

УДК 621.643

DOI: [10.34031/ES.2025.3.12](https://doi.org/10.34031/ES.2025.3.12)

Секция Молодых ученых

Теплоэнергетика и теплотехника

Энергосбережение и энергоэффективность

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Голузова И.В., Ткачева У.А.

Научный руководитель: ст. преп. Киселева А.И.

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Смоленск

Аннотация

Статья представляет комплексное исследование энергетической эффективности систем теплоснабжения в условиях наблюдаемых климатических изменений. На примере конкретного города проанализирована многолетняя динамика изменения среднегодовой температуры наружного воздуха, выявлен устойчивый восходящий тренд. Проведено детальное сравнение нормативных климатических параметров согласно актуальным сводам правил с фактическими температурными показателями холодного периода за продолжительный временной интервал. Установлено систематическое несоответствие между расчетными и реальными температурными значениями. На примере жилого дома выполнены сравнительные расчеты договорных и фактических показателей теплопотребления, продемонстрировавшие существенное расхождение. Выявлена значительная экономия тепловой энергии после внедрения современных решений в системе теплоснабжения. Доказана эффективность применения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов для оптимизации энергопотребления. Показана экономическая целесообразность модернизации систем теплоснабжения. Подчеркнута необходимость регулярного обновления климатических параметров для повышения точности расчетов и эффективности работы тепловых сетей.

Ключевые слова: тепловые сети, теплоснабжение, энергоэффективность, нормативные параметры, фактическое теплопотребление.

ASSESSMENT OF HEATING SYSTEMS SUSTAINABILITY UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Irina Goluzova, Ulyana Tkacheva

Scientific supervisor: Senior Lecturer Alexandra Kiselyova

Branch of the National Research University Moscow

Power Engineering Institute in Smolensk, Smolensk

Abstract

The article presents a comprehensive study of the energy efficiency of district heating systems under observed climate change conditions. Using a specific city as an example, the long-term dynamics of changes in average annual outdoor air temperature were analyzed, revealing a steady upward trend. A detailed comparison was made between regulatory climate parameters according to current building codes and actual temperature indicators for the cold period over an extended time interval. A systematic discrepancy between calculated and actual temperature values has been established. Using a residential building as an example, comparative calculations of contractual and actual heat consumption indicators were performed, demonstrating a significant discrepancy. Substantial thermal energy savings were identified after implementing modern solutions in the heat supply system. The effectiveness of automated individual heating substations for optimizing energy consumption has been proven. The economic feasibility of modernizing heat supply systems is demonstrated. The necessity of regular updates of climatic parameters to improve calculation accuracy and heating network efficiency is emphasized.

Keywords: heating networks, heat supply, energy efficiency, regulatory parameters, actual heat consumption.



Введение

В последние годы вопросы повышения энергетической эффективности и устойчивого развития приобретают особую важность на фоне глобальных климатических изменений. Системы теплоснабжения, являясь ключевой частью городской инфраструктуры, оказывают значительное влияние на экономику и экологию регионов. В условиях ужесточения требований по снижению выбросов парниковых газов и переходу к экологичным технологиям возникает необходимость комплексного анализа их работы с точки зрения энергоэффективности и устойчивости. Традиционные схемы теплоснабжения сталкиваются с новыми вызовами — изменением температурных режимов, ростом экстремальных погодных явлений и необходимостью интеграции возобновляемых источников энергии. Это требует внедрения инновационных решений в проектирование, эксплуатацию и модернизацию систем для повышения их адаптивности к изменяющимся климатическим условиям и обеспечения надежного теплоснабжения [1].

Актуальность темы обусловлена не только глобальными трендами декарбонизации и энергосбережения, но и специфическими задачами отечественной энергетики. В России значительная часть тепловой энергии производится и потребляется в условиях сурового климата, что ведет к высокой энергоемкости отрасли. При этом существуют значительные потери при транспортировке и распределении тепла, а также недостаточная интеграция современных энергоэффективных технологий. Изменения климата могут усугубить эти проблемы, увеличивая расходы, снижая надежность теплоснабжения и усиливая экологическую нагрузку. Поэтому всесторонняя оценка энергетической эффективности и устойчивости систем теплоснабжения необходима для разработки стратегий их дальнейшего развития.

Целью работы является комплексная оценка энергетической эффективности и устойчивости систем теплоснабжения в условиях климатических изменений.

Для достижения поставленной цели в работе определены следующие **задачи**:

- 1) анализ климатических данных;
- 2) изучение изменения среднегодовой температуры;
- 3) исследование и анализ фактических показателей температуры;
- 4) расчет показателей теплопотребления;
- 5) расчет экономии денежных средств потребителей.

Анализ климатических изменений

Многолетние климатические наблюдения показывают устойчивый рост температуры приземного слоя атмосферы, особенно заметный за последние 50 лет. В этом процессе значительную роль играют города, где сосредоточены основные источники тепла — транспорт, отопление зданий, промышленность и энергетика. В крупных городах формируется особый микроклимат с повышенными температурами по сравнению с пригородами. Например, в Смоленске наиболее сильное потепление происходит зимой, что указывает на значительное влияние человеческой деятельности на сезонные климатические изменения.

Городское тепловое воздействие складывается из нескольких факторов: тепло от отопления зданий, энергия двигателей транспорта и выбросы промышленных и энергетических объектов. Это тепло накапливается и распространяется на большие территории, усиливая общую тенденцию к потеплению. Особенно тревожен рост темпов повышения температуры в последние годы.

Изменения климата требуют пересмотра подходов к проектированию городской энергетики. Традиционные системы теплоснабжения, основанные на старых климатических данных, уже не соответствуют новым реалиям быстро меняющегося климата.



На рис. 1 показано изменение среднегодовой температуры наружного воздуха $t_{\text{ср.г}}$ в Смоленске за период с 1975 по 2024 г. – наблюдается устойчивый возрастающий тренд.

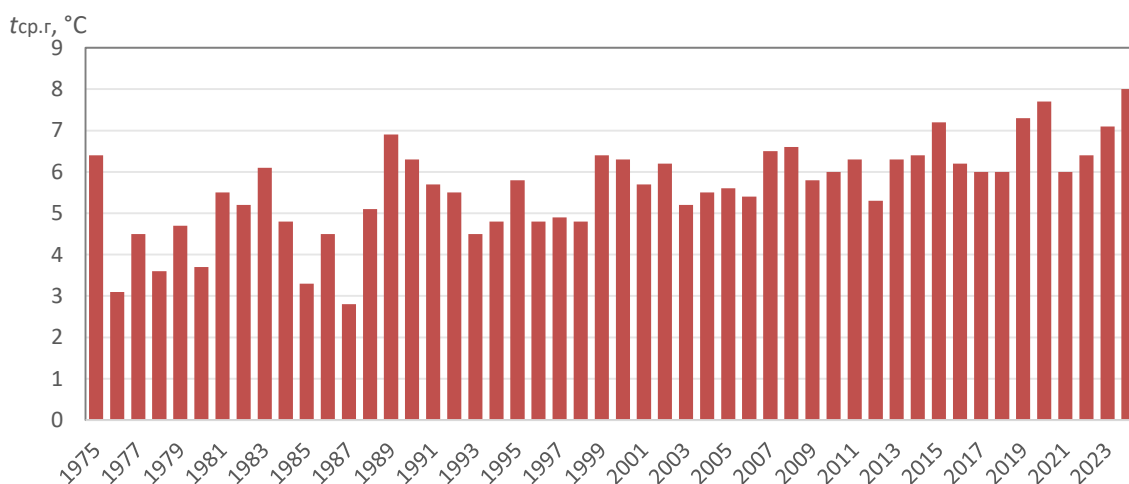


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры наружного воздуха, °С.

Согласно своду правил по строительной климатологии СП 131.13330.2025 среднегодовая температура наружного воздуха в Смоленске 6,4°С, однако согласно графику в 2020 году температура составила 7,7°С, что на 1,3 °С выше значения, приведенного в своде правил.

На рис. 2 представлена динамика среднегодовой температуры. Рассчитанный коэффициент детерминации ($R^2 = 0,9251$) демонстрирует, что выбранная полиномиальная модель исключительно точно описывает исходные данные и о минимальном влиянии случайных колебаний на общую картину. Результаты анализа однозначно свидетельствуют о наличии интенсивного и усиливающегося процесса потепления в городе Смоленске за изучаемый временной промежуток.

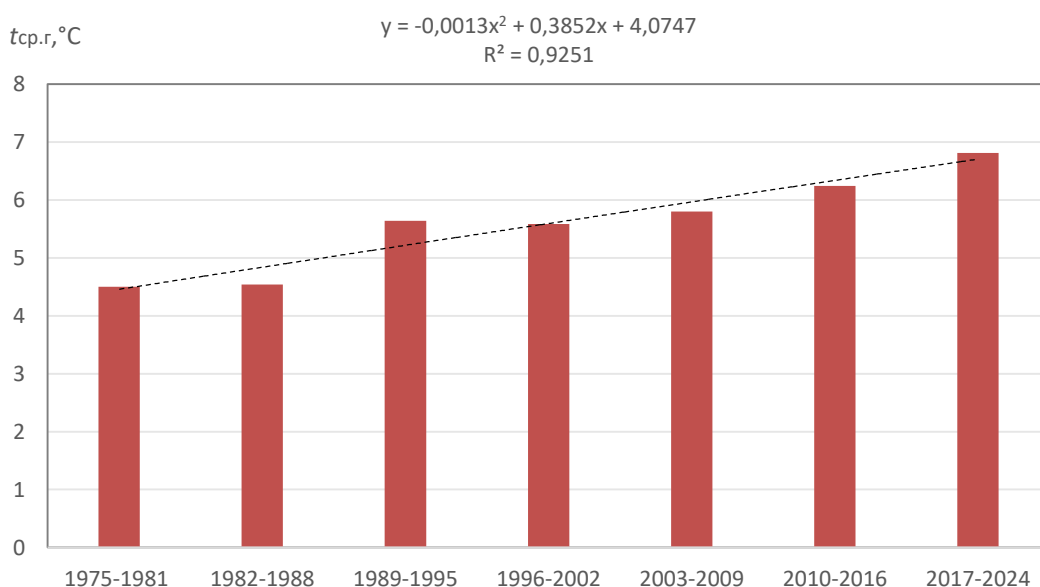


Рис. 2. Динамика среднегодовой температуры с полиномиальным трендом



При проектировании инженерных систем зданий особое значение приобретает корректное определение расчетных климатических параметров, которые служат основой для теплотехнических расчетов. Для систем отопления ключевым показателем является расчетная температура наружного воздуха, принимаемая как средняя температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92. Этот параметр, установленный нормативными документами, отражает статистически обоснованный уровень тепловой нагрузки, который системы отопления должны компенсировать для поддержания комфортных условий в помещениях. В случае Смоленска данное значение составляет -23°C , что соответствует климатическим особенностям данного региона. Другие расчетные температуры для холодного периода года в Смоленске указаны в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные параметры наружного воздуха в Смоленске

Стандарт (СНиП / СП)	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$				Абсолютная минимальная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$
	Наиболее холодных суток обеспеченностью		Наиболее холодной пятидневки обеспеченностью		
	0,98	0,92	0,98	0,92	
СНиП 2.01.01 -82	-34	-31	-28	-26	-41
СНиП 23-01-99	-34	-31	-28	-26	-41
СП 131.13330.2012	-33	-28	-26	-25	-40
СП 131.13330.2018	-33	-28	-26	-25	-40
СП 131.13330.2020	-30	-28	-26	-23	-40
СП 131.13330.2025	-30	-27	-25	-23	-40

Для сравнения в табл. 1 приведены данные стандартов по строительной климатологии разных лет, по которым видно, что современные расчетные параметры климата отличаются от данных предшествующих стандартов.

Фактические климатические показатели

В рамках исследования была проведена систематизация фактических данных за период с 2004 по 2024 годы. В табл. 2 представлены фактические температуры и даты наиболее холодных суток и пятидневок за 20 отопительных сезонов. Отсутствие совпадения дат этих событий в отдельные периоды указывает на наличие нескольких волн экстремальных похолоданий в пределах одного сезона.

При составлении таблицы использовалась методика, изложенная в следующих нормативных и научных источниках: сводов правил «Строительная климатология» и монография [2]. Данная методика предусматривает последовательное определение:

- температурного минимума наиболее холодных суток каждого года;
- средних температурных показателей наиболее холодных пятидневок;
- точных дат наступления указанных метеорологических событий.

Фактические данные за 2004-2024 гг. наглядно демонстрируют, что нормативная база (СП) в части температур наиболее холодных суток и пятидневок не соответствует реальным климатическим условиям. Наблюдаются как периоды более мягких зим, так и экстремальные похолодания, значительно превышающие расчетный уровень.

Выявленное несоответствие температурных показателей необходимо учитывать при расчете:

- мощности отопительных приборов;
- тепловых нагрузок потребителей;
- пропускной способности тепловых сетей;
- тепловой мощности источников тепла.



Таблица 2

Фактические климатические показатели холодного периода

№ п/п	Отопительный сезон, годы	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С	Дата	Температура наиболее холодной пятидневки, °С	Даты
1	2004/2005	-21,3	05.02.2005	-17,6	03.02-07.02.2005
2	2005/2006	-31,0	21.01.2006	-28,1	18.01-22.01.2006
3	2006/2007	-28,0	22.02.2007	-22,6	21.02-25.02.2007
4	2007/2008	-19,6	08.01.2008	-17,5	04.01-08.01.2008
5	2008/2009	-25,8	02.01.2009	-21,6	14.12-18.12.2009
6	2009/2010	-25,4	23.01.2010	-22,8	24.01-28.01.2010
7	2010/2011	-25,1	17.02.2011	-23,4	15.02-19.02.2011
8	2011/2012	-30,2	01.02.2012	-25,0	31.01-04.02.2012
9	2012/2013	-24,8	20.01.2013	-18,7	22.01-26.01.2013
10	2013/2014	-25,9	30.01.2014	-21,7	27.01-31.01.2014
11	2014/2015	-19,9	11.02.2015	-15,3	05.01-09.01.2015
12	2015/2016	-20,6	04.01.2016	-10,6	01.01-05.01.2016
13	2016/2017	-27,4	07.01.2017	-23,2	05.01-09.01.2017
14	2017/2018	-22,6	29.02.2018	-19,7	23.02-27.02.2018
15	2018/2019	-19,8	24.01.2019	-16,9	22.01-26.01.2019
16	2019/2020	-13,0	06.02.2020	-8,7	04.02-08.02.2020
17	2020/2021	-23,1	17.02.2021	-19,6	16.02-20.02.2021
18	2021/2022	-21,8	06.01.2022	-12,9	09.01-13.01.2022
19	2022/2023	-23,4	10.01.2023	-17,6	06.01-10.01.2023
20	2023/2024	-25,1	04.01.2024	-19,4	04.01-08.01.2024

Игнорирование данного фактора приведет к системному завышению мощностей на всех этапах проектирования. Следствием этого станет наличие не востребуемого резерва на источниках тепла, что экономически неэффективно и в конечном счете повысит тарифы на теплоноситель и нагрузку на городской бюджет [3].

Расчет и анализ фактического потребления тепловой энергии

В качестве объекта исследования рассмотрен суточный архив за отопительный сезон 2023-2024. Для расчетов были взяты отчетные данные за 2023-2024 годы для жилого дома в Смоленске. Построен в 1973 году, 9-этажный, имеет общую площадь всех помещений 11981,7 м².

По предоставленным данным прибора учета жилого дома был построен график потребления тепла (рис. 3). Далее была построена линия тренда, позволяющая определить фактическое теплосодержание при любой температуре. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,703$ — довольно высокий показатель, который говорит о том, что примерно 70% вариации потерь тепла объясняется изменениями температуры наружного воздуха.

Для определения нормы потребления тепловой энергии для данного 9-этажного здания использовались данные, представленные в таблице 3.

Согласно табл. 3 норма потребления тепловой энергии для данного жилого здания оставляет 0,423 Гкал/ч.



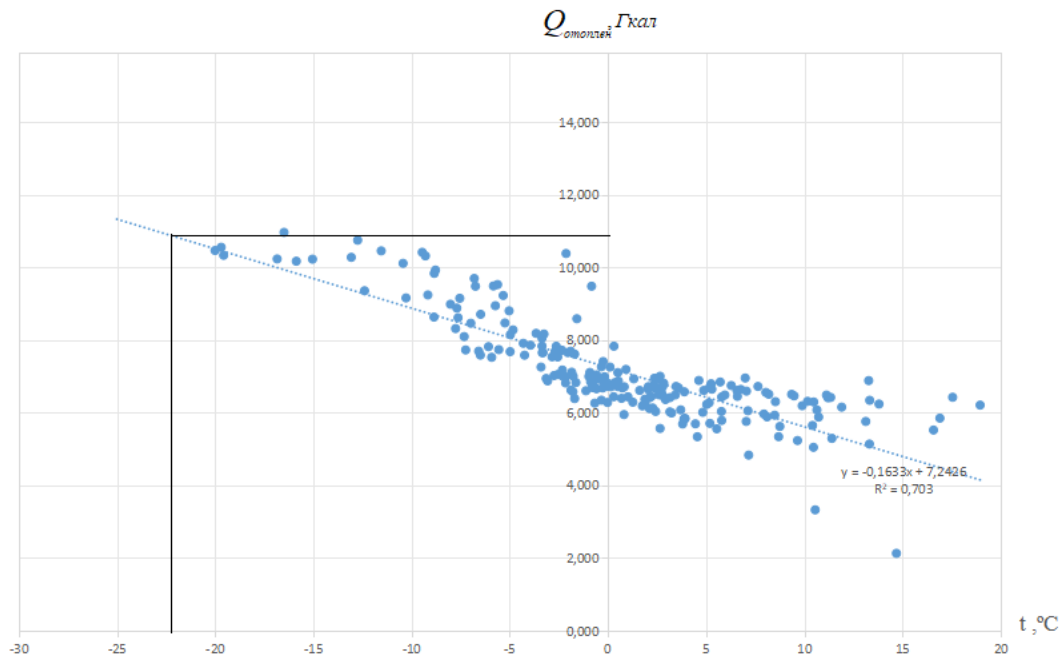


Рис. 3. График потребления тепла

Таблица 3

Нормативы потребления коммунальной услуги по отоплению на территории города Смоленска

№ п/п	Категория многоквартирного (жилого дома)	Норматив потребления коммунальной услуги, Гкал/м2		
		Многоквартирные и жилые дома со стенами из камня и кирпича	Многоквартирные и жилые дома со стенами из панелей, блоков	Многоквартирные и жилые дома со стенами из дерева, смешанных и других материалов
1.	Этажность	Многоквартирные и жилые дома до 1999 года постройки включительно		
1.1.	1-4	0,0263	0,0263	0,0263
1.2.	5-9	0,0254	0,0257	-
1.3.	10-14	0,0252	0,0248	-
1.4.	2-5,9 (утратившие статус «общежития»)	0,0263	0,0263	0,0263
2.	Этажность	Многоквартирные и жилые дома после 1999 года постройки		
2.1.	5, 8-10	0,0122	0,0122	-
2.2.	16	0,0136	0,0136	-



Для оценки эффективности теплоснабжения объекта были выполнены сравнительные расчеты договорных и фактических показателей теплопотребления.

Договорное потребление тепла на отопление определено по формуле:

$$Q_{\text{договор}} = q_0 \alpha S$$

где q_0 – удельная отопительная характеристика здания, Вт/(м²); α – коэффициент, учитывающий инфильтрацию; S – площадь здания, м².

Для определения высвобожденной мощности оценена экономия тепловой энергии при несоответствии договорных нагрузок фактическим. Годовой расход тепла за отопительный сезон определятся по следующей формуле:

$$Q_{\text{год}}^{\text{дог}} = Q_{\text{дог}} \cdot z_{\text{от}} \cdot n_{\text{от}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}}{t_{\text{вн}} - (t_{\text{но}})};$$

$$Q_{\text{год}}^{\text{факт}} = Q_{\text{факт}} \cdot z_{\text{от}} \cdot n_{\text{от}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}}{t_{\text{вн}} - (t_{\text{но}})},$$

где $z_{\text{от}}$ – число часов в сутки работы системы отопления, ч; $n_{\text{от}}$ – число суток отопительного периода, суток; $t_{\text{н}}^{\text{ср}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С; $t_{\text{вн}}$ – расчетная внутренняя температура помещения, °С; $t_{\text{но}}$ – температура наружного воздуха для системы отопления, °С.

Определена разница годового расхода тепла за отопительный период при расчетной температуре $t_{\text{но}} = -23^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta Q = Q_{\text{год}}^{\text{дог}} - Q_{\text{год}}^{\text{факт}}.$$

Результаты расчетов, демонстрирующие существенное расхождение между проектными и реальными данными, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительный анализ договорных и фактических показателей теплопотребления

	Договорное	Фактическое
Потребление теплоты на отопление	1,04 МВт	0,49 МВт
Годовой расход тепла за отопительный период	2520,4 МВт·ч	1187,5 МВт·ч
Разница годового расхода тепла за отопительный период	1332,9 МВт·ч = 1146,3 Гкал	

Выполненные расчёты позволяют сказать, что экономия тепла за счёт применения приборов учёта за рассмотренный отопительный период составила 1146,3 Гкал.

Согласно сайту <https://my-gkh.ru> «Тарифы на коммунальные услуги АО "КВАДРА" в 2025 г.» цена за 1 Гкал в городе Смоленске для данного дома составляет 2515,48 рублей, значит:

$$1146,3 \cdot 2515,48 \approx 2\,883\,494 \text{ рублей}$$

$$D \approx 2\,883\,494 \text{ рублей}$$

Благодаря применению приборов учета, позволяющих определять фактическое потребление тепла, экономия за 5 лет составит 14,4 млн. руб:

$$\Delta Q' = D \cdot 5 \text{ лет}; \Delta Q' \approx 14\,417\,474 \text{ рублей} \approx 14,4 \text{ млн. руб.}$$



Рассчитанный объем финансовой экономии потребителей D является прямым следствием внедрения автоматизированного ИТП. Данный результат служит количественным подтверждением высокой эффективности решения, которое обеспечивает снижение затрат на теплоэнергию благодаря оптимизированному и точно регулируемому потреблению [4].

Анализ данных также свидетельствует о возможности высвобождения части тепловой мощности за счет корректировки договорных обязательств с теплоснабжающей организацией. Данная мера становится реализуемой в связи с изменением климатических параметров и оптимизацией энергопотребления, что создает ряд значительных преимуществ представленных на рис. 4.

Использование приборов, учитывающих реальные климатические параметры, обеспечивает справедливое распределение затрат на отопление, повышая экономическую эффективность и снижая издержки потребителей. Высвобождение тепловой мощности позволяет подключать новых абонентов без реконструкции сетей и модернизации оборудования, одновременно оптимизируя работу источников теплоснабжения и сокращая эксплуатационные расходы. Существенным экологическим преимуществом является снижение выбросов парниковых газов за счет уменьшения объемов сжигаемого топлива. Несмотря на локальный характер исследования, массовый учет изменяющихся климатических параметров в масштабах региона и страны позволит значительно разгрузить энергетическую систему и повысить надежность теплоснабжения в целом.



Рис.4. Результаты учета изменения климатических параметров

Таким образом, пересмотр договорных нагрузок в условиях меняющегося климата представляет собой комплексное решение, сочетающее экономическую целесообразность, техническую эффективность и экологическую безопасность, что в конечном итоге способствует созданию более сбалансированной и устойчивой системы теплоснабжения.

Выводы

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Анализ климатических данных выявил устойчивую тенденцию к повышению средне-



годовых температур в г. Смоленске, что свидетельствует о необходимости пересмотра нормативных климатических параметров, используемых при проектировании систем теплоснабжения. Сравнение фактических температурных показателей холодного периода с нормативными значениями показало систематическое расхождение, которое приводит к завышению расчетных тепловых нагрузок. Практические расчеты на примере жилого дома подтвердили существенное превышение договорных показателей теплопотребления над фактическими значениями.

Внедрение автоматизированного индивидуального теплового пункта продемонстрировало высокую эффективность в оптимизации энергопотребления, обеспечив значительную экономию тепловой энергии и денежных средств. Исследование также выявило недостаточную точность существующих методик расчета тепловых потерь, что указывает на необходимость учета реальных эксплуатационных факторов. Полученные результаты подчеркивают важность регулярной актуализации климатических параметров и внедрения современных энергоэффективных решений для повышения точности проектирования и экономической эффективности систем теплоснабжения в условиях изменяющегося климата.

Библиографический список

1. Горшков А.С., Ватин Н.И., Рымкевич П.П. Влияние антропогенных факторов на тепловое загрязнение городской среды // Энергосбережение. – 2020. – № 7. – С. 46–51. EDN: [XYWYSA](#)
2. Малюгина Е.Г. Теплопотери здания: справ. пособие. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 146 с.
3. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление: Учебник для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2008 – 576 с.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 472 с.

Сведения об авторах

Киселева Александра Игоревна, старший преподаватель кафедры Промышленной теплоэнергетики. ORCID: [0000-0002-8925-0107](#)

Голузова Ирина Владимировна, Ткачева Ульяна Андреевна, студенты магистратуры кафедры Промышленной теплоэнергетики.

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" в г. Смоленске.

Authors about

Alexandra I. Kiseleva, Senior Lecturer of Department of Industrial Heat Power Engineering. ORCID: [0000-0002-8925-0107](#)

Irina V. Goluzova, Ulyana A. Tkacheva, Master's student at the Department of Industrial Thermal Power Engineering.

Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk, Russia.

Ссылки для цитирования

Голузова И.В., Ткачева У.А. Оценка устойчивости систем теплоснабжения в условиях климатических изменений // Энергетические системы. – 2025. – № 3. – С. 95-103.

Goluzova, I., & Tkacheva, U. (2025). Assessment of heating systems sustainability under climate change conditions. *Energy Systems*, 3, 95-103. <https://doi.org/10.34031/es.2025.3.12>

