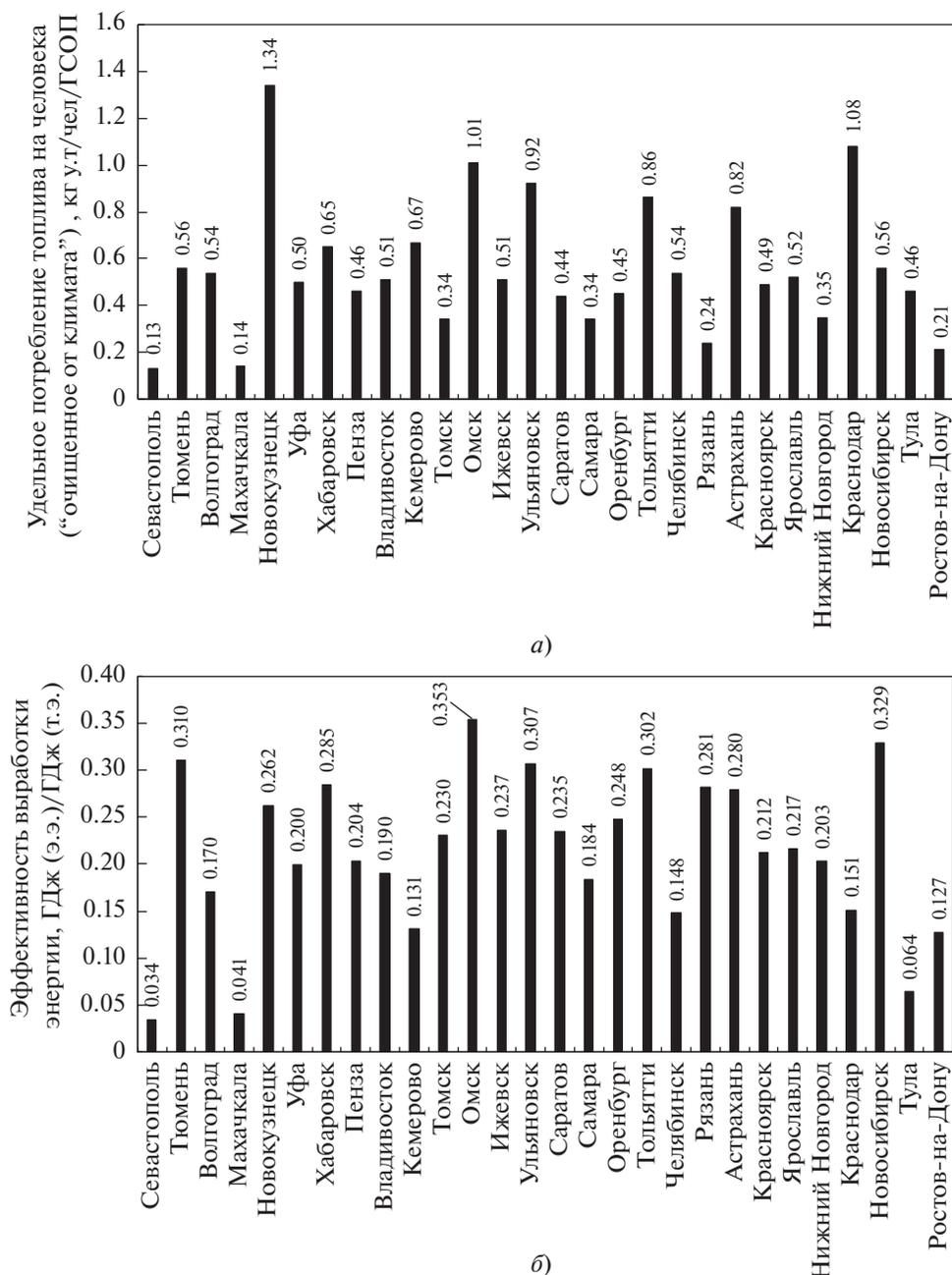


Рис. 7. Годовое удельное потребление топлива на человека (“очищенное от климата”) (а) и эффективность выработки энергии (б) при увеличении плотности населения, чел/км<sup>2</sup>

разбиении на три группы: до 600 тыс. чел., от 600 до 1000 тыс. чел., свыше 1000 тыс. чел.

Из анализируемой выборки крупных городов в первую группу входят десять: Севастополь, Тула, Пенза, Астрахань, Рязань, Новокузнецк, Кемерово, Оренбург, Томск, Махачкала; во вторую – девять: Владивосток, Ярославль, Хабаровск, Ульяновск, Ижевск, Тольятти, Тюмень, Саратов, Краснодар; в третью – девять: Волгоград, Красноярск, Ростов-на-Дону, Уфа, Самара, Омск, Челябинск, Нижний Новгород, Новосибирск. Ис-

ходя из представленных данных (с учетом распределения городов по группам) каких-либо четких зависимостей от численности населения не прослеживается.

Далее представлен анализ удельных расходов топлива в системах теплоснабжения некоторых крупных городов в зависимости от плотности населения (с учетом распределения городов по ее возрастанию, данные на 2017 г.). Для наглядности приведены удельное потребление топлива на человека в год (“очищенное от климата”) (рис. 7, а) и

эффективность выработки энергии (рис. 7, б) по крупным городам при увеличении плотности населения. Зависимости совокупной эффективности систем теплоснабжения от доли промышленной нагрузки, климатических условий и плотности населения весьма неоднозначны, и имеющиеся в схемах данные пока не позволяют сделать точный вывод о преобладании тех или иных факторов.

Несмотря на экспертизу, которую проходят схемы теплоснабжения городов численностью населения свыше 500 тыс. чел. перед утверждением в Министерстве энергетики РФ, выполненные схемы теплоснабжения все еще изобилуют неточностями и искажениями исходных данных. Поэтому зачастую они не дают исчерпывающей картины как общего состояния, так и резервов развития и повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения. Увы, многие разработанные схемы теплоснабжения, как правило, отражают стремление действующих сторон, муниципалитетов и прочих “собственников” к переделу “рынка тепла” в свою пользу, что далеко не всегда ведет к повышению надежности и качества теплоснабжения.

Разработка схем теплоснабжения городов – это высококвалифицированная предпроектная работа, которая требует учета большого количества разнообразных факторов, увязки тепловых и электрических нагрузок, наличия схем водоснабжения и других документов энергетического планирования [9]. В системах теплоснабжения городов России наиболее ярко проявляется необходимость междисциплинарного учета всех составляющих (от источника до потребителя) для определения общей их эффективности. Именно качество разработки схем теплоснабжения во многом определяет точность “диагноза” сложных распределенных энергоемких теплоэнергетических систем и, соответственно, выбор методов “лечения”. Опыт ведущих отраслевых институтов (ВНИПИэнергопром, Промэнергопроект и др.) и их филиалов в бывших республиках СССР позволил новым инженерным командам в Москве, Санкт-Петербурге, Иваново, Минске, Алматы и других городах приступить к формированию схем на новой основе [10]. При этом авторы полагают, что очень важно обеспечить творческий сплав как отработанных балансовых методов и современных подходов с применением моделирующих комплексов, автоматизированных систем учета теплопотребления, так и подготовку специалистов на этой основе. Авторы надеются, что представленный материал послужит реализации данной цели.

## ВЫВОДЫ

1. Десятилетний юбилей принятия “основного закона” в теплоснабжении позволяет сделать однозначный вывод о его позитивном влиянии на от-

расль в целом, наведение порядка с учетом тепловой энергии, разработку схем теплоснабжения, формирование и функционирование единых теплоснабжающих компаний в городах. Но, вместе с тем, необходимость разработки схем теплоснабжения оправдана не более чем для 1200–1250 городских поселений (численностью свыше 25 тыс. чел.), а увеличение их числа почти в 10 раз сыграло негативную роль при их разработке.

2. Сравнительный анализ особенностей, параметров и проблем теплоснабжения 40 крупных городов страны, потребляющих суммарно около 21% тепла, показал, что существующие схемы теплоснабжения все еще изобилуют неточностями и искажениями исходных данных и зачастую не дают полной, исчерпывающей картины как общего состояния, так и резервов развития и повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения.

3. В отсутствие осмысленной государственной политики модернизации теплоснабжения как наиболее энергоемкой системы жизнеобеспечения страны, выполненные схемы теплоснабжения, как правило, отражают попытки передела “рынка тепла” со стороны муниципалитетов и прочих “собственников”, что ведет к снижению надежности и качества теплоснабжения.

4. Невидимые и довольно масштабные тенденции роста автономных, децентрализованных и распределенных источников теплоснабжения в городах с высокой плотностью тепловой нагрузки (Воронеж, Калининград, Ульяновск и др.) практически не находят отражения в выполняемых схемах теплоснабжения. Пока еще недостаточно задействованы в разработанных схемах возможности использования вторичных и возобновляемых источников тепловой энергии.

5. Полученные удельные расходы тепла и топлива в системах теплоснабжения городов весьма условно коррелируют с ключевыми влияющими факторами: промышленным теплопотреблением, климатом, плотностью населения. Отсутствует четкая зависимость годового удельного потребления топлива на человека (включая данные, “очищенные от климата”) и эффективности выработки энергии от численности и плотности населения крупных городов.

6. Естественно, одни только удельные показатели не могут дать полной картины имеющихся резервов повышения эффективности сложных систем теплоснабжения. Поскольку в системах теплоснабжения 170 наиболее крупных российских городов особенно ярко проявляется необходимость междисциплинарного учета всех составляющих (от источника до потребителя) для определения их общей эффективности, то требуются инструменты выявления резервов различной

природы для городов разного размера и находящихся в разных климатических зонах.

7. Абстрактные математические модели систем теплоснабжения, оторванные от реальных топологических параметров сетей, расположения источников тепла, плотности тепловых нагрузок и других важнейших территориальных особенностей, как правило, не дают полной картины наличия резервов повышения эффективности системы теплоснабжения в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **О теплоснабжении** (с изменениями и дополнениями). Федеральный закон № 190-ФЗ от 27.07.2010. Утв. 27.07.2010. [Электрон. ресурс.] Режим доступа: <https://base.garant.ru/12177489/>
2. **Пузаков В.С.** Анализ разработки, утверждения, актуализации и реализации схем теплоснабжения городов и поселений // *Новости теплоснабжения*. 2018. № 2. С. 16–22.
3. **Россия в цифрах**: краткий статистический сб. Офф. изд. ФСГС (Росстат), 2019. [Электрон. ресурс.] Режим доступа: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2019/rusfig/rus19.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2019/rusfig/rus19.pdf)
4. **Гашо Е.Г., Пузаков В.С., Степанова М.В.** Резервы и приоритеты теплоэнергоснабжения российских городов в современных условиях // Открытый семинар “Экономика энергетики” (семинар А.С. Некрасова). 159-е заседание от 26.05.2015. М.: ИИП РАН, 2015.
5. **Единая информационная система в сфере закупок** [Электрон. ресурс.] Режим доступа: [www.zakupki.gov.ru](http://www.zakupki.gov.ru) (Дата обращения 01.07.2019.)
6. **О внесении изменений в требования к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения**. Постановление Правительства РФ № 154 от 22.02.2012. [Электрон. ресурс.] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420343423> (Дата обращения 01.07.2019.)
7. **О водоснабжении и водоотведении**. Федеральный закон № 416-ФЗ от 07.12.2011 (с изменениями и дополнениями). Утв. 07.12.2011. [Электрон. ресурс.] Режим доступа: <https://base.garant.ru/70103066/#friends>
8. **Шлапаков В.И.** Показатель энергоэффективности – основа развития энергетики // *Энергетика и промышленность России*. 16–30 июня 2008 г. № 12 (104). С. 17.
9. **Папушкин В.Н.** О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения // *Новости теплоснабжения*. 2012. № 3. С. 8–9.
10. **Гашо Е.Г., Пузаков В.С.** Схемы теплоснабжения российских городов и реальная жизнь // *Новости теплоснабжения*. 2020. № 2. С. 8–22.

## An Analysis of Problems and Trends Relating to the Development of Heat-Supply Systems for Russian Cities

E. G. Gasho<sup>a</sup>, V. S. Puzakov<sup>b</sup>, and S. V. Guzhov<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>National Research University, Moscow Power Engineering Institute, Moscow, 111250 Russia

<sup>b</sup>OOO Ensys Technologies, Moscow, 108811 Russia

\*e-mail: [GuzhovSV@yandex.ru](mailto:GuzhovSV@yandex.ru)

**Abstract**—Problems associated with the development of heat-supply systems for large- and medium-size cities in Russia are analyzed. To this end, the approved heat-supply schemes of almost forty cities are reviewed and briefly analyzed taking into account their key territorial features. The main features of heat-supply systems for cities are analyzed, including the state of heat networks, excess capacities of sources, parameters of combined heat and power plants operating in the forced generation mode, and also the possibilities of using secondary and renewable energy sources for heat generation. The specific indicators characterizing heat consumption are calculated with taking into account, among other factors, the heating season degree days. The dependences of specific fuel consumption and energy generation efficiency on the climatic parameters, population density, and other factors are considered. For estimating the potential efficiency improvement reserves, consolidated data on the total installed capacity and heat-supply modes in cities are given. The aim of the study was to reveal the key problems and main trends associated with the development of heat-supply systems for cities. Large- and medium-size cities of Russia were distributed into a few typological groups, and their analysis has shown similarity of the problems occurring in them along with possible sets of typical measures and methods for solving them. The effectiveness of heat-supply systems as a whole for some cities depending on the population density and number and in different climatic zones is estimated. It is found that the obtained indicators characterizing the resulting efficiency of heat-supply systems are not directly linked with the fraction of industrial load, population density, and climate. In elaborating the heat-supply schemes, it is proposed to use the energy and environmental effectiveness indicators for revealing the key reserves for sustainable development of the most important life-support infrastructures of cities in Russia’s different climatic zones.

**Keywords:** heat-supply scheme of a city, total installed thermal capacity, heat supply, standard wear of heat network pipelines, heat-generation efficiency, climatic zone