

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ



УДК 621.1.016.7

DOI:10.30724/1998-9903-2026-28-2-134-147

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Зиганшин¹ Ш.Г., Герасимов² Е.В.

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²АО «Казэнерго», г. Казань, Россия

gev.evg@yandex.ru

Резюме: Статья посвящена проблематике выбора оптимального температурного графика в системе теплоснабжения. **АКТУАЛЬНОСТЬ.** В настоящее время в теплоснабжающих организациях применяются многочисленные варианты температурных графиков без технико-экономического обоснования их применения. Существует проблема отсутствия единой методики выбора оптимального температурного графика работы системы теплоснабжения. Правильный выбор температурного графика определяет энергоэффективность и надежность работы системы теплоснабжения. **ЦЕЛЬ.** Анализ существующих методик выбора наиболее целесообразного температурного графика работы тепловой сети, оценка их достаточности для решения задачи оптимизации системы теплоснабжения. **МЕТОДЫ.** Для решения данной проблемы авторы провели литературный обзор существующих подходов и методик выбора температурных графиков в различных климатических и эксплуатационных условиях. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** На основе проведенного анализа, сделан вывод о необходимости разработки единой методики выбора оптимального температурного графика. В целях возможности практического использования, разрабатываемая методика должна учитывать весь комплекс параметров работы системы теплоснабжения и при этом минимизировать трудоемкость расчетов. Приведены факторы, предлагаемые к учёту при разработке методики выбора оптимального температурного графика, среди которых — удельные расходы энергоносителей, потери тепла в сетях, надёжность теплоснабжения с учётом температурных деформаций, эксплуатационные и капитальные затраты, а также тарифные последствия для потребителей.

Ключевые слова: температурный график; тепловые сети; температура теплоносителя; оптимизация; методика.

Благодарности: Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ.

Для цитирования: Зиганшин Ш.Г., Герасимов Е.В. Анализ существующих методик выбора оптимального температурного графика в системе теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2026. Т. 28. № 2. С. 134-147. doi: 10.30724/1998-9903-2026-28-2-134-147.

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR CHOOSING THE OPTIMAL TEMPERATURE SCHEDULE IN THE HEAT SUPPLY SYSTEM

Ziganshin¹ S.G., Gerasimov² E.V.

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

²Kazenergo JSC, Kazan, Russia

gev.evg@yandex.ru

Abstract: The article is devoted to the problem of choosing the optimal temperature schedule in the heat supply system. Currently, numerous variants of temperature schedules are used in heat supply organizations without a feasibility study of their application. There is a problem of the lack of a unified methodology for choosing the optimal temperature schedule for the heat supply system. The correct choice of the temperature schedule determines the energy efficiency and reliability of the heat supply system. The purpose of the article is the analysis of existing methods for selecting the most appropriate temperature schedule for the heating network, assessment of their sufficiency to solve the problem of optimizing the heat supply system. **METHODS.** To solve this problem, the authors conducted a literature review of existing approaches and methods for selecting temperature schedules in various climatic and operational conditions. **conclusion.** Based on the analysis, it is concluded that it is necessary to develop a unified methodology for choosing the optimal temperature schedule. In order to be able to use it in practice, the developed methodology should take into account the entire range of parameters of the heat supply system and at the same time minimize the complexity of calculations. The factors proposed to be taken into account when developing a methodology for choosing the optimal temperature schedule are given, including specific energy costs, heat losses in networks, reliability of heat supply taking into account temperature deformations, operating and capital costs, as well as tariff consequences for consumers.

Keywords: temperature graph; heating networks; coolant temperature; optimization; methodology.

Acknowledgments: The work was carried out at the expense of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to educational organizations of higher education, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and teaching staff to defend doctoral theses and perform research.

For citation: Ziganshin S.G., Gerasimov E.V. Analysis of existing methods for choosing the optimal temperature schedule in the heat supply system. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2026; 28 (2): 134-147. doi: 10.30724/1998-9903-2026-28-2-134-147.

Введение (Introduction)

С учетом высокой социальной значимости отрасли теплоснабжения, задача обеспечения надежности и повышения энергоэффективности теплоэнергетических систем является актуальной. В ее решении значительна роль выбора оптимального температурного графика отпуска тепловой энергии в систему теплоснабжения. От выбора температурного графика зависит эффективность функционирования системы в целом. При этом влияние температурного графика на систему теплоснабжения является многофакторным. Это и материальная характеристика тепловой сети, и необходимый объем капитальных вложений, как при строительстве, так и ремонте, и реконструкции трубопроводов. При различных температурных графиках для одной и той же системы теплоснабжения будут различны как величина потерь тепловой энергии при ее передаче, так и затраты электроэнергии на транспорт теплоносителя. Температурный график влияет на надежность теплоснабжения, на величину эксплуатационных расходов теплоснабжающей организации.

Целью исследования является анализ существующих, технико-экономически обоснованных методик выбора оптимального, наиболее целесообразного для конкретной системы теплоснабжения температурного графика работы тепловой сети.

В настоящее время в теплоснабжающих организациях используются многочисленные варианты температурных графиков без технико-экономического обоснования их применения. Существующие методики выбора температурного графика имеют ряд недостатков, анализу которых посвящена данная статья. Сделан вывод об отсутствии единой нормативной методики выбора оптимального температурного графика и необходимости ее разработки.

Научная значимость исследования заключается в определении технических и экономических параметров, которые необходимо учитывать при выборе оптимального температурного графика.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке новой методики выбора оптимального температурного графика.

Методика расчета температурного графика (The method of calculating the temperature graph)

Регулирование количества тепловой энергии, передаваемой от источника теплоснабжения потребителю, осуществляется в соответствии с температурным графиком. С учетом того, что количество тепловой энергии является произведением расхода теплоносителя и разницы температур в подающем и обратном трубопроводах, существуют три метода регулирования отпуска тепловой энергии:

- качественный – изменяется температура теплоносителя, при его постоянном расходе;
- качественно-количественный – изменяются и температура, и расход теплоносителя;
- количественный – регулирование осуществляется за счет изменения расхода теплоносителя.

В российском теплоснабжении на источниках тепловой энергии исторически применялся качественный метод регулирования, который имеет ряд объективных преимуществ. Данный метод обеспечивает наибольшую технологическую простоту регулирования на источнике, способствует упрощению гидравлического режима работы тепловой сети и позволяет снизить удельную металлоёмкость трубопроводов.

Формулы расчёта температурного графика выводятся из совместного решения трёх уравнений теплопередачи.

$$t_1 = t_{\text{вн}} + \Delta t^p \cdot (\overline{Q}_0)^{\frac{1}{1+n}} + \left(\delta t_0 - \frac{\theta_0^p}{2} \right) \cdot \overline{Q}_0 = (1 + u) \cdot t_3 - u \cdot t_2, \quad (1)$$

$$t_2 = t_{\text{вн}} + \Delta t^p \cdot (\overline{Q}_0)^{\frac{1}{1+n}} - \frac{\theta_0^p}{2} \cdot \overline{Q}_0 = t_3 - \theta_0^p \cdot \overline{Q}_0 = t_1 - \delta t_0 \cdot \overline{Q}_0, \quad (2)$$

$$t_3 = t_{\text{вн}} + \Delta t^p \cdot (\overline{Q}_0)^{\frac{1}{1+n}} + \frac{\theta_0^p}{2} \cdot \overline{Q}_0 = t_2 + \theta_0^p \cdot \overline{Q}_0. \quad (3)$$

где t_1 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе до узла смешения, °С; t_2 – температура теплоносителя в обратном трубопроводе от систем отопления, °С; t_3 – температура теплоносителя на входе в отопительный прибор после узла смешения, °С; $t_{\text{вн}}$ – температура воздуха в отапливаемом здании, °С; Δt^p – температурный напор отопительного прибора при расчётном режиме; δt_0 – расчётный перепад температур тепловой сети, °С; θ_0^p – расчётный перепад температур теплоносителя в нагревательных приборах, °С; \overline{Q}_0 – относительная отопительная нагрузка; n – постоянная, зависящая от типа нагревательного прибора; u – коэффициент смешения на тепловом узле.

Значения температуры сетевой воды после смешения t_3^ϕ , °С и температуры сетевой воды в обратном трубопроводе от систем отопления t_2^ϕ , °С в диапазоне температур наружного воздуха, соответствующих спрямлению температурного графика на горячее водоснабжение (ГВС), а также «срезке» температурного графика:

$$t_2^\phi = t_1 - \frac{t_1^\phi - t_n}{t_1 - t_n} \cdot (t_1 - t_2), \quad (4)$$

$$t_3^\phi = t_1 - \frac{t_1^\phi - t_n}{t_1 - t_n} \cdot (t_1 - t_3). \quad (5)$$

где t_1^ϕ – температура теплоносителя в подающем трубопроводе до узла смешения, в диапазоне температур наружного воздуха, соответствующих спрямлению температурного графика на ГВС, а также «срезке» температурного графика, °С; t_n – температура наружного воздуха, °С.

Температурные графики, применяемые в системах теплоснабжения (Temperature charts used in heat supply system)

Схемы теплоснабжения российских городов, размещенные в открытом доступе, предоставляют неоценимую информацию как в целом о системах теплоснабжения различных городов, так и об используемых температурных графиках. Так в городах Владимир, Воронеж, Екатеринбург, Иваново, Ижевск, Йошкар-Ола, Казань, Киров, Москва, Нижний Новгород, Набережные Челны в настоящее время используется более 10 видов температурных графиков. Кроме классических графиков 150/70°С, 130/70°С (Рис.1), 115/70°С (Рис.2), 95/70°С (Рис.3) (при необходимости, с изломом для приготовления горячей воды), используются многочисленные графики с так называемой верхней срезкой. Встречаются и достаточно уникальные температурные графики, например 110/80°С, 105/75°С.

Многообразии применяемых температурных графиков свидетельствует о том, что их выбор представляет собой непростую задачу, зависящую от множества факторов. Эта задача возникает как на этапе проектирования системы теплоснабжения, так и в процессе её эксплуатации.

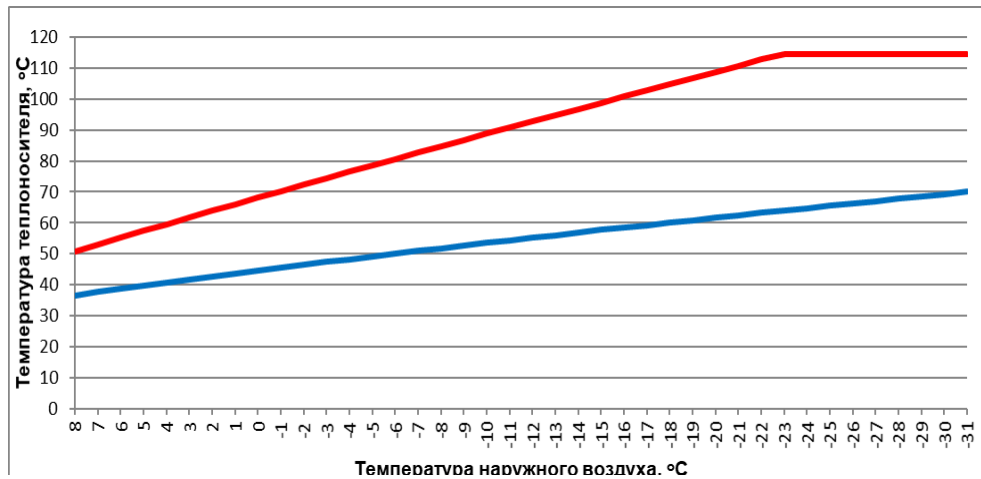


Рис.1. Температурный график 130-70 °C без спрямления на ГВС, со срезкой при температуре наружного воздуха -23 °C
 Fig.1. Temperature graph 130-70 °C without hot water straightening, with shearing at an outdoor temperature of -23 °C
 *Источник: Составлено автором (Source: Compiled by the author)

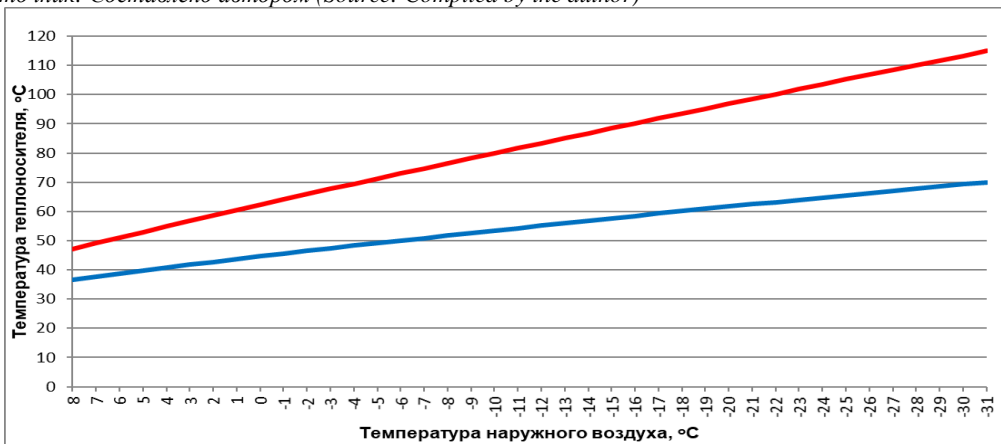


Рис. 2. Температурный график 115-70 °C без спрямления на ГВС, без срезки
 Fig. 2. Temperature graph 115-70 °C without hot water straightening, without cutting
 *Источник: Составлено автором (Source: Compiled by the author)

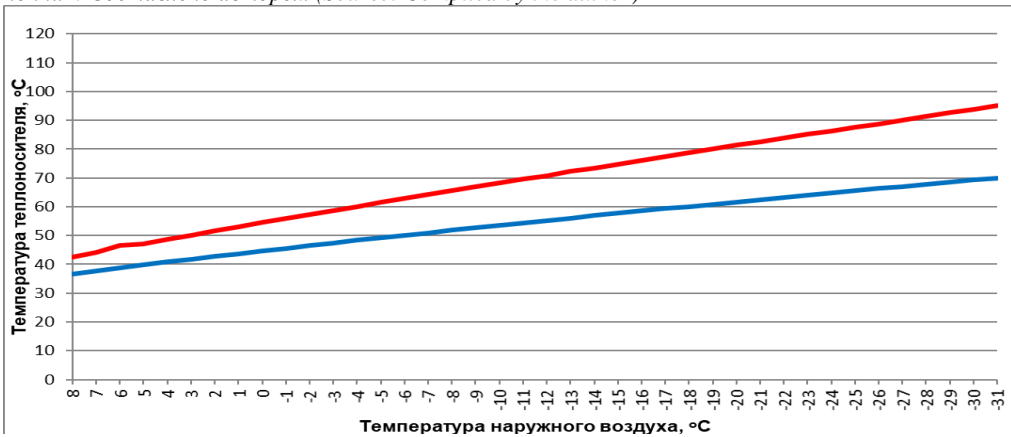


Рис. 3. Температурный график 95-70 °C без спрямления на ГВС, без срезки
 Fig. 3. Temperature graph 95-70 °C without hot water straightening, without cutting
 *Источник: Составлено автором (Source: Compiled by the author)

В процессе проектирования температурный график должен выбираться на основании технико-экономического обоснования, учитывающего комплекс различных параметров работы системы теплоснабжения. Для различных температурных графиков объём необходимых капитальных вложений в строительство теплоисточников и тепловых сетей может существенно различаться вследствие применения технических решений и теплоэнергетического оборудования, подходящих под конкретный температурный режим. При разработке проекта должны быть учтены эксплуатационные расходы, включая объёмы потерь тепловой энергии, а также затраты электроэнергии на транспортировку теплоносителя при различных температурных графиках.

Однако на практике разработчик проекта часто ограничен в выборе оптимального температурного графика выданными техническими условиями на проектирование. При проектировании котельных и тепловых сетей многое зависит от технической политики конкретной теплоснабжающей организации, которая является заказчиком проекта. Не все требования, предъявляемые теплоснабжающими организациями, основаны на объективных, технико-экономически обоснованных решениях.

Например, теплоснабжающая организация – заказчик проекта нового источника тепловой энергии, эксплуатирует только котельные с максимальной температурой до 115°C. Неизбежно в технических условиях на проектирование будут указаны котлоагрегаты, также ограниченные температурой 115°C. Причем единственным аргументом будет являться нежелание теплоснабжающей организации эксплуатировать оборудование, подведомственное Ростехнадзору. При этом даже в тех случаях, когда технико-экономические расчёты свидетельствуют о большей эффективности температурного графика 130/70°C, уже на стадии проектирования появляются гибридные графики, с верхней срезкой на 115°C. В условиях фактического отсутствия перехода на количественное регулирование в период срезки, несмотря на его учёт в схемах теплоснабжения, уже на стадии проектирования закладываются предпосылки для проблем с обеспечением качественного теплоснабжения.

В период эксплуатации температурные графики также часто корректируются. Даже в рамках требований федерального законодательства (Федеральный закон от 27.07.2010 №190-ФЗ «О теплоснабжении», Постановление Правительства РФ от 22.02.2012 №154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения») для каждой существующей системы теплоснабжения необходим расчет оптимального температурного графика и обоснование выбора графика изменения температур и расхода теплоносителя. При этом единая методика, по которой возможно выполнение данных требований, отсутствует.

Кроме не оптимального выбора температурного графика на стадии проектирования, существует проблема его изменения в процессе эксплуатации, которое объясняется эволюционным развитием системы теплоснабжения: подключаются новые потребители тепловой энергии, увеличивается зона действия источника тепловой энергии в рамках радиуса эффективного теплоснабжения, в результате реконструкции и модернизации качественно изменяется состав оборудования. Также в процессе эксплуатации выявляется несоответствие проектных, договорных тепловых нагрузок фактическому потреблению тепловой энергии, разница между которыми может достигать 30%. Большую роль здесь играют и проводимые капитальные ремонты зданий (потребителей тепловой энергии) с применением современных высокоэффективных теплоизолирующих материалов. Кроме того, проявляется тенденция в отказе потребителей от тепловой нагрузки на нужды вентиляции.

Однако на практике, анализируя утвержденные схемы теплоснабжения муниципальных образований мы видим, что практически все случаи корректировок температурных графиков направлены на снижение максимальной температуры теплоносителя. В настоящее время температурный график 150/70°C в чистом виде практически не применяется. Более того, за последние два десятилетия большинство теплоснабжающих организаций прошли путь поэтапного снижения температурного графика до 135/65°C, 130/70°C и даже до 115/70°C.

В первую очередь причина кроется в физическом состоянии трубопроводов. В настоящее время в целом по Российской Федерации объемы ремонта теплоэнергетического оборудования и тепловых сетей не соответствуют нормативным значениям [1]. Из материалов [2], следует, что из 167,2 тыс. км. тепловых сетей, эксплуатируемых в стране, требуют замены 50,6 тыс. км. (30,26%), находятся в ветхом состоянии 38,9 тыс. км. (23,26%) (Рис. 4).

Значительный износ трубопроводов тепловых сетей является следствием недостаточного объема реконструкции и ремонта. Ежегодный объем замены тепловых сетей в масштабах страны составляет около 2 %. При этом при нормативном сроке службы трубопроводов, равном 25 годам, необходимый ежегодный уровень обновления должен составлять не менее 4 %. Недостаточный объем замены тепловых сетей связан с ограниченным размером инвестиций, поступающих в отрасль. По оценке Минстроя РФ, для опережения темпов ветшания основных средств, необходимо одномоментно вложить 4 трлн. рублей. Для уменьшения уровня фактического износа до 40%, нужно около 20 трлн. рублей. Это больше половины годового бюджета РФ в 2024 году.

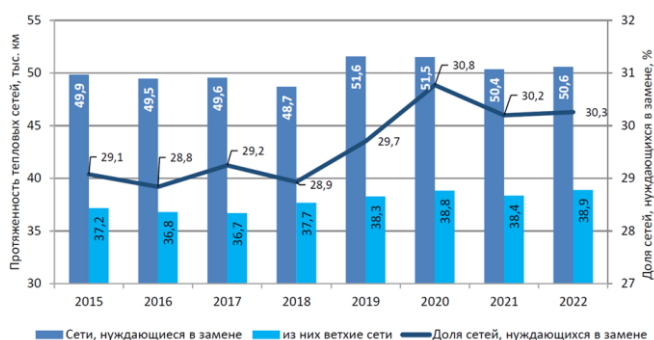


Рис.4. Протяженность тепловых сетей, нуждающихся в замене, тыс. км
Fig.4. Length of heating networks in need of replacement, thousand km

*Источник: [2] (Source:[2])

В 2022 году суммарный объем выручки в секторе централизованного теплоснабжения за реализованную тепловую энергию составил 2,3 трлн. руб., при этом убыток по всем видам деятельности составил 149 млрд. руб. Фактические инвестиции в отрасль в 2022 году составили 202 млрд. руб.

При этом значительную долю — 164,7 млрд. руб. (82 %) — составляют собственные средства организаций, которые являются тарифными источниками.

Такое соотношение собственных и привлеченных средств ограничивает рост объема инвестиций из-за установленного предельного индекса роста платы граждан за коммунальные услуги.

При существующем фактическом состоянии тепловых сетей в Российской Федерации повышение температурного графика неизбежно приведет к скачкообразному увеличению повреждаемости трубопроводов за счет больших температурных расширений. Эффект, полученный за счет экономии энергоресурсов, в большинстве случаев не окупит увеличение затрат на аварийно-восстановительные и ремонтные работы. В существующих условиях переход к повышенному графику снизит надёжность теплоснабжения.

Поэтому к вопросу повышения температурного графика теплоснабжающие организации относятся очень настороженно. Например, в системе теплоснабжения города Набережные Челны планируется значительный объем подключения новых потребителей. При сохранении существующего температурного графика потребуются многомиллиардные капитальные вложения на увеличение диаметров магистральных тепловодов. При увеличении температурного графика до 135/65°C капитальные вложения кратно снижаются. Несмотря на явный и значительный экономический эффект, и разработчики схемы теплоснабжения, и теплоснабжающая организация подходят к вопросу повышения температурного графика крайне осторожно, предпочитая максимально откладывать принятие соответствующего решения.

Переход к повышенному температурному графику также потребует, как минимум, переналадки всех узлов смешения у потребителей, что также является затратным мероприятием. Опыт показывает, что после изменения температурного графика наладить в системе теплоснабжения устойчивый гидравлический режим удастся только на второй – третий отопительный сезон, с большими трудозатратами.

Существующие методики выбора оптимального температурного графика (Existing methods for selecting the optimal temperature schedule)

Действующее законодательство требует в текущих условиях оценить, рассчитать и выбрать оптимальный температурный график. В условиях жесткого регулирования и сдерживания роста тарифа теплоснабжающие организации заинтересованы в снижении издержек за счет оптимизации температурного графика. Таким образом, выбор оптимального температурного графика является многокритериальной задачей.

При этом вопросам, связанным с различными вариантами оптимизации температурного графика систем теплоснабжения уделено большое внимание отечественных ученых. В зарубежной научной литературе этим аспектам уделено значительно меньше внимания, что объясняется тем, что развитые системы централизованного теплоснабжения с разветвленной схемой тепловых сетей и качественным методом регулирования получили широкое распространение именно в СССР.

Так, в работах [3-6] рассмотрены проблемы влияния температурного графика на энергоэффективность работы системы теплоснабжения от источника тепловой энергии до потребителя. В исследованиях [7-8] выполнена оценка влияния температурного графика на

материальную характеристику тепловой сети и возможности его оптимизации. В [9-11] рассмотрена зависимость величины потерь тепловой энергии в тепловых сетях от используемого температурного графика. В трудах [12-14] большое внимание уделено вопросам повышения и понижения эксплуатационных температурных графиков. Вопросы энергоэффективности использования различных температурных графиков и их влияния на параметры работы системы теплоснабжения рассмотрены в материалах [15-17]. Авторами статьи [18] разработана теплогидравлическая модель системы теплоснабжения как основа для расчета оптимального температурного графика. Подробно рассмотрено влияние температурных графиков на отдельные параметры работы системы теплоснабжения в исследованиях [19-21]. Необходимость и технико-экономическая целесообразность корректировки температурных графиков, влияние «точки излома» показано в [22-24]. Практические решения по повышению эффективности теплоснабжения за счет изменения температурного графика приведены в работах [25-28].

Исследователями [29-32] подробно рассматриваются вопросы влияния температурного графика на гидравлический режим работы тепловой сети. В работах [33-36] изучается влияние выбора температурного графика на принятие проектных решений, в том числе выбора диаметра тепловой сети. Вопросы эффективного регулирования режимов работы тепловой сети рассмотрено в [37-38]. Комплексному влиянию изменения температурного графика на теплогидравлический режим работы тепловой сети посвящен ряд работ [39-47].

Однако в данных работах эффективность работы систем теплоснабжения оценивается только с точки зрения одного-двух параметров, прежде всего затрат энергоресурсов и объема капитальных вложений. Не учитывается влияние температурного графика на эксплуатационные расходы, затраты на ремонт в структуре себестоимости тепловой энергии, т.е. отсутствует комплексное решение проблемы.

В работах [48,49] выполнено моделирование режимов работы тепловых пунктов по графику, рассчитанному на максимальную тепловую нагрузку горячего водоснабжения; определены годовые эксплуатационные затраты с учетом продолжительности температур наружного воздуха, расходов и температур воды в теплосети. При этом отсутствует единый методический подход к выбору оптимального температурного графика для конкретных теплоснабжающих организаций. Другими авторами [50] исследовано взаимное влияние выбранного температурного графика на радиус эффективного теплоснабжения, что позволяет оптимизировать процедуру подключения новых потребителей. В исследовании [51] разработан метод корректировки температурного графика на основании данных технического обследования. Указанный метод ограничен фактическим состоянием системы теплоснабжения и не позволяет выбрать оптимальный температурный график, оценить величину необходимых капитальных вложений для возможности его внедрения теплоснабжающей организацией. В публикации [52] разработана комплексная предиктивная модель оценки конечной цены на тепловую энергию в системе централизованного теплоснабжения, предназначенная для определения возможности понижения температурного графика тепловой сети с учетом минимизации операционных расходов и продления сроков службы трубопроводов тепловых сетей. В работе [53] высказано предложение о необходимости внесения концептуальных изменений в расчет параметров температурных графиков.

Таким образом, проблема отсутствия единой методики выбора оптимального температурного графика работы системы теплоснабжения является актуальной. Необходимо учитывать весь комплекс факторов, влияющих на эффективность, надежность и качество теплоснабжения.

Наиболее проработанный алгоритм оптимизации температурного графика в действующих тепловых сетях предложили специалисты ОАО «ВТИ» [54]. Для реализации алгоритма авторами предложено четыре базовые модели системы теплоснабжения:

теплогидравлическая модель – предназначена для включения в расчет существующих балансовых условий и режимов передачи тепловой энергии и теплоносителя от источника тепловой энергии до потребителя;

модель надёжности теплоснабжения – предназначена для обеспечения нормативных параметров надёжности теплоснабжения тепловых сетей и каждого потребителя в системе теплоснабжения;

балансовая энергетическая модель – увязывает балансы затрат энергоресурсов на процесс производства и передачи тепловой энергии;

тарифная модель – позволяет прогнозировать ценовые последствия для потребителей.

Приведенный алгоритм предназначен для определения эффективности понижения температурного графика. При этом в расчётах напрямую не учтены затраты, связанные с изменением температурного режима, включая строительство и реконструкцию тепловых сетей, установку автоматизированных тепловых узлов у потребителей, строительство повысительных насосных станций. Кроме того, выполнение расчетов в рамках данной модели представляет собой трудоёмкий процесс.

Факторы, которые предлагается учитывать при разработке методики выбора оптимального температурного графика (Factors that are proposed to be taken into account when developing a methodology for choosing the optimal temperature schedule)

Для использования методики выбора оптимального температурного графика в практической работе теплоснабжающих организаций требуется одновременно учесть дополнительные факторы и упростить проведение расчетов. К таким факторам следует отнести:

- фактические удельные расходы энергоресурсов на производство и передачу тепловой энергии, потери тепловой энергии в тепловых сетях, недотопы и перетопы потребителей, связанные с изломом и срезкой температурного графика;
- изменение материальной характеристики трубопроводов тепловых сетей по результатам гидравлических расчетов при различных вариантах температурных графиков;
- текущую и перспективную оценку надежности теплоснабжения потребителей, учитывающей различные температурные деформации трубопроводов, связанные с повышением или понижением температурного графика;
- изменение эксплуатационных расходов;
- объем капитальных вложений, необходимых для перевода системы теплоснабжения на оптимальный температурный график;
- тарифные последствия для потребителей с учетом комплексного анализа вышеуказанных факторов.

В качестве дополнительных требований к методике необходимо учесть:

- снижение трудоемкости процедуры выбора оптимального температурного графика за счет минимизации объема необходимых исходных данных;
- возможность сравнительного анализа нескольких вариантов изменения температурного графика;
- возможность применения методики в различных теплоснабжающих организациях.

Выводы (Conclusions)

1. Оптимизация температурного графика работы тепловой сети оказывает влияние на энергоэффективность и надежность работы системы теплоснабжения, качество предоставляемой потребителям услуги.

2. В настоящее время отсутствует единая нормативная методика выбора оптимального температурного графика. В теплоснабжающих организациях применяются многочисленные варианты температурных графиков без технико-экономического обоснования их применения.

3. В целях возможности практического использования, разрабатываемая методика выбора оптимального температурного графика должна учитывать весь комплекс параметров работы системы теплоснабжения и при этом минимизировать трудоемкость расчетов.

Литература

1. Залялова А. Р., Ахметова И. Г., Ахметов Т. Р., Бакиров К. Р. Затраты на ремонт в структуре тарифа на тепловую энергию / Надежность и безопасность энергетики 2022 г. – Т.15 – №4 – с. 247 – 252.

2. Доклад о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2022 г., Министерство энергетики Российской Федерации, ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России [Электронный ресурс]. <https://minenergo.gov.ru/press-center/presentations/doklad-o-sostoyanii-teploenergetiki-i-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rf-2022->

3. Лазарев Е.С., Ведрученко В.Р., Финиченко А.Ю., Глухова М.В. Повышение эффективности работы отопительной котельной с использованием температурного графика / Энергосбережение и водоподготовка. 2023. № 4 (144). С. 13-19.

4. Белобородов С.С., Ненашев А.В., Гашо Е.Г. Утвержденные и фактические температурные графики теплоисточников и режимы работы системы отопления многоквартирных домов / Промышленная энергетика. 2024. № 10. С. 50-58.

5. Щелоков А.Я., Щелоков Я.М. О роли температурных графиков для повышения энергоэффективности тепловых сетей / Энергосбережение. 2021. № 2. С. 44-47.
6. Еговцев А.А. О возможности изменения температурных графиков для улучшения эффективности работы тепловых сетей / Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2023. Т. 2. С. 328-333.
7. Лобова Е.А., Ильин О.Ю., Ляхнович А.Г., Чебуланкин Д.Е. Влияние температурного графика тепловой сети на материальную характеристику / Высокие технологии в строительном комплексе. 2020. № 1. С. 198-203.
8. Сулейманов А.М., Хафизов Ф.М. Оптимизация температурного графика тепловой сети. / В книге: Трубопроводный транспорт - 2022. Уфа, 2022. С. 356-357.
9. Китаев Д.Н., Тульская С.Г., Горлова А.В. Оптимальный проектный температурный график тепловой сети жилого района / Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2022. № 3 (22). С. 61-66.
10. Сибгатов А.Р., Ахмерова Г.М. Влияние температурного графика тепловых сетей на тепловые потери трубопроводов / В сборнике: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ АПК. Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием. Саратов, 2022. С. 147-150.
11. Систер В.Г., Ямчук А.И., Поливода Ф.А. Математическая модель тепловой сети и разработка рекомендаций по расчету КПД для произвольного температурного графика / Известия МГТУ МАМИ. 2012. Т. 4. № 2 (14). С. 318-324.
12. Арешкин А.А., Кролин В.А., Николаевский Д.Н. Отопительный график со "срезкой" и повышенный график для закрытых тепловых сетей / Энергетик. 2017. № 2. С. 8-11.
13. Шумилин Е.В., Повханич А.Е. Проблемы отопительного температурного графика при изменении климатологических параметров / Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2024. № 2. С. 120-122.
14. Лыскова Е.А., Суворов Д.М. Переход на пониженный температурный график сетевой воды в системах теплоснабжения как актуальная проблема / В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. энергообеспечение. нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. атомная энергетика. Научные труды Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в память о проф. Данилове Н.И. (1945–2015) – Даниловских чтений, посвященных 100-летию Уральского федерального университета. 2021. С. 106-109.
15. Замятин П.С. Роль температурных графиков в оптимизации работы систем теплоснабжения / В сборнике: Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований. сборник статей по материалам LXXXVII международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2025. С. 117-122.
16. Вялкова К.С., Сафонова Е.К., Боев Ю.А. К вопросу использования различных температурных графиков на водогрейных котельных / В сборнике: Металлургия XXI столетия глазами молодых. СБОРНИК ДОКЛАДОВ IV международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. Отв. ред. Кочура В.В., 2018. С. 400-401.
17. Владимиров Я.А., Амосов Н.Т., Сергеев В.В. Исследование влияния температурного графика на параметры систем централизованного теплоснабжения / В сборнике: НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. 2016. С. 14-17.
18. Шалагинова З.И. Задачи и методы расчета температурных графиков отпуска тепла на основе теплогидравлического моделирования систем теплоснабжения / Теплоэнергетика. 2004. № 7. С. 41-49.
19. Ведрученко В.Р., Лазарев Е.С. Влияние температурного графика на эффективность работы отопительной котельной / В сборнике: Актуальные вопросы энергетики. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Редколлегия: П.А. Батраков (отв. ред.) [и др.]. Омск, 2022. С. 8-16.
20. Синельников Д.С., Щинников П.А. Влияние зонирования температурного графика на теплофикационные энергоблоки / В сборнике: НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ. Сборник научных трудов: в 9 частях. Под редакцией А.В. Гадюкина. 2018. С. 301-305.
21. Токтарова А.А. Практическое применение пониженных температурных графиков систем отопления / В сборнике: Тинчуринские чтения - 2024 "Энергетика и цифровая

трансформация". Материалам Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах. Казань, 2024. С. 251-254.

22. Ротов П.В., Орлов М.Е., Шарапов В.И. О работе систем теплоснабжения без излома температурного графика / Энергосбережение и водоподготовка. 2012. № 2 (76). С. 12-17.

23. Кумахов А.А., Кудяев З.Р., Кушаев С.Х., Кумахова Л.А. Оптимизация температурного графика в теплоснабжении: вызовы и возможности / В сборнике: Энергоресурсосбережение и энергоэффективность: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию д-ра техн. наук, профессора Л.А. Шомахова. Нальчик, 2024. С. 112-116.

24. Ротов П.В., Горшков А.В., Ротова М.А. О необходимости корректировки температурного графика теплоснабжения / В сборнике: Проблемы Совершенствования топливно-энергетического комплекса. Материалы XVII Международной научно-технической конференции. Саратов, 2024. С. 195-203.

25. Лазарев Е.С., Ведрученко В.Р., Финиченко А.Ю., Глухова М.В. Повышение эффективности работы отопительной котельной с использованием температурного графика / Энергосбережение и водоподготовка. 2023. № 4 (144). С. 13-19.

26. Фомин В.В. Алгоритм внедрения технологии регулирования теплоснабжением систем отопления методом опережающего температурного графика / Инновации и инвестиции. 2014. № 5. С. 217-220.

27. Оболонкова Н.В. Применение пониженного температурного графика отпуска теплоты / Матрица научного познания. 2019. № 12. С. 47-51.

28. Синельников Д.С., Щинников П.А. Повышение эффективности теплофикационных энергоблоков при разукрупнении графиков тепловых нагрузок / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 4. С. 12-19.

29. Ulubayeva A. Heat energy release management using neural networks / Интернаука. 2021. № 17-3 (193). С. 75-76.

30. Zaporoshchenko U.A. Ways to improve the energy and economic efficiency of heating networks / В сборнике: DIALOGUE OF CULTURES. Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference in English. 2025. С. 58-62.

31. Рыков М.С., Владимиров Я.А. Влияние температурного графика на энергоёмкость транспорта тепловой энергии / В сборнике: НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. 2016. С. 74-76.

32. Корягин М.В. Влияние "температурных срезов" на тепловой режим здания / В книге: АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО - 2003. Тезисы докладов. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. 2004. С. 123-125.

33. Теребилов С.В., Цуканова Н.С., Петренко А.В., Седышева М.Н. Выбор диаметра трубопровода тепловой сети для водяных систем теплоснабжения / В сборнике: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ. материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 136-139.

34. Кононова М.С., Дунаева Т.С. Алгоритм определения оптимальных параметров транспортировки теплоносителя в тепловой сети / В сборнике: Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVI Международной научно-методической конференции. Под редакцией Тюкачева Н.А., 2016. С. 267-271.

35. Нафиков А.С., Гайнанов И.И. Улучшение энергоэффективности тепловых сетей за счет изменения диаметров трубопроводов / Аллея науки. 2022. Т. 2. № 5 (68). С. 208-213.

36. Кирьякова А.Н. Разработка организационных алгоритмов принятия проектных решений при строительстве тепловых сетей / Научный аспект. 2023. Т. 5. № 12. С. 591-597.

37. Панферов С.В., Панферов В.И. Оптимальное управление температурой и расходом теплоносителя в тепловых сетях при переменном КПД насосов / Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Т. 21. № 2. С. 52-59.

38. Коровина Т.С., Тукен М.Б., Бекбосын А.М., Кадырханова Н.Н. Комплексный подход к проблеме повышения энергетической эффективности при эксплуатации тепловых сетей населенных пунктов / Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. 2019. Т. 7. № 1. С. 94-102.

39. Папушкин В.Н., Григорьев А.С., Желнов А.Ю., Емелин Д.А. Практика регулирования отпуска тепловой энергии потребителям из систем централизованного

теплоснабжения при технологических ограничениях на температуру и расход теплоносителя / Электрические станции. 2025. № 4 (1125). С. 35-49.

40. Каленова Е.С., Дресвянникова Е.В., Ахмерова Г.М. Анализ тенденций изменения температурных графиков для систем теплоснабжения / В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2021. Сборник докладов Второй Национальной научной конференции. Москва, 2022. С. 1046-1051.

41. Lipovka A.Y., Lipovka Yu.L. Application of "gradient" algorithm to modeling thermal pipeline networks with pumping stations / Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2013. Т. 6. № 1. С. 28-35.

42. Glazirin A.A., Sysdykov M.T. The conservation of thermal networks / Science and Technology of Kazakhstan. 2002. № 3. С. 97-99.

43. Lin F., Yi J., Weixing Y., Xuzhong Q. Influence of supply and return water temperatures on the energy consumption of a district cooling system / Applied Thermal Engineering. 2001. Т. 21. № 4. С. 511-521.

44. Ohashi T., Morimoto K. Investigation of supply and return water temperature in district heating and cooling services / AIJ Journal of Technology and Design. 2021. Т. 27. № 66. С. 785-789.

45. Chicherin S., Junussova L., Junussov T. Advanced control of a district heating system with high residential domestic hot water demand / В сборнике: E3S Web of Conferences. 6. Сер. "6th International Conference on Renewable Energy Technologies, ICRET 2020" 2020. С. 01004.

46. Wang F., Kusnandar, Lin H., Tsai M. Energy efficient approaches by retrofitting heat pumps water heating system for a university dormitory / Buildings. 2021. Т. 11. № 8. С. 356.

47. Sarbu I., Valea E.S. Improvement of water pumping energy efficiency in urban heating stations using pump speed control / В сборнике: 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. Sofia, 2015. С. 307-314.

48. Рафальская Т.А. Выбор оптимального температурного графика регулирования систем теплоснабжения / В сборнике: Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. материалы XV Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Томск, 2025. С. 143-147.

49. Рафальская Т.А., Рудяк В.Я., Филатова Т.М. Выбор оптимального температурного графика системы теплоснабжения по условию минимума годовых эксплуатационных затрат / Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 4 (748). С. 48-64.

50. Барановская М.Г., Романова Ю.И. Влияние температурного графика на эффективный радиус теплоснабжения / В сборнике: Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. Сборник статей. 2017. С. 181-184.

51. Ключко А.К. Корректировка температурных графиков отопительных систем с учетом их фактического состояния / Приволжский научный журнал. 2024. № 1 (69). С. 34-42.

52. Папушкин В.Н., Желнов А.Ю., Щербаков А.П. Пересмотр температурных графиков с использованием модели предиктивного анализа работы оборудования в тепловой сети / Электрические станции. 2022. № 4 (1089). С. 9-13.

53. Ротов П.В., Орлов М.Е., Ротова М.А., Шарапов В.И. О температурном графике работы теплофикационных систем городов / Энергосбережение и водоподготовка. 2012. № 6 (80). С. 39-42.

54. Желнов А.Ю., Папушкин В.Н. Метод оптимизации температурного графика в действующих тепловых сетях / Новости теплоснабжения. № 3 (236), 2024 г. С. 20-25.

Авторы публикации

Зиганшин Шамиль Гаязович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: shz@list.ru.

Герасимов Евгений Владимирович – начальник производственно-технического отдела АО «Казэнерго». E-mail: gev.evg@yandex.ru.

Literature

1. Zalyalova A. R., Akhmetova I. G., Akhmetov T. R., Bakirov K. R. Repair costs in the structure of the tariff for thermal energy / Reliability and safety of energy 2022 – Vol.15 – No. 4 – pp. 247-252.

2. Report on the state of thermal power engineering and District heating in the Russian Federation in 2022, Ministry of Energy of the Russian Federation, Federal State Budgetary Institution "Russian Energy Agency" of the Ministry of Energy of the Russian Federation [Electronic resource]. <https://minenergo.gov.ru/press-center/presentations/doklad-o-sostoyanii-teploenergetiki-i-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rf-2022> -
3. Lazarev E.S., Vedruchenko V.R., Finichenko A.Yu., Glukhova M.V. Improving the efficiency of a heating boiler using a temperature schedule / Energy saving and water treatment. 2023. No. 4 (144). pp. 13-19.
4. Beloborodov S.S., Nenashev A.V., Gasho E.G. Approved and actual temperature schedules of heat sources and modes of operation of the heating system of apartment buildings / Industrial power engineering. 2024. No. 10. pp. 50-58.
5. Shchelokov A.Ya., Shchelokov Ya.M. On the role of temperature graphs for improving the energy efficiency of heating networks / Energy Saving. 2021. No. 2. pp. 44-47.
6. Egovtsev A.A. On the possibility of changing temperature schedules to improve the efficiency of heating networks / Modern technologies in construction. Theory and practice. 2023. Vol. 2. pp. 328-333.
7. Lobova E.A., Ilyin O.Yu., Lyakhnovich A.G., Chebulankin D.E. The influence of the temperature schedule of the heating network on the material characteristics / High technologies in the construction complex. 2020. No. 1. pp. 198-203.
8. Suleymanov A.M., Khafizov F.M. Optimization of the temperature schedule of the heating network. / In the book: Pipeline transport - 2022. Ufa, 2022. pp. 356-357.
9. Kitaev D.N., Tulskaya S.G., Gorlova A.V. Optimal design temperature schedule of the heating network of a residential area / Housing and communal services. 2022. No. 3 (22). pp. 61-66.
10. Sibgatov A.R., Akhmerova G.M. The influence of the temperature schedule of heating networks on the heat losses of pipelines / In the collection: ACTUAL PROBLEMS OF AGROINDUSTRIAL ENERGY. Participants of the XIII International Scientific and Practical Conference with international participation. Saratov, 2022. pp. 147-150.
11. Sister V.G., Yamchuk A.I., Polivoda F.A. Mathematical model of a heat network and development of recommendations for calculating efficiency for an arbitrary temperature schedule / Izvestiya MGTU MAMI. 2012. Vol. 4. No. 2 (14). pp. 318-324.
12. Areshkin A.A., Krolin V.A., Nikolaevsky D.N. Heating schedule with "cut-off" and increased schedule for closed heating networks / Energetik. 2017. No. 2. pp. 8-11.
13. Shumilin E.V., Povkhanich A.E. Problems of the heating temperature schedule with changes in climatological parameters / Far East: problems of the development of the architectural and construction complex. 2024. No. 2. pp. 120-122.
14. Lyskova E.A., Suvorov D.M. The transition to a reduced temperature schedule of mains water in heat supply systems as an urgent problem / In the collection: Energy and resource conservation. energy supply. non-traditional and renewable energy sources. nuclear power engineering. Scientific papers of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, in memory of Prof. Danilova N.I. (1945-2015) – Danilova readings dedicated to the 100th anniversary of Ural Federal University. 2021. pp. 106-109.
15. Zamyatin P.S. The role of temperature graphs in optimizing the operation of heat supply systems / In the collection: Issues of technical and physico-mathematical sciences in the light of modern research. collection of articles on the LXXXVII International scientific and practical conference. Novosibirsk, 2025. pp. 117-122.
16. To Vyalkova.S., Safonova E.K., Yu. Boev.A. On the issue of using different temperature schedules in hot-water boilers / In the collection: Metallurgy of the 21st century through the eyes of the young. COLLECTION OF REPORTS at the IV scientific and practical International Conference of young scientists and students. Ed. Kochura V.V., 2018. pp. 400-401.
17. Vladimirov Ya.A., Amosov N.T., Sergeev V.V. Investigation of the influence of the temperature schedule on the parameters of district heating systems / In the collection: SPbPU SCIENCE WEEK. Materials of a scientific conference with international participation. 2016. pp. 14-17.
18. Shalaginova Z.I. Tasks and methods of calculating temperature schedules of heat release based on thermohydraulic modeling of heat supply systems / Teploenergetika. 2004. No. 7. pp. 41-49.
19. Vedruchenko V.R., Lazarev E.S. The influence of the temperature schedule on the efficiency of the heating boiler / In the collection: Current issues of energy. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Editorial board: P.A. Batrakov (editor-in-chief) [and others]. Omsk, 2022. pp. 8-16.
20. Sinelnikov D.S., Shchinnikov P.A. The influence of temperature schedule zoning on thermal power units / In the collection: SCIENCE. technologies. INNOVATION. Collection of scientific papers: in 9 parts. Edited by A.V. Gadyukin. 2018. pp. 301-305.

21. Toktarova A.A. Practical application of reduced temperature schedules of heating systems / In the collection: Tinchurin Readings - 2024 "Energy and digital transformation". Materials of the International Youth Scientific Conference. In 4 volumes. Kazan, 2024. pp. 251-254.
22. Rotov P.V., Orlov M.E., Sharapov V.I. On the operation of heat supply systems without breaking the temperature schedule / Energy saving and water treatment. 2012. No. 2 (76). pp. 12-17.
23. Kumakhov A.A., Kudaev Z.R., Kushaev S.Kh., Kumakhova L.A. Optimization of the temperature schedule in heat supply: challenges and opportunities / In the collection: Energy conservation and energy efficiency: current issues, achievements and innovations. Collection of scientific papers of the III Scientific and Practical International Conference dedicated to the 85th anniversary of Doctor of Technical Sciences, Professor L.A. Shomakhov. Nalchik, 2024. pp. 112-116.
24. Rotov P.V., Gorshkov A.V., Rotova M.A. On the need to adjust the temperature schedule of heat supply / In the collection: Problems of Improving the fuel and energy complex. Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference. Saratov, 2024. pp. 195-203.
25. Lazarev E.S., Vedruchenko V.R., Finichenko A.Yu., Glukhova M.V. Improving the efficiency of a heating boiler using a temperature schedule / Energy saving and water treatment. 2023. No. 4 (144). pp. 13-19.
26. Fomin V.V. Algorithm of implementation of technology of regulation of heat consumption of heating systems by the method of advanced temperature schedule / Innovations and investments. 2014. No. 5. pp. 217-220.
27. Obolonkova N.V. Application of a reduced temperature schedule for heat release / The matrix of scientific knowledge. 2019. No. 12. pp. 47-51.
28. Sinelnikov D.S., Shchinnikov P.A. Improving the efficiency of heating power units when decomposing heat load schedules / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Energy problems. 2019. Vol. 21. No. 4. pp. 12-19.
29. Ulubayeva A. Management of heat energy release using neural networks / Internet Science. 2021. No. 17-3 (193). pp. 75-76.
30. Novoroshchenko Yu.A. Ways to increase the energy and economic efficiency of heating networks / In the collection: DIALOGUE OF CULTURES. Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference in English. 2025. pp. 58-62.
31. Rykov M.S., Vladimirov Ya.A. The influence of the temperature schedule on the energy intensity of thermal energy transport / In the collection: SPbPU SCIENCE WEEK. Materials of a scientific conference with international participation. 2016. pp. 74-76.
32. Koryagin M.V. The influence of "temperature slices" on the thermal regime of a building. / In the book: ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION - 2003. Abstracts of reports. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 2004. pp. 123-125.
33. Terebilov S.V., Tsukanova N.S., Petrenko A.V., Sedysheva M.N. Choosing the diameter of the heat network pipeline for water heating systems / In the collection: CURRENT ISSUES OF ENERGY. materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. 2018. pp. 136-139.
34. Kononova M.S., Dunaeva T.S. Algorithm for determining optimal parameters of coolant transportation in the heating network / In the collection: Computer Science: problems, methodology, technologies. Proceedings of the XVI International Scientific and Methodological Conference. Edited by Tyukachev N.A., 2016. pp. 267-271.
35. Nafikov A.S., Gainanov I.I. Improving the energy efficiency of heating networks by changing pipeline diameters / Alley of Science. 2022. Vol. 2. No. 5 (68). pp. 208-213.
36. Kiryakova A.N. Development of organizational algorithms for making design decisions in the construction of heating networks / Scientific aspect. 2023. Vol. 5. No. 12. pp. 591-597.
37. Panferov S.V., Panferov V.I. Optimal control of temperature and coolant flow in heating networks with variable pump efficiency / Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture. 2021. Vol. 21. No. 2. pp. 52-59.
38. Korovina T.S., Tuken M.B., Bekbosyn A.M., Kadyrkhanova N.N. An integrated approach to the problem of increasing energy efficiency in the operation of heating networks in populated areas / Energy and resource conservation in the thermal power industry and the social sphere: proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Students, postgraduates, scientists. 2019. Vol. 7. No. 1. pp. 94-102.
39. Papushkin V.N., Grigoriev A.S., Zhelnov A.Yu., Emelin D.A. The practice of regulating the supply of thermal energy to consumers from district heating systems under technological restrictions on temperature and coolant flow. 2025. No. 4 (1125). pp. 35-49.
40. Kalenova E.S., Dresvyannikova E.V., Akhmerova G.M. Analysis of trends in temperature schedules for heat supply systems / In the collection: Actual problems of the

construction industry and education - 2021. Collection of reports of the Second National Scientific Conference. Moscow, 2022. pp. 1046-1051.

41. Lipovka A.Yu., Lipovka Yu.L. Application of the gradient algorithm for modeling heat pipeline networks with pumping stations // Bulletin of the Siberian Federal University. Machinery and technology. 2013. Vol. 6. No. 1. pp. 28-35.

42. Glazyrin A.A., Sysdykov M.T. Conservation of heating networks / Science and Technology of Kazakhstan. 2002. No. 3. pp. 97-99.

43. Lin F., Yi J., Weixin Y., Xiuzhong K. Influence of the temperature of the supply and return water on the energy consumption of the centralized cooling system / Applied heat engineering. 2001. Vol. 21. No. 4. pp. 511-521.

44. Ohashi T., Morimoto K. Investigation of the temperature of supply and return water in district heating and cooling systems / AIJ Journal of Technology and Design. 2021. Vol. 27. No. 66. pp. 785-789.

45. Chicherin S., Dzhunusova L., Dzhunusov T. Improved management of the district heating system with a high demand for hot water for household needs of the population / In the collection: E3S Web Conferences. 6. Ser. "6th International Conference on Renewable Energy Technologies, ICRET 2020" 2020. The number is 01004.

46. Wang F., Kusnandar, Lin H., Tsai M. Energy-efficient approaches to the modernization of a water heating system with heat pumps for university dormitories / buildings. 2021. Vol. 11. No. 8. pp. 356.

47. Sarbu I., Valea E.S. Improving the energy efficiency of pumping water at urban thermal power plants by controlling the pump speed / In the collection: 15th International Interdisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015. Sofia, 2015. pp. 307-314.

48. Rafalskaya T.A. Choosing the optimal temperature schedule for regulating heat supply systems / In the collection: Investments, urban planning, technologies as drivers of socio-economic development of the territory and improvement of the quality of life of the population. proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference. In 2 parts. Tomsk, 2025. pp. 143-147.

49. Rafalskaya T.A., Rudyak V.Ya., Filatova T.M. Choosing the optimal temperature schedule for the heat supply system under the condition of minimum annual operating costs / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Construction. 2021. No. 4 (748). pp. 48-64.

50. Baranovskaya M.G., Romanova Yu.I. The influence of the temperature schedule on the effective radius of heat supply / In the collection: Kulagin readings: techniques and technologies of production processes. Collection of articles. 2017. pp. 181-184.

51. Klochko A.K. Correction of temperature schedules of heating systems, taking into account their actual condition / Privolzhsky Scientific Journal. 2024. No. 1 (69). pp. 34-42.

52. Papushkin V.N., Zhelnov A.Yu., Shcherbakov A.P. Revision of temperature schedules using a model of predictive analysis of equipment operation in the heating network / Electrical stations. 2022. No. 4 (1089). pp. 9-13.

53. Rotov P.V., Orlov M.E., Rotova M.A., Sharapov V.I. About the temperature schedule of urban heating systems / Energy saving and water treatment. 2012. No. 6 (80). pp. 39-42.

54. Zhelnov A.Yu., Papushkin V.N. Method of optimizing the temperature schedule in existing heating networks / Heat supply news. No. 3 (236), 2024 from 20-25.

Authors of the publication

Shamil G. Ziganshin – Kazan State Power Engineering University. E-mail: shz@list.ru.

Evgeny V. Gerasimov – Kazenergo JSC. E-mail: gev.evg@yandex.ru.

Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Получено **23.10.2025 г.**

Отредактировано **17.01.2026 г.**

Принято **21.01.2026 г.**