



ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ЗДАНИЙ МЕГАПОЛИСОВ В УВЯЗКЕ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоэнергетические показатели здания, многоквартирные жилые дома (МКД), эффект энергосберегающих мероприятий

Е. Г. Гашо, доктор техн. наук, профессор; **С. А. Козлов**, канд. техн. наук; **А. М. Фокин**, инженер; **А. А. Щукин**, инженер, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» НИУ «МЭИ»

Снижение расчетной тепловой нагрузки в распределенных системах теплоснабжения позволяет обеспечить больший объем строительства на выделенной располагаемой тепловой мощности в конкретном районе или высвободить резерв мощности для других целей. В статье рассмотрено сопоставление основных теплоэнергетических параметров 56 зданий, а также эффекты от улучшения теплозащитных характеристик и внедрения инженерных решений для различных групп потребителей тепловой энергии, условно разделенных по величине фактических показателей энергоэффективности.

Эффект от применения более совершенной теплоизоляции и инженерных решений в системах теплопотребления сводится не только к сокращению расхода энергоресурсов, но и к улучшению работы всей системы теплоснабжения «ТЭЦ – магистрали – потребители» и может быть определен финансовыми и материальными показателями в конкретных случаях. Сокращение расхода энергоресурсов учитывается расчетами за поставленную энергию, поэтому представлено критерием годового расхода. Опре-

деляющими параметрами, влияющими на оптимизацию работы системы теплоснабжения в комплексе, являются прежде всего расчетная тепловая нагрузка и управление режимами потребления.

Постепенный рост требуемой тепловой мощности в Москве исчерпывает имеющиеся резервы пропускной способности теплосетей ПАО «МОЭК». Поэтому с 2024 года в утвержденном температурном графике работы тепловых сетей ПАО «МОЭК» для отопительного периода 2024–

2025 годов ТЭЦ ПАО «Мосэнерго» (кроме ГЭС-1) температурную срезку в подающем трубопроводе повысили до 135 °C. Начиная с отопительного периода 2025–2026 годов, ПАО «МОЭК» планирует полностью отказаться от температурной срезки действующего температурного графика 150/70 °C для работы своих тепловых сетей. Наличие срезки температурного графика теплосетей в Москве снижает надежность теплоснабжения потребителей в период низких температур.

Из-за недополучения тепловой энергии в МКД, возможны значительные перегрузки городских электрических сетей 6–10–20 кВ, что может провоцировать каскадные аварии с отключением группы многоквартирных домов с потерей электро- и теплоснабжения. Снижение расчетной тепловой нагрузки позволяет обеспечить больший объем строительства на выделенной располагаемой тепловой мощности системы в конкретном районе или высвободить резерв мощности для других целей.

О методике увязки ключевых теплоэнергетических показателей зданий

Комплекс социально-экономических и технологических перемен последних десятилетий требует внимательного анализа и мониторинга динамики и эффективности процессов энергоиспользования у потребителей разных категорий и групп [1]. Для систематического внедрения энергоэффективных решений в существующем фонде недвижимости следует выявить основные группы потребителей по степени энергоэффективности – такое распределение позволило бы наиболее эффективно подойти к задаче по масштабному снижению энергопотребления у потребителей.

Классификация недвижимости по различным признакам способствует более успешному изучению объектов [2]. Привычная классификация недвижимости (здания жилые, коммерческие, общественные), как правило, используется при рассмотрении экономических, юридических, правовых аспектов. С точки зрения теплоэнергетики здание является потребителем тепла, а предметом его исследования – энергоэффективность, фактические параметры которой определяются геометрическими характеристиками здания и показаниями теплосчетчика.

Комплексный подход к энергоэффективности требует рассмотрения в увязке четырех ключевых теплоэнергетических показателей здания:

- удельное годовое потребление тепла $q_{\text{год}}$, Гкал/м²;
- удельная отопительная характеристика (УОХ) q_0 (объемная, Вт/м³•°C; площадная, Вт/м²•°C);
- удельная расчетная мощность отопления $q_{\text{расч}}$, Вт/м²;
- комплексное приведенное термическое сопротивление оболочки здания R_k , м²•°C/Вт, характеризующее потери тепла, поставленного в здание системой отопления.

При этом для обоснования оптимальных параметров необходимо провести соответствие теоретических и фактических значений (табл. 1).

Обратный расчет показателей (фактических) ввиду ряда внешних факторов не позволяет получить адекватные значения стационарных теплофизических характеристик здания.

Таблица 1 Увязка показателей энергоэффективности зданий

Показатель	Прямая (теоретическая) взаимосвязь	Обратная (фактическая) взаимосвязь
R_k , м ² •°C/Вт	Исходный параметр	$R_k = \frac{K_\phi}{q_{\text{расч}}}$
$q_{\text{расч}}$, Вт/м ³ •°C	$q_{\text{расч}} = \frac{K_\phi}{R_k}$	$q_{\text{расч}} = \frac{q_{\text{год}}}{\text{ГСОП}}$
$q_{\text{год}}$, Гкал/м ²	$q_{\text{год}} = \frac{\text{ГСОП}}{R_k}$	Исходный параметр
$q_{\text{расч}}$, Вт/м ²	$q_{\text{расч}} = q_{\text{год}} \cdot (t_{\text{вн}}^p - t_{\text{н}}^p)$	

В то же время комплексные показатели q_0 и R_k применяются для оценки совместного влияния стационарных и эксплуатационных факторов.

В целях проведения целесообразной с точки зрения энергоэффективности классификации объектов недвижимости, а также обоснования оптимальных тепловых параметров зданий с точки зрения экономии и энергобезопасности для 56 зданий (в том числе жилых и общественных) проведено сопоставление между собой данных показателей. В перечень вошли дома серий П-44т, И-155, П-46М, П-43, Башня Вулыха, КОПЭ, I-515/9М, П-30, П-3м, II-14, И-209А, II-57-А/12, П55/12, П47/12, I-511/37, I-510, П-111м, 1605-АМ/12Ю, I-447С-7, II-29, П-18/22, П-49Д, индивидуальные проекты, а также новые здания школ и ДОУ. Для расчета фактических показателей использовались наиболее точные геометрические характеристики зданий, поэтому точность расчетов преимущественно обусловлена качеством показаний теплосчетчиков.

Рассчитанные на основе комплексного термического сопротивления оболочки здания тепловые параметры имеют обратную зависимость от R_k (рис. 1). Числовой диапазон числителей определяет высоту положения кривой относительно оси абсцисс и, соответственно, диапазон излома кривой на графиках. Теоретический график условно разделен на три области, разграниченных **условными** точками излома. Первая область (I) характеризуется значительной зависимостью от R_k , вторая (II) – менее значительной, третья (III) – незначительной (рис. 1).

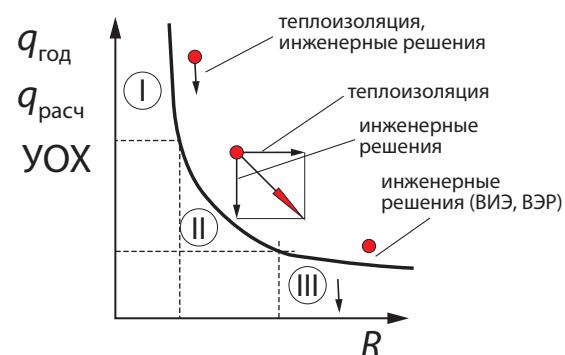


Рис. 1. Условное обозначение зависимости от R_k и графическое представление взаимосвязи энергосберегающих мероприятий и тепловых параметров зданий

Сопоставление расчетных и фактических данных

Говоря о повышении энергетической эффективности зданий, мы подразумеваем повышение значения R_k (или снижение УОХ) как интегрального показателя теплозащиты и эффективности эксплуатации.

- Для зданий, находящихся в области I (рис. 1), в первую очередь могут быть востребованы как повышение теплоизоляционных характеристик, так и внедрение инженерных решений – в зависимости от исходного состояния здания и системы отопления. При выборе оптимальных мероприятий по энергосбережению точка, соответствующая параметрам здания, на графике станет скользить преимущественно вдоль теоретической кривой. Здания, попадающие в область I, имеют низкую энергоэффективность («плохие» здания).

- В области II располагаются здания, улучшение теплоизоляционных характеристик которых не гарантирует повышения показателей энергоэффективности. Точки на диаграмме в области II способны в равной степени смещаться вдоль обеих осей координат, причем смещение по оси абсцисс определяет изменение стационарного показателя теплозащиты R , а по оси ординат – факторы, влияющие на эффективность эксплуатации, выраженную в конечном итоге в избыточной инфильтрационной нагрузке ($q_{\text{инф}}$). Таким образом, в области II с ростом R_k увеличивается роль эффективности эксплуатации, обусловленной инженерными решениями.

- В области III повышение энергоэффективности возможно в основном при использовании современных инженерных решений с использованием ВИЭ или ВЭР.

На диаграмме с сопоставлением значений годового удельного теплопотребления и комплексного приведенного термического сопротивления оболочек зданий (рис. 2) представлены три теоретических графика (гиперболы), построенных для разных значений градусо-суток, а точками обозначены значения фактических параметров исследуемых зданий. Следует учитывать, что ввиду индивидуальных особенностей здания (геометрических характеристик, внутренней температуры воздуха, мощности внутренних

Таблица 2 Классификация потребителей тепла

Группа	Описание	Диапазон $q_{\text{год}}$, Гкал/м ²
I	«Плохие» здания	от 0,125
II	«Средние» здания	0,090–0,125
III	«Хорошие» здания	до 0,090

Таблица 3 Распределение исследуемых зданий по группам энергопотребления

Группа	Масштабный анализ (I 153 здания)		Подробный анализ (56 зданий)	
	Количество зданий	Доля, %	Количество зданий	Доля, %
I	784	68	21	37
II	309	27	29	52
III	60	5	6	11

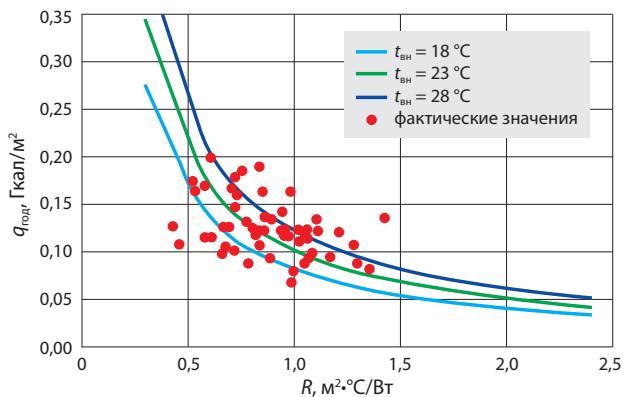


Рис. 2. Сопоставление величины удельного годового теплопотребления здания и комплексного приведенного термического сопротивления его оболочки

точников тепла и др.) для каждого здания существуют **свои** теоретические линии, на которых располагаются расчетные значения показателей.

Теоретическими линиями на графиках обозначен диапазон значений, в котором концептуально **должно** располагаться большинство расчетных значений исследуемых зданий. Если точка, характеризующая фактические тепловые параметры здания, лежит на свойственной зданию теоретической кривой, можно считать, что здание эффективно в силу степени его теплозащиты.

Излом теоретической кривой зависимости $q_{\text{год}}$ от R (рис. 2) в нижней части происходит при значениях $R = \sim 1-1,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, выше которых годовое теплопотребление зданий перестает снижаться, что в целом подтверждают фактические значения данных показателей. Таким образом, предложено классифицировать потребителей, разделив их на три группы по значениям фактического удельного годового теплопотребления, приблизительно соответствующим точкам излома (рис. 1, табл. 2).

Результаты распределения 56 зданий по группам приведены в табл. 3. Также представлена аналогичная пропорция для I 153 МКД г. Москвы, параметры которых были рассчитаны в рамках масштабного анализа архивов теплосчетчиков отопительного периода 2023–2024 годов, предоставленного ГБУ «ИМЦ» [3]. По данным табл. 3 видно, что масштабный анализ преувеличивает долю энергоэффективных зданий (группа I), скрывая реальные проблемы. Подробный анализ выявляет, что основной потенциал экономии находится в группах II и III, доля которых резко растет при углублении. Переход к детальному исследованию необходим для более точного анализа проблемных объектов и эффективных решений.

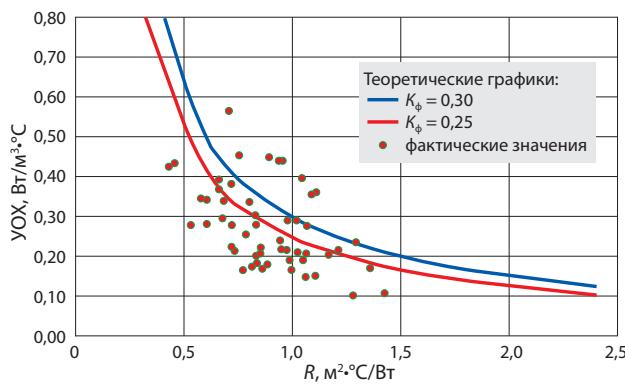


Рис. 3. Сопоставление удельной объемной отопительной характеристики и комплексного приведенного термического сопротивления оболочки здания

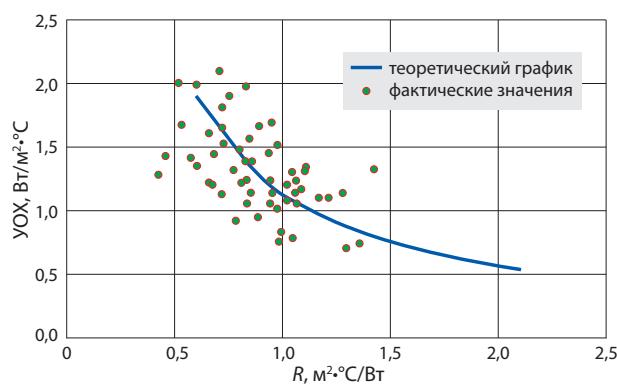


Рис. 4. Сопоставление удельной площадной отопительной характеристики и комплексного приведенного термического сопротивления оболочки здания

Почему фактическое удельное годовое теплопотребление зданий превышает расчетные значения?

К числу основных причин завышенных значений удельного годового теплопотребления зданий относительно теоретических показателей относятся:

- завышенные трансмиссионные теплопотери (потери через оболочку здания) относительно инфильтрационных (низкое термическое сопротивление ограждающих конструкций в результате низкого качества строительства или промерзания);
- завышенные инфильтрационные теплопотери, возникающие вследствие низкого качества строительства или особенностей расположения объекта;
- неэффективная работа системы отопления. В этом случае в некоторых зданиях температура может достигать 28°C (рис. 1), что, как правило, приводит к завышенным инфильтрационным потерям в результате «перетопа».

Сопоставление удельной объемной отопительной характеристики и условного термического сопротивления представлено на рис. 3. Теоретический диапазон задан кривыми, рассчитанными по коэффициентам формы здания 0,25 и 0,30, поскольку большинство МКД находятся в пределах данных геометрических соотношений. Разброс фактических значений относительно теоретических (рис. 3–6) во многом

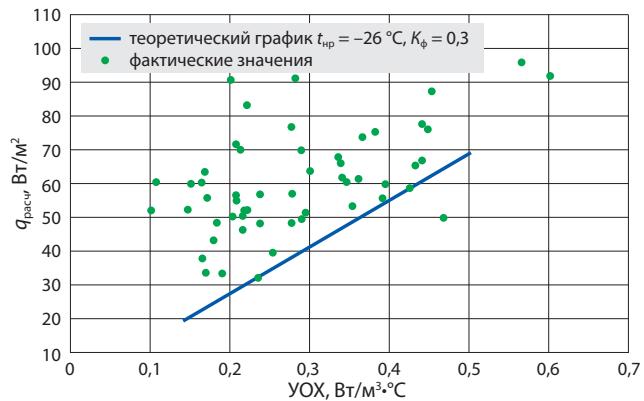


Рис. 5. Сопоставление удельной расчетной мощности отопления и удельной объемной отопительной характеристики

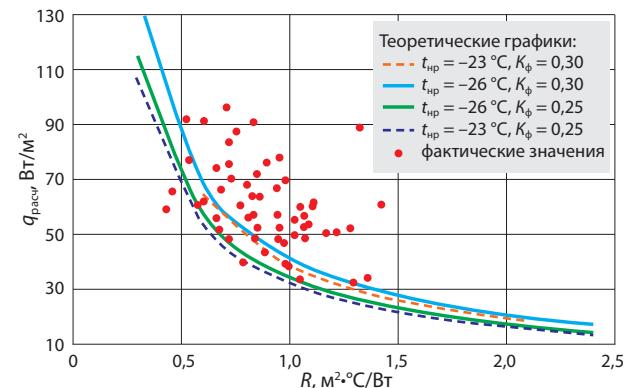


Рис. 6. Сопоставление удельной расчетной мощности отопления и комплексного приведенного термического сопротивления оболочки здания

обусловлено влиянием геометрических характеристик на теплопотери здания.

Критический излом теоретических кривых на графике зависимости $q_{расч} = f(R)$ (рис. 6) в отличие от зависимости $q_{гоA} = f(R)$ (рис. 2) происходит при значениях ближе к величине $1,9\text{--}2,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Это четко свидетельствует в пользу необходимости стремления к значению $R = 2$, если мы хотим вести речь о надежности системы при низких температурах и высовождении тепловой мощности. Термическое сопротивление ограждающих конструкций задает планку энергоэффективности здания, достижение которой зависит от эффективного применения инженерных решений.

Литература

1. Гашо Е. Г., Фокин А. М., Щукин А. А. Анализ фактических тепловых параметров зданий жилого фонда Москвы в условиях реальной эксплуатации // Энергосбережение. 2024. № 7. С. 14–18.
2. Жигалова В. Н. Экономика недвижимости. Томск: Эль Контент, 2012.
3. Гашо Е. Г., Макаров М. М. От множества приборов учета тепла к единой информационной системе: новые возможности Москвы // Энергосбережение. 2024. № 6. С. 42–45.
4. Гашо Е. Г., Фокин А. М., Щукин А. А. Тепловые параметры жилых зданий в условиях их эксплуатации // Коммунальный комплекс. 2025. № 4. С. 4–7. ■