ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Махмудов М.И.
Нуров С.С.
Бухарский государственный технический университет

Турсунов К.И.
Хакимият города Бухары
https://doi.org/10.5281/zenodo.21946613

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности систем теплоснабжения жилых зданий. Проведён анализ основных факторов, определяющих потребление тепловой энергии на отопление, и рассмотрены причины возникновения избыточных энергетических затрат. Особое внимание уделено несоответствию фактической тепловой нагрузки здания количеству подаваемой тепловой энергии при изменении температуры наружного воздуха. Предложен подход к снижению энергопотребления на основе автоматического регулирования подачи теплоносителя с учётом температуры наружного воздуха, температуры внутри помещений и текущей тепловой нагрузки здания. Рассмотрен тепловой баланс здания и определены основные составляющие тепловых потерь. Предлагаемый подход позволяет адаптировать режим работы системы теплоснабжения к фактической потребности здания в тепловой энергии и тем самым снизить её избыточное потребление при сохранении требуемых параметров микроклимата помещений.

Ключевые слова: теплоснабжение, жилые здания, энергоэффективность, тепловая энергия, отопление, тепловые потери, температура наружного воздуха, автоматическое регулирование, энергосбережение, тепловая нагрузка.

Введение. Системы теплоснабжения жилых зданий являются одним из основных потребителей топливно-энергетических ресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве. Значительная часть потребляемой тепловой энергии расходуется на поддержание требуемой температуры воздуха внутри помещений в течение отопительного периода. При этом фактическая потребность здания в тепловой энергии непрерывно изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, интенсивности воздухообмена, солнечной радиации, внутренних тепловыделений и режима эксплуатации здания. В связи с этим повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения является актуальной задачей, решение которой позволяет сократить потребление энергетических ресурсов без ухудшения комфортных условий в помещениях.

Одной из причин повышенного энергопотребления существующих систем теплоснабжения является недостаточное соответствие количества подаваемой тепловой энергии фактической тепловой нагрузке здания. При централизованном теплоснабжении температурный и гидравлический режимы системы зачастую

формируются для группы потребителей, в то время как тепловая потребность отдельных зданий может существенно различаться. Изменение температуры наружного воздуха, тепловой инерции здания и внутренних теплопоступлений приводит к тому, что при отсутствии эффективного автоматического регулирования в отдельные периоды возникает избыточная подача теплоты.

Энергетическая эффективность теплоснабжения определяется совокупностью процессов производства, транспортирования, распределения и использования тепловой энергии. Для жилого здания особое значение имеют тепловые потери через наружные стены, окна, покрытия, перекрытия и другие ограждающие конструкции, а также потери теплоты, обусловленные вентиляцией и инфильтрацией наружного воздуха. Величина указанных потерь непосредственно зависит от разности температур внутреннего и наружного воздуха.

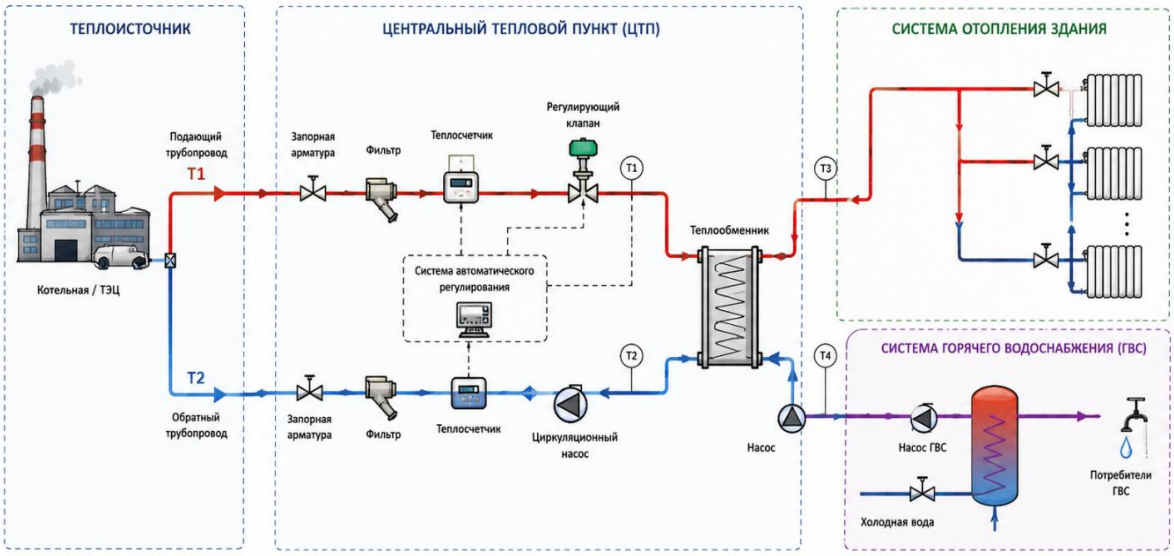

Рис. 1. Структурная схема системы теплоснабжения жилого здания с автоматическим регулированием тепловой нагрузки.

На рис. 1 представлена структурная схема системы теплоснабжения жилого здания, включающая источник тепловой энергии, подающий и обратный трубопроводы, теплообменное оборудование, циркуляционный насос, регулирующую арматуру и систему автоматического управления. Регулирование подачи тепловой энергии осуществляется посредством изменения параметров теплоносителя в соответствии с текущей тепловой нагрузкой здания.

Требуемую тепловую мощность системы отопления здания в общем виде можно представить как сумму основных составляющих тепловых потерь:

$$Q_h = Q_{tr} + Q_v - Q_{in}$$

где Q_h — требуемая тепловая мощность системы отопления, Вт; Q_{tr} — тепловые потери через ограждающие конструкции, Вт; Q_v — тепловые потери вследствие вентиляции и инфильтрации, Вт; Q_{in} — внутренние теплопоступления, Вт.

Тепловые потери через ограждающие конструкции определяются разностью температур внутреннего и наружного воздуха и могут быть представлены выражением:

$$Q_{tr}=\sum_{i=1}^{n} U_i A_i (T_{in}-T_{out})$$

где U_i — коэффициент теплопередачи i-й ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C); A_i — площадь соответствующей конструкции, м²; T_{in} — температура внутреннего воздуха, °C; T_{out} — температура наружного воздуха, °C.

Из приведённой зависимости следует, что тепловая нагрузка здания существенно изменяется при изменении температуры наружного воздуха. Следовательно, поддержание постоянного режима подачи теплоносителя в течение отопительного периода не обеспечивает рационального использования тепловой энергии. При повышении наружной температуры требуемая тепловая мощность уменьшается, и сохранение прежних параметров теплоснабжения приводит к перегреву помещений и дополнительным энергетическим потерям. Одним из перспективных направлений решения данной задачи является применение автоматизированного регулирования тепловой нагрузки, при котором температура или расход теплоносителя изменяются в соответствии с фактическим состоянием объекта теплоснабжения. Использование информации о температуре наружного воздуха и температуре внутри помещений позволяет сформировать режим управления, более точно соответствующий текущей потребности здания в тепловой энергии.

Целью настоящего исследования является повышение энергоэффективности систем теплоснабжения жилых зданий путём исследования взаимосвязи тепловой нагрузки здания, температуры наружного воздуха и параметров теплоносителя, а также разработки способа регулирования подачи тепловой энергии в соответствии с фактической потребностью объекта в отоплении. Для достижения поставленной цели предусматривается провести анализ структуры тепловых потерь жилого здания, определить основные факторы, влияющие на энергопотребление системы отопления, сформировать математические зависимости для оценки требуемой тепловой мощности и разработать способ регулирования параметров теплоснабжения, обеспечивающий снижение потребления тепловой энергии при сохранении нормативной температуры воздуха внутри помещений.

Проведённый анализ показывает, что одним из основных резервов повышения энергоэффективности систем теплоснабжения жилых зданий является обеспечение соответствия количества подаваемой тепловой энергии фактической тепловой нагрузке здания. При традиционном режиме теплоснабжения параметры теплоносителя устанавливаются преимущественно в зависимости от расчётных условий отопительного периода. Однако температура наружного воздуха в течение суток и всего отопительного сезона существенно изменяется, вследствие чего фактическая потребность здания в тепловой энергии также является переменной. Для снижения избыточного потребления тепловой энергии предлагается использовать способ автоматического регулирования системы теплоснабжения на основе текущих значений температуры наружного и внутреннего воздуха. Основной принцип предлагаемого способа заключается в непрерывной корректировке тепловой

мощности системы отопления в соответствии с фактической тепловой нагрузкой здания.

Требуемая тепловая мощность системы отопления может быть приближённо определена из выражения:

$$Q_{req}=K(T_{in}-T_{out}),$$

где Q_{req} — требуемая тепловая мощность системы отопления, Вт; K — обобщённый коэффициент теплопередачи здания, Вт/°C; T_{in} — температура воздуха внутри помещения, °C; T_{out}— температура наружного воздуха, °C.

Из данной зависимости следует, что при повышении температуры наружного воздуха требуемая тепловая мощность уменьшается. Если при этом параметры подачи теплоносителя остаются неизменными, возникает избыточное поступление теплоты, приводящее к перегреву помещений и увеличению энергетических затрат.

Для устранения данного недостатка предлагается система управления, в которой информация от датчиков температуры наружного и внутреннего воздуха поступает в контроллер. На основании полученных данных определяется текущая потребность здания в тепловой энергии и формируется управляющее воздействие на регулирующий клапан системы теплоснабжения. При повышении температуры наружного воздуха степень открытия клапана уменьшается, а при её снижении — увеличивается. Одновременно учитывается фактическая температура воздуха внутри помещений, что позволяет компенсировать влияние тепловой инерции здания и внутренних теплопоступлений. Расход тепловой энергии, передаваемой теплоносителем системе отопления, определяется выражением:

$$Q=Gc_p(T_s-T_r),$$

где G — массовый расход теплоносителя, кг/с; (c_p) — удельная теплоёмкость теплоносителя, Дж/(кг·°C); (T_s) и (T_r) — температуры теплоносителя соответственно в подающем и обратном трубопроводах, °C.

Следовательно, регулирование тепловой мощности может осуществляться посредством изменения расхода теплоносителя (G), его температуры или одновременного изменения указанных параметров. В предлагаемом варианте основным управляющим воздействием является изменение расхода теплоносителя регулирующим клапаном, поскольку данный способ позволяет оперативно изменять количество теплоты, поступающей в систему отопления здания.

Алгоритм управления предусматривает сравнение измеренной температуры внутри помещения (T_{in}) с заданным значением (T_{set}). При достижении или превышении заданной температуры подача теплоносителя уменьшается. Структурно процесс управления можно представить последовательностью:

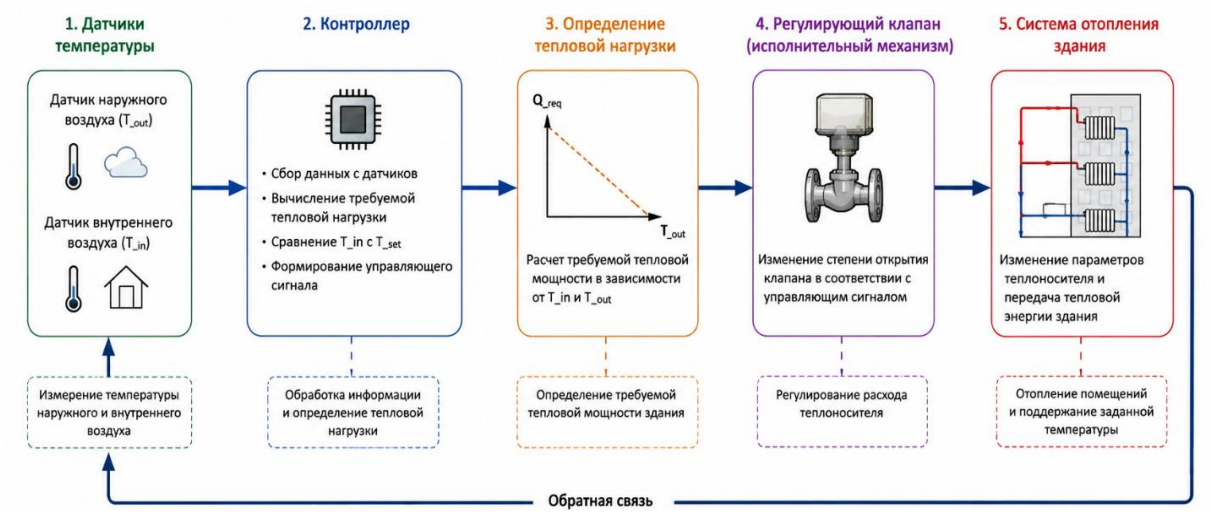

Рис. 2. Структурная схема процесса управления системой теплоснабжения жилого здания.

На рис. 2 представлена предлагаемая структура автоматического управления системой теплоснабжения. Текущие значения температуры наружного и внутреннего воздуха поступают в контроллер, где определяется требуемая тепловая нагрузка здания. На основании полученных данных формируется управляющий сигнал на регулирующий клапан, изменяющий расход теплоносителя. Наличие обратной связи по температуре внутреннего воздуха позволяет корректировать подачу тепловой энергии в соответствии с фактической потребностью здания и исключить её избыточное потребление.

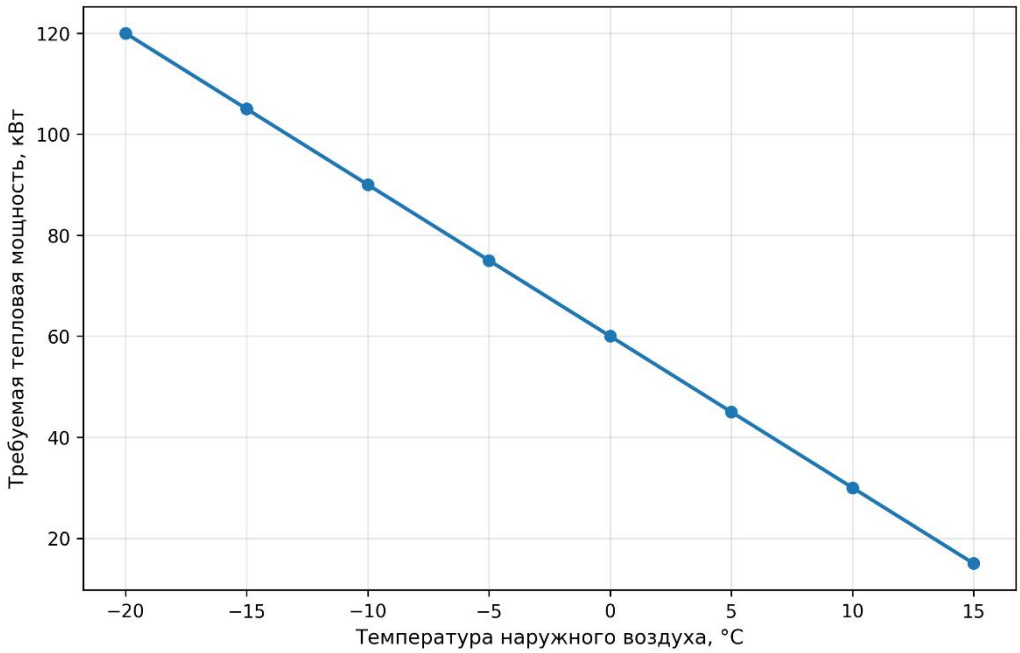

Рис. 3. Зависимость требуемой тепловой мощности от температуры наружного воздуха

Как видно из рис. 3, с повышением температуры наружного воздуха требуемая тепловая мощность системы отопления уменьшается. Следовательно, поддержание постоянного расхода теплоносителя при изменении погодных условий приводит к избыточной подаче тепловой энергии. Применение погодозависимого регулирования

позволяет адаптировать тепловую мощность к текущей потребности здания. При снижении температуры помещения относительно заданного значения контроллер увеличивает степень открытия регулирующего клапана. Одновременно значение температуры наружного воздуха используется для предварительного определения требуемой тепловой нагрузки. Таким образом, в отличие от традиционного режима с относительно постоянными параметрами теплоснабжения, предлагаемый способ обеспечивает адаптацию работы системы к текущим температурным условиям.

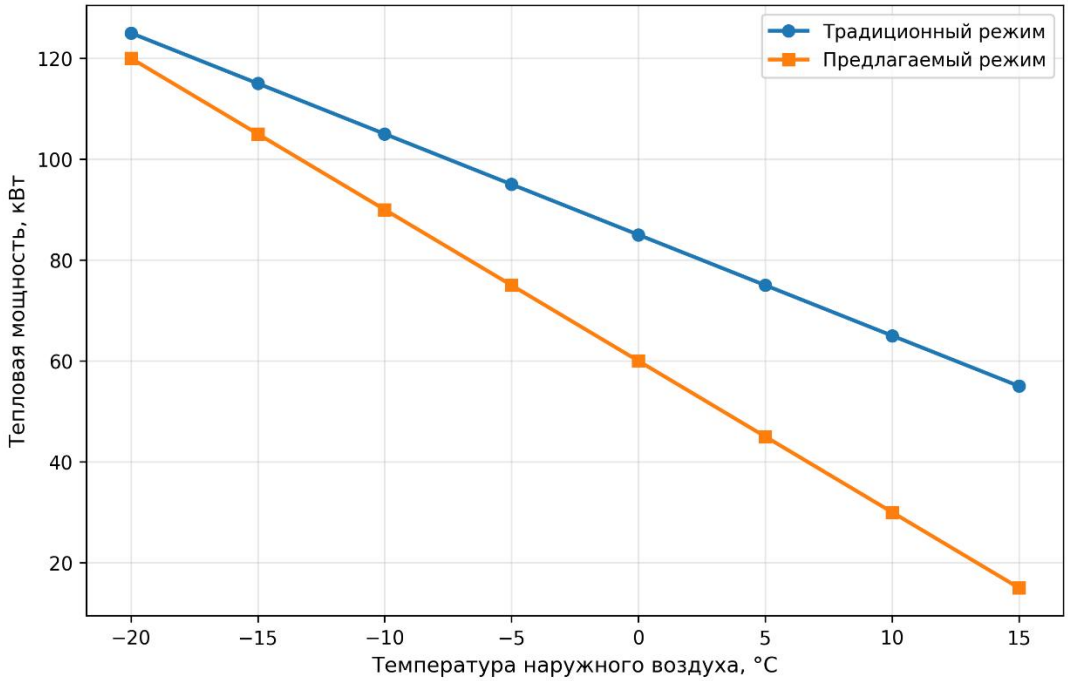

Рис. 4. Сравнение традиционного и предлагаемого режимов

Результаты расчётного моделирования показывают, что предлагаемый режим обеспечивает снижение потребления тепловой энергии по сравнению с традиционным режимом. Наиболее существенное различие наблюдается при повышении температуры наружного воздуха, когда фактическая тепловая нагрузка здания уменьшается. Это обусловлено автоматическим уменьшением расхода теплоносителя в соответствии с текущей потребностью здания в тепловой энергии.

Практическая реализация предлагаемого способа не требует существенного изменения существующей системы теплоснабжения здания. Основными дополнительными элементами являются датчики температуры наружного и внутреннего воздуха, контроллер, регулирующий клапан с электрическим приводом и средства измерения параметров теплоносителя. При наличии индивидуального теплового пункта указанные элементы могут быть интегрированы непосредственно в существующую систему автоматизации. Предлагаемый алгоритм позволяет уменьшить подачу тепловой энергии в периоды снижения фактической тепловой нагрузки и увеличить её при ухудшении температурных условий. При этом основной задачей системы управления является не максимальное сокращение расхода теплоносителя, а обеспечение минимально необходимого энергопотребления при поддержании требуемой температуры воздуха внутри жилого здания.

Таким образом, повышение энергоэффективности достигается за счёт перехода от практически постоянного режима теплоснабжения к адаптивному режиму, учитывающему текущее состояние объекта и изменение внешних климатических условий. Это позволяет уменьшить непроизводительные тепловые потери и более рационально использовать энергетические ресурсы в течение отопительного периода.

Список литератур

1. Cholewa T., Siuta-Olcha A., Bocian M., Korzeniowska E., Bomba B. et al. Adjustment of heating curve in space heating system to real energy needs as easily applicable and effective measure to increase energy efficiency in existing buildings // Energy and Buildings. – 2026. – Vol. 352. – Article 116856. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.116856.
2. Zhang Z., Zhou X., Du H., Cui P. A new model predictive control approach integrating physical and data-driven modelling for improved energy performance of district heating substations // Energy and Buildings. – 2023. – Vol. 301. – Article 113688. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113688.
3. Amato V., Knudsen M.D., Petersen S. Dual-zone economic model predictive control of residential space heating for demand response using a single heat meter // Energy and Buildings. – 2023. – Vol. 281. – Article 112759. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112759.
4. Lee H., Heo Y. Simplified data-driven models for model predictive control of residential buildings // Energy and Buildings. – 2022. – Vol. 265. – Article 112067. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112067.
5. Pippia T., Lago J., De Coninck R., De Schutter B. Scenario-based nonlinear model predictive control for building heating systems // Energy and Buildings. – 2021. – Vol. 247. – Article 111108. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111108.
6. Wolisz H., Kull T.M., Müller D., Kurnitski J. Self-learning model predictive control for dynamic activation of structural thermal mass in residential buildings // Energy and Buildings. – 2020. – Vol. 207. – Article 109542. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109542.