

Энергетический аудит жилого здания

Матросов Ю. А., Матросов П. Ю.
НИИ строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

Излагаются методики, положенные в основу разработки двух новых ГОСТ 31167 и 31168, применение их на практике и результаты экспериментального определения энергопотребления, уровня тепловой защиты и теплоэнергетических показателей многоквартирного жилого здания в г. Москве. Экспериментальные исследования выполнены в течении 22 дней с 19 февраля по 12 марта 2004 г.

Энергетический аудит здания состоит из последовательности действий, направленных на сбор данных (мониторинг), их обработку и определение энергетической эффективности здания и его теплоэнергетических параметров. Результаты энергетического аудита являются основой заполнения энергетического паспорта и сертификации зданий по энергоэффективности.

В предлагаемой статье излагаются методики, положенные в основу разработки двух новых ГОСТ 31167 и 31168, применение их на практике и результаты экспериментального определения энергопотребления, уровня тепловой защиты и теплоэнергетических показателей многоквартирного жилого здания в г. Москве. Экспериментальные исследования выполнены в течении 22 дней с 19 февраля по 12 марта 2004 г.

Методика определения воздухопроницаемости совокупности ограждающих конструкций в соответствии с ГОСТ 31167

Определение воздухопроницаемости отдельных элементов не дает критериев воздухопроницаемости группы изолированных помещений (например, квартир) или отдельных помещений и здания в целом.

Сущность методики экспериментального определения воздухопроницаемости здания (квартиры) заключается в том, что в исследуемый объем нагнетают или

отсасывают из него воздух и после установления стационарного воздушного потока через вентилятор при фиксированном перепаде давления между внутренним и наружным воздухом измеряют расход воздуха через вентилятор и приравнивают его к расходу воздуха, фильтрующегося через неплотности ограждений, ограничивающих испытываемый объем. По результатам измерений при нескольких перепадах давления вычисляют среднюю массовую воздухопроницаемость G исследуемого объема при разности давлений 10 Па и определяют кратность воздухообмена этого объема при разности давлений в 50 Па. Метод измерений в этом стандарте не определяет непосредственно кратность воздухообмена помещений в естественных условиях, однако возможно использование эмпирических зависимостей для приближенного определения такой кратности воздухообмена.

Поток воздуха создается вентилятором с переменной скоростью вращения, помещенным в специальный калиброванный кожух. Расход воздуха через вентилятор измеряется по перепаду давлений дросселированием потока через специальную пластину с калиброванными отверстиями. Вентилятор помещают в отверстие специальной раздвижной створки из воздухонепроницаемой ткани, устанавливаемой вместо входной двери в здание или квартиру. Создаваемые перепады давления воздуха измеряют двумя микроманометрами - один на вентиляторе измеряет разность давлений воздуха, проходящего через вентилятор, и воздуха внутри помещения ΔP_{ven} , другой — разность давлений снаружи и внутри испытываемых помещений ΔP_{env} и на основе этих величин определяют расход воздуха через вентилятор Q_{ven} . Так как весь воздух, прошедший через вентилятор, в конечном счете проходит через ограждения, то можно считать, что расход воздуха через ограждение $Q_a = Q_{ven}$.

Вентилятор должен иметь достаточную производительность для создания разности давлений между испытываемым объемом и воздухом снаружи 50 Па. Такая разность давлений может быть обеспечена вентилятором производительностью 1200 м³/ч при испытании квартир в многоквартирных зданиях и 2500 м³/ч при испытании односемейных зданий. Испытание можно проводить, если разность температур наружного воздуха и внутри помещения не превышает 30° и скорость ветра на высоте 1,5 м от земли не свыше 8 м/с.

Методика определения удельного расхода тепловой энергии на отопление в соответствии с ГОСТ 31168

Метод определения нормализованного удельного расхода тепловой энергии на отопление здания разработан с целью сопоставления с нормируемым показателем согласно СНиП 23-02[1], а также расчету общего коэффициента теплопередачи здания.

Сущность метода заключается в том, что в отопительный период для определенных интервалов времени измеряют в испытываемом здании расход тепловой энергии на отопление, среднюю температуру воздуха внутри и снаружи здания и

интенсивность суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность. Для тех же интервалов времени рассчитывают величины общих тепловых потерь через ограждающие конструкции здания, равные измеренным расходам тепловой энергии на отопление и суммарным теплоступлениям (бытовым и солнечной радиации через светопроемы).

По рассчитанным общим теплотерям при соответствующих разностях температур внутреннего и наружного воздуха определяют линейную зависимость наилучшего приближения к этим данным и по линейной зависимости и внутренним размерам помещений и ограждающих конструкций вычисляют общий коэффициент теплопередачи наружных ограждений здания и удельное потребление тепловой энергии на отопление здания за отопительный период, а также устанавливают класс энергетической эффективности здания.

Характеристика здания, где был выполнен мониторинг

Двух секционное 11 этажное жилое здание, предназначенное для муниципального (бесплатного) заселения сносимых 5 этажных зданий, возведено в г. Москве в течение 2002-03 гг. (рисунок 1). К началу проведения экспериментов здание было заселено не более, чем на две трети. Здание имеет 11 этажей общей высотой 35,3 м, длиной 57,6 м и шириной 17,6 м, число квартир 177 общей площадью 8250 м².



Рисунок 1. Общий вид здания

Постановлением правительства г. Москвы № 15-ПП от 8 января 2002 г. решено построить несколько таких зданий. Здание возведено по новой для России швейцарской технологии по системе «Пластбау» за средства города и вследствие применения новой технологии является экспериментальным.

Конструкция здания монолитная бескаркасная железобетонная с утеплителем снаружи и внутри. Особенности строительной системы является использование оставляемой после строительства опалубки из жесткого пенополистирола, в результате чего конструкция стены трехслойная со средним слоем из армированного железобетона толщиной мм (рисунок 2). Толщина наружного основного теплоизоляционного слоя из пенополистирола 150 мм, внутреннего слоя (дополнительная теплоизоляция) 50 мм. Изнутри пенополистирол защищен двумя слоями гипсокартона толщиной 25 мм, снаружи — штукатуркой толщиной 35 мм по арматурной сетке. Наружные и внутренние слои теплоизоляции соединены между собой стальными стержнями диаметром 2-6 мм на расстоянии 200 мм друг от друга.

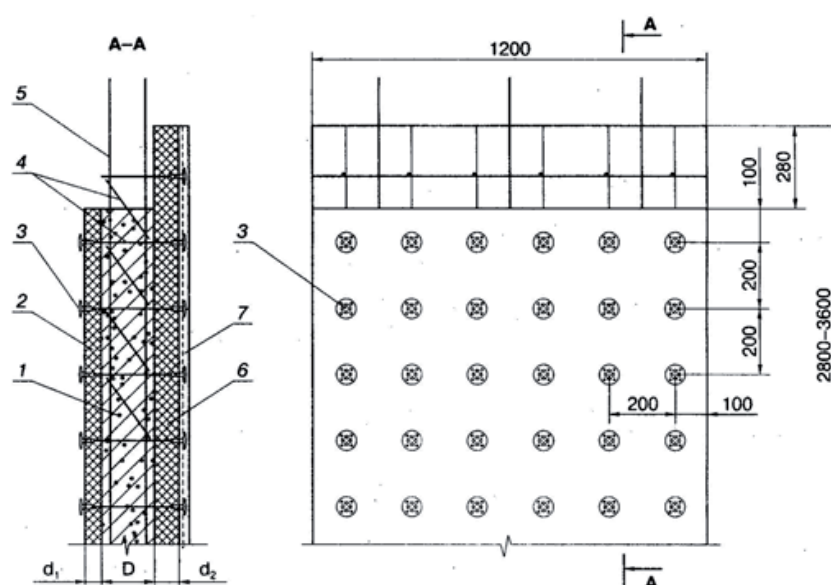


Рисунок 2. Конструкция стены

Здание было запроектировано по нормам МГСН 2.01 [2] с высокими энергетическими показателями. Поскольку такое здание было первым в г.Москве, то руководством компании, возводившей это здание, было решено поручить НИИСФ, как основным авторам МГСН 2.01, провести экспериментальные исследования фактических энергетических характеристик этого здания.

Определение воздухопроницаемости ограждающих конструкций квартир

Экспериментальное определение воздухопроницаемости совокупности ограждающих конструкций было проведено в 4 квартирах согласно методике ГОСТ 31167 [3]. Эти исследования были проведены с целью проверки на соответствие новым требованиям СНиП 23-02 [1] и с целью определения доли инфильтрационной составляющей в воздухообмене здания.

Кроме того, согласно новым требованиям СНиП 23-02 [1] в каждом здании, сдаваемом в эксплуатацию, должно быть проведено выборочное испытание на воздухопроницаемость совокупности ограждающих конструкций в 2-3 квартирах. В результате проведения испытаний определяется кратность воздухообмена помещений зданий n_{50} при перепаде давлений снаружи и внутри в 50 Па и проверка ее соответствия нормируемому значению.

В результате испытаний были получены следующие кратности воздухообмена при 50 Па: 1,78; 2,86; 2,36 и 1,84 ч⁻¹, среднее значение 2,2 ч⁻¹, нормируемое значение согласно СНиП 23-02 равно 4 ч⁻¹. Очевидно, что по воздухопроницаемости нормы соблюдаются. Согласно классификации воздухопроницаемости, приведенной в СП 23-101, эти помещения относятся к классу “нормальная”.

Были рассчитаны следующие величины G средней массовой воздухопроницаемости совокупности ограждающих конструкций, ограничивающих замкнутый объем квартир, включая наружные и межквартирные стены, окна, пол и потолок: 0,41; 0,88; 1,01 и 0,49 кг/(м²Чч) при среднем значении $G = 0,7$ кг/(м²Чч). Эта величина не нормируется.

Необходимо отметить, что метод измерений не определяет кратность воздухообмена квартир в естественных условиях. Однако существует эмпирическая зависимость $n = n_{50} / 20$ средней за отопительный период кратности воздухообмена в естественных условиях с кратностью воздухообмена, полученной при испытаниях в 50 Па. В результате пересчета по этой формуле получили следующие значения воздухообмена за счет инфильтрации: 0,09; 0,14; 0,12 и 0,09 ч⁻¹ при среднем значении 0,11 ч⁻¹. Нормируемая кратность воздухообмена для этого жилого здания равна 0,8 ч⁻¹. Поэтому для обеспечения необходимого воздухообмена требуется дополнительный приток, покрывающий дефицит приточного воздуха.

Определение фактического сопротивления теплопередаче наружных стен

Определение фактического сопротивления теплопередаче наружных стен выполнялись согласно ГОСТ 26254 [4] по 3 сечениям стены (2 сечения в торцевой стене и 1 сечение в фасадной стене) в квартире на 8 этаже. Период наблюдений 22 дня. В этот период измерения проводились каждые 2 часа и фиксировались автоматически. Программа измерений предусматривала 100 кратное измерение каждой величины с фиксацией среднего арифметического значения.

В качестве первичных датчиков были применены датчики теплового потока и термопреобразователи. Всего было использовано 10 датчиков температуры и 3 тепломера.

Получены следующие осредненные сопротивления теплопередаче:

- для торцевой стены по сечению 1 - 3,28 м²Ч°С/Вт;
- по сечению 2 - 2,14 м²Ч°С/Вт; для фасадной стены по сечению 3 - 3,65 м²Ч°С/Вт.

Следует отметить, что в сечении 2 находится теплопроводное включение. Этим объясняется понижение сопротивления теплопередаче в этом сечении по сравнению с измеренной величиной в сечении 1 той же стены. При сдвиге по окончании измерений датчика теплового потока по горизонтали на 20 см, результаты измерений были близки к тем, что были получены в сечении 1. Для фасадной стены по сечению 3 фактическое значение сопротивления теплопередаче $3,65 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ практически совпадает с расчетным значением, равным $3,70 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$.

Согласно СНиП 23-02 [1] нормируемое сопротивление теплопередаче стен равно $3,16 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Теплопроводное включение в стене относительно невелико, также относительно невелико и его влияние. Поэтому, фактическое приведенное сопротивление теплопередаче стен соответствует нормируемым значениям.

Мониторинг температур внутреннего и наружного воздуха

Параметры микроклимата измерялись вручную один раз в сутки в 12 ч дня в течение всего 22 дневного периода наблюдений с пропуском 2 дней 8 и 9 марта. Измерялись температуры внутреннего воздуха и относительная влажность. Измерения были выполнены в 11 незаселенных квартирах (2-х на 11 этаже, одной на 6 этаже, 2-х на 5 этаже, одной на 4 этаже, 3-х на 3 этаже и 2-х на 2 этаже). Измерения температур выполнялись ртутным термометром, относительная влажность - цифровым гигрометром. Измерения проводились согласно ГОСТ 30494 [5] в центре помещений на высоте 1,5 м от пола. Для стабилизации показаний каждое измерение записывалось не менее чем через 20 мин после начала измерений.

На рисунке 3 приведен график изменения средних суточных температур внутреннего воздуха за период измерений. Средние суточные температуры внутреннего воздуха колебались в пределах от 20,5 до 22,5 °С, относительная влажность внутреннего воздуха колебалась в пределах от 15 до 30%.

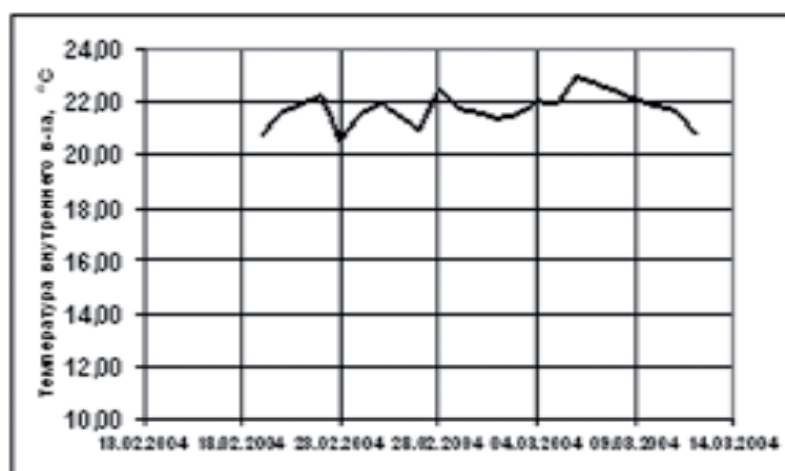


Рисунок 3. График измеренных средних суточных температур внутреннего воздуха

Согласно ГОСТ 30494 [5] в жилых помещениях оптимальная температура внутреннего воздуха находится в пределах 20-22 °С, допустимая температура в пределах 18-24 °С, оптимальная относительная влажность в пределах 30-45%. Очевидно, что измеренные температуры немного выше, что это легко устранимо настройкой термостатов. Однако относительная влажность немного ниже предельных значений. Необходимо отметить, что измерения выполнялись в незаселенных квартирах. Следует ожидать, что в процессе эксплуатации термостаты могут быть отрегулированы путем снижения температуры на 0,5 °С. Также следует ожидать, что в заселенных квартирах относительная влажность будет находиться в оптимальных пределах.

Начальный период измерений характеризовался относительно низкими температурами наружного воздуха (-16 °С) с постепенным потеплением (до $\pm 2^{\circ}\text{C}$) к середине периода и с небольшим похолоданием (до -6 °С) в конце периода измерений. В течение большей части периода измерений была пасмурная погода.

Данные с средних суточных температурах наружного воздуха для того же периода наблюдений были получены осреднением срочных наблюдений по данным ближайшей метеостанции (на ВДНХ). Средний суточный ход этих температур приведен на рисунке 4.

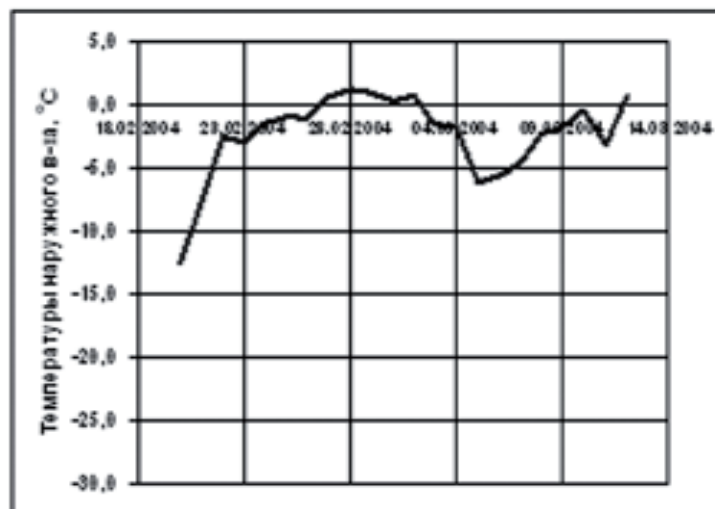


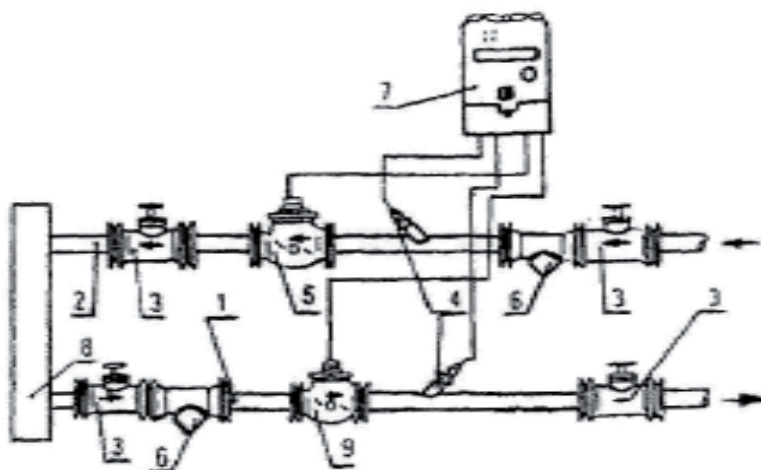
Рисунок 4. Средний суточный ход температур наружного воздуха в период измерений

Данные о средней суточной суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности были получены по данным наблюдений метеостанции «Университет». Эти данные были пересчитаны согласно приложению В ГОСТ 31168 [6] на вертикальные поверхности, соответствующие ориентации фасадов здания на ЮЗ/ЮВ. Суммарные средние суточные теплопоступления от солнечной через светопроемы Q_s^i , кДж, рассчитывались согласно того же приложения.

Мониторинг теплоэнергетических параметров здания

Экспериментальное определение экспресс методом теплоэнергетических параметров было выполнено согласно ГОСТ 31168 [6].

Для этой цели Заказчиком был установлен на границе балансовой принадлежности комплект теплосчетчика типа СТ 1, состоящий из счетчиков горячей воды типа ВСТ, вычислителя типа *Supercal-431* и комплекта платиновых преобразователей сопротивления типа Pt-500, измеряющих температуры воды (рисунок 5).



- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Обратный трубопровод; | 6. Фильтр с отстойником; |
| 2. Подающий трубопровод; | 7. Вычислитель <i>Supercal-431</i> ; |
| 3. Запорные органы; | 8. Распределительная сеть в здании; |
| 4. Термо-преобразователи сопротивления; | 9. Счетчик горячей воды ВСТ |
| 5. Счетчик горячей воды ВСТ с датчиком импульсов; | с датчиком импульсов. |

Рисунок 5. Схема установки теплосчетчика

Период наблюдений длился 22 дня. В этот период осуществлялся вручную один раз в сутки (в полдень) съем следующих текущих параметров теплоносителя с электронного счетчика *Supercal-431* для определения суточного расхода теплоты на отопление:

- объемный расход воды (нарастающим итогом) в подающем трубопроводе, м³;
- объемный расход воды (нарастающим итогом) в обратном трубопроводе, м³;
- температура воды в подающем трубопроводе, °С;
- температура воды в обратном трубопроводе, °С;
- время наработки теплосчетчика, ч.

В этот же период наблюдений один раз в сутки (в полдень) считывались показания двух электросчетчиков (по одному на каждую секцию нарастающим итогом) для определения суточного расхода электроэнергии. Предполагалось, что вся электро-

енергия, израсходованная в здании, переходит в тепловую энергию в виде бытовых тепловыделений.

Бытовые тепловыделения от людей, заселяющих квартиру, были рассчитаны приближенно из условия заселения 115 квартир из 177 в доме и нахождения в них по два взрослых человека.

Данные с средних температурах внутреннего воздуха в здании были получены для того же периода наблюдений осреднением данных измерений по площадям квартир.

На рисунке 6 приведен график суточного потребления теплоты на отопление здания Q_{ht}^i , кДж, рассчитанных по формуле (1) ГОСТ 31168 [6], используя данные измерений среднего за сутки потребления воды в системе отопления и разности температур в подающем и обратном трубопроводах.

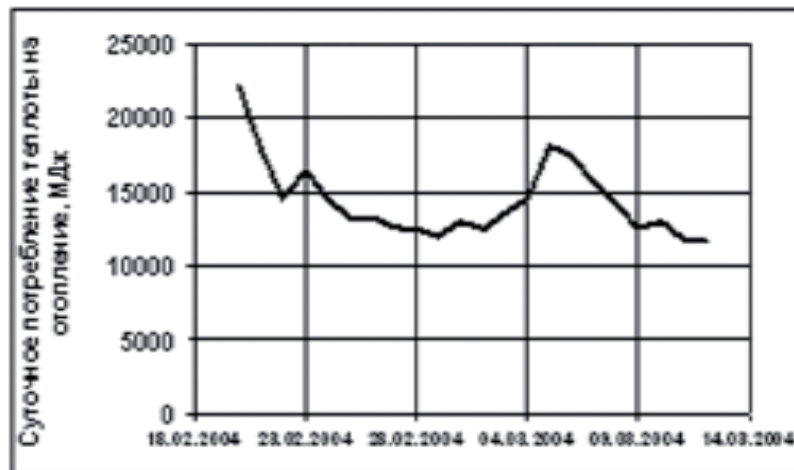


Рисунок 6. Суточное потребление теплоты на отопление здания

Суточные величины общих теплотерь здания Q_h^i , Вт, через ограждающие конструкции для периода наблюдений рассчитывались по формуле (6) ГОСТ 31168 [6], используя данные суточного потребления теплоты на отопление и данные измерений средних суточных теплоступлений от солнечной радиации и бытовых теплоступлений. Величины Q_h^i нанесены точками на график рисунок 7 в виде функциональной зависимости теплотерь здания от разности температур воздуха внутри и снаружи.

По этим данным была найдена линейная зависимость (на рисунке 7 — прямая линия) теплотерь здания Q_h^i , Вт, от средних суточных разностей температур воздуха внутри и снаружи с коэффициентом a , Вт/°С, по формуле (7) ГОСТ 31168 [6].

С помощью коэффициента a по формуле (9) ГОСТ 31168 [6] был рассчитан фактический общий коэффициент теплопередачи K_m , Вт/(м²°С), наружных ограждающих конструкций здания, равный 1,044 Вт/(м²°С). Для сравнения, расчет-

ная величина для этого здания равно $0,993 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$. Таким образом очевидно, что фактическое значение общего коэффициента теплопередачи практически совпадает с расчетным значением.

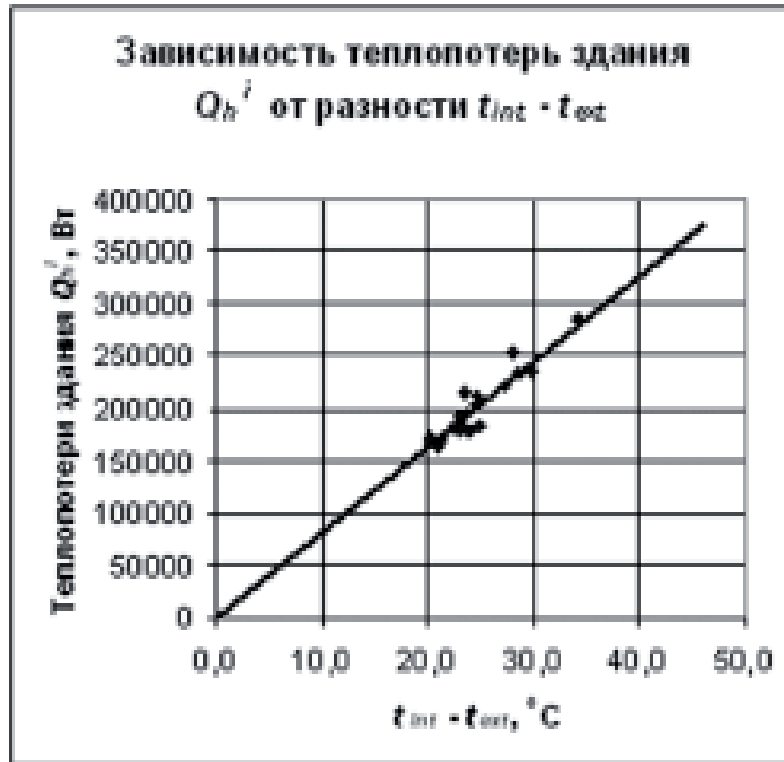


Рисунок 7. Зависимость общих теплотерь здания от разность температур снаружи и внутри

Следует напомнить, что согласно СНиП 23-02 [1] общий коэффициент теплопередачи K_m состоит из двух составляющих: k_m^{tr} — приведенного коэффициента теплопередаче совокупности наружных ограждающих конструкций, и k_m^{inf} — условного коэффициента теплопередаче здания, учитывающего теплотери за счет инфильтрации и вентиляции. Результаты выборочного определения фактического приведенного сопротивления теплопередаче стен подтвердили соответствие нормируемым значениям. Результаты экспериментального определения воздухопроницаемости показали существенно более низкую кратность воздухообмена, чем нормируемая величина, и поэтому меньшее чем расчетное фактическое значение k_m^{inf} . Необходимо также отметить, что вследствие заселенности квартир здания в период испытаний не более 65%, фактические бытовые тепловыделения в здании были также ниже расчетных значений.

Расход тепловой энергии на отопление здания за расчетный отопительный период Q_h^y , МДж, определили по формуле (10) ГОСТ 31168 [6] равным $Q_h^y = 2916904 \text{ МДж}$

Удельный фактический расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период $q_{\text{ф}}$, кДж/(м²°СЧсут), вычислили по формуле (11) ГОСТ 31168 [6] равным $q_{\text{ф}} = 70,33$ кДж/(м²°СЧсут).

Согласно СНиП 23-02 нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление 10-11 этажного здания равен 72 кДж/(м²°СЧсут). Удельный фактический расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период немного ниже нормы. Согласно классификации зданий, установленной в СНиП 23-02 [1], здание относится к классу «нормальный». Необходимо отметить, что здание было запроектировано по нормам МГСН 2.01 [2], где для зданий 10 этажей и выше установлена норма 68 кДж/(м²°СЧсут). Согласно классификации МГСН 2.01 [2] по категории энергетической эффективности это здание относится к категории «стандартая».

Обсуждение полученных результатов

В целом получены очень хорошие теплотехнические и энергетические показатели — лучшие, чем требования нового СНиП 23-02 [1], введенного в действие после завершения строительства здания. В исследовательской практике НИИСФ с такими хорошими теплотехническими и энергетическими показателями встечаемся впервые. Очевидно, что такое здание энергоэффективное и полностью соответствует требованиям новых норм по обоим критериям.

Однако проектные (расчетные) показатели, и, в частности, расчетное удельное энергопотребление на 30 % ниже фактического значения. Причины такого расхождения заключаются в следующем:

- дом был в эксплуатации первый год после завершения строительства; в первый год эксплуатации происходит удаление (высыхание) строительной влажности из ограждающих конструкций и постепенная стабилизация теплотехнических показателей;
- дом был заселен не более, чем на две трети и в период экспериментальных исследований продолжался процесс заселения; в этот период входные двери в вестибюль здания практически не закрывались; также были приоткрыты двери в наружные переходы лестничных клеток; все это приводило к проникновению холодного воздуха в общие коридоры и лифтовые площадки;
- дом имел повышенную приблизительно на 2 °С температуру внутреннего воздуха в квартирах несмотря на наличие термостатических кранов, т.е. имел место перетоп.

В результате во время экспериментальных исследований по сравнению с расчетными значениями были:

- более высокие чем расчетные теплопотери через ограждающие конструкции

- за счет повышенной строительной влажности ограждающих конструкций и повышенной температуры внутреннего воздуха в квартирах;
- более высокие чем расчетные теплопотери на нагрев свежего воздуха, поступающего в коридоры и лифтовые площадки;
 - существенно меньшие в 2,5 раза бытовые тепловыделения, чем расчетные вследствие заселенности дома на 2/3.

Заключение

1. Исследуемое здание удовлетворяет требованиям СНиП 23-02 [1] по тепловой защите и немного превосходит эти требования. Очевидно, что такое здание энергоэффективное и полностью соответствует требованиям новых норм по обоим критериям.
2. Исследуемое здание относится к классу энергоэффективности «нормальный» (или «стандартный» по МГСН 2.01 [2]) и по удельному фактическому расходу тепловой энергии на отопление здания за отопительный период соответствует нормам СНиП 23-02 [1].
3. Микроклимат в помещениях квартир здания удовлетворяет оптимальным параметрам ГОСТ 30494 [5].
4. Проверка на кратность воздухообмена при 50 Па подтвердила соответствие нормативным требованиям СНиП 23-02 [1].
5. Инфильтрационная составляющая недостаточна для обеспечения необходимого по санитарным нормам притока воздуха в здании. В связи с этим целесообразно предусматривать в последующих проектах таких зданий дополнительный регулируемый приток воздуха.

Перелік посилань

1. **СНиП 23-02-2003** Тепловая защита зданий
2. **МГСН 2.01-99** Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению
3. **ГОСТ 31167-2003** Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях
4. **ГОСТ 26254-84** Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций
5. **ГОСТ 30494-96** Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях
6. **ГОСТ 31168-2003** Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление

Получено 05.03.05