

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике
Беларусь»

Отчет

**Методологические рекомендации по организации мониторинга
и расчетов интегральных энергетических характеристик
зданий**

Исполнитель,
Эксперт по вопросам энергетической
эффективности в зданиях

Л. Н. Данилевский.

Минск, 2013

Введение.....	3
1 Нормирование и расчет удельного расхода тепловой энергии жилых зданий	5
2 Организация мониторинга интегральных энергетических характеристик жилых зданий согласно задачам. Общие положения.....	8
3 Выбор объекта испытания	9
4 Аппаратура и оборудование	10
5 Подготовка к испытаниям.....	12
6 Проведение испытаний	14
7 Обработка результатов	16
8 Анализ результатов испытаний.....	18
Литература	19

Введение

Теплоэнергетический баланс жилого здания определяют трансмиссионные и инфильтрационные теплотери, доля которых в каждом конкретном здании зависит от их объемно-планировочных решений, теплозащитных свойств ограждающих конструкций, типа системы вентиляции. Объемно-планировочные решения влияют на теплотери здания за счет различной этажности, блокировки здания (количество секций), соотношения жилой и общей площади здания, его ориентации по отношению к сторонам света, развитости фасада здания.

Инфильтрационные теплотери связаны с типом системы вентиляции (естественная или с механическим побуждением), качеством ее проектирования, монтажа и функционирования в запроектированном режиме. Как показал выполненный ранее анализ, энергопотребление эксплуатируемых жилых зданий, находится в широком диапазоне. Величина диапазона обусловлена наличием (отсутствием) тепловой модернизации зданий, типов применяемых окон и других причин, перечисленных выше.

Исходя из принципов современного нормирования, основной эксплуатационной характеристикой зданий является удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий [1]. Вспомогательными характеристиками, позволяющими оценить качество строительства и проектирования могут служить результаты тепловизионного контроля зданий значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий и уровень воздухообмена.

В качестве основы для организации мониторинга предлагается использовать коэффициент удельных теплотерь здания [1], который является универсальной характеристикой, позволяющей сравнивать здания по своей энергоэффективности. Измерение этой характеристики для

эксплуатируемых зданий позволяет дать оценку качеству строительных работ и выполнить энергетическую паспортизацию зданий.

Предлагаемая методика обеспечивает экспериментальное определение коэффициента удельных теплопотерь здания и средней мощности внутренних источников тепла в здании по показаниям счетчика тепла и средней температуре воздуха внутри и снаружи здания как при совместном, так и при раздельном учете тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение.

Настоящая методика организации мониторинга интегральных энергетических характеристик жилых зданий разработана с целью подтверждения соответствия показателя нормализованного удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период эксплуатируемого здания нормативным значениям согласно ТКП 45-4.02-182 «Тепловая защита зданий». Дополнительно в результате обработки данных измерений методика позволяет рассчитывать удельный коэффициент тепловых потерь здания и мощность внутренних источников теплоты в здании.

1 Нормирование и расчет удельного расхода тепловой энергии жилых зданий

До разработки ТКП 45-2.04-196 [2] в Республике Беларусь нормирование удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий до 2010 г. осуществлялось по СНБ 4.02.01 [3]. Нормативные значения удельного расхода тепловой энергии, установленные в этом документе, зависели от этажности зданий и материалов наружных стен. Нормы удельного энергопотребления на отопление и вентиляцию по СНБ 4.02.01 [3] установлены в Вт·ч/(м²·°С·сут).

При проектировании тепловых сетей при отсутствии проектов отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых зданий значения максимального расхода теплоты на отопление 1 м² зданий используют укрупненные значения, приведенные в ТКП 45-4.02-182 [4] в зависимости от их общей площади, года постройки и внедрения энергосберегающих мероприятий. Эти укрупненные значения установлены для расчетной температуры наружного воздуха и измеряются в Вт.

С введением в действие с 2010 г. ТКП 45-2.04-196 [2] нормативы удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий по СНБ 4.02.01 [3] были отменены. Отличительные особенности норм ТКП 45-2.04-196 [2] состоят в следующем. Они установлены в зависимости от функционального назначения здания, его этажности и наличия механической системы вентиляции с рекуперацией. Нормы не зависят от климатических параметров региона строительства и измеряются в кВт·ч/м² за отопительный период здания.

Для сравнения нормы перечисленных документов приведены в таблице 1 в одних единицах измерения. При этом нормы ТКП 45-4.02-182 [4] пересчитаны с расчетной температуры наружного воздуха на температуру наружного воздуха отопительного периода.

Таблица 1

Объекты нормирования	Нормативы СНБ 4.02.01 [2] (действующие с 2003 по 2010 г.)			ТКП 45-2.04-196 [1], q_h^{req} , кВт·ч/м ²	
	Базовый норматив q_{An} , Вт·ч/(м ² ·С·сут)	Пересчитанный норматив для Минска (3742 °С·сут), q_{An} , кВт·ч/м ²	Пересчитанный норматив для Могилева (3900 °С·сут), q_{An} , кВт·ч/м ²	Для энергоэффективных зданий с механической системой вентиляции с рекуперацией	Для остальных зданий
1 Жилые дома (9 этажей и более) с наружными стенами из: многослойных панелей монолитного бетона штучных материалов	21,7	81,2	84,6	38 (12 этажей и выше)	48 (12 этажей и выше)
	22,2	83,1	86,6	39 (9 этажей)	49 (9 этажей)
	22,9	85,7	89,3		
2 Жилые дома (6—8 этажей) с наружными стенами из: многослойных панелей штучных материалов	23	86,1	89,7	41 (6 этажей)	51 (6 этажей)
	24,4	91,3	95,2		50 (7 этажей)
3 Жилые дома (4—5 этажей) с наружными стенами из: многослойных панелей штучных материалов	22,5	84,2	87,8	43 (5 этажей)	53 (5 этажей)
	24	89,8	93,6	44 (4 этажа)	55 (4 этажа)
4 Жилые дома (2—3 этажа) с наружными стенами из штучных материалов	29,6	110,8	115,4	-	96 (1-3 этажа) 108 (1-3 этажа усадебного типа с мансардами)
5 Коттеджи, жилые дома усадебного типа, в том числе с мансардами	35,4	132,5	138,1	-	

Таблица 2 — Укрупненные показатели максимального удельного расхода теплоты на отопление жилых зданий [4] на 1 м² общей площади q_0 , Вт

Этажность жилой постройки	Характеристика зданий	Базовый норматив для t_0 , °С минус 24, q_0 , Вт	Пересчитанный норматив на температуру и продолжительность отопительного периода, q_0 , кВт·ч/м ²	
			Минск	Могилев
Для постройки до 1985 г.				
1–2	Без учета внедрения энергосберегающих мероприятий	208	445	464
3–4		123	263	274
5 и более		84	180	187
1–2	С учетом внедрения энергосберегающих мероприятий	196	419	437
3–4		116	248	259
5 и более		80	171	178
Для постройки в период с 1985 г. до 1995 г.				
1–2	—	169	361	377
3–4		94	201	209
5 и более		79	169	176
Для постройки с учетом тепловой модернизации				
1–2	—	109	233	243
3–4		61	130	136
5 и более		57	122	127
Для постройки после 1995 г.				
	С наружными стенами из:			
1–2	штучных материалов	109	233	243
3–4	многослойных панелей штучных материалов	59	126	131
		61	130	136
5–8	многослойных панелей штучных материалов	53	113	118
		57	122	127
9 и более	многослойных панелей штучных материалов	52	111	116
		55	118	123
<p><i>Примечания:</i></p> <p>1 Энергосберегающие мероприятия обеспечиваются проведением работ по утеплению зданий при реконструкции (модернизации) и капитальном ремонте, направленных на снижение тепловых потерь.</p> <p>2 Укрупненные показатели зданий по новым типовым проектам приведены с учетом внедрения прогрессивных архитектурно-планировочных решений и применения строительных конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами, обеспечивающими снижение тепловых потерь. Тепловая модернизация выполняется в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43 [6].</p>				

2 Организация мониторинга интегральных энергетических характеристик жилых зданий согласно задачам. Общие положения

Определение удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого многоквартирного здания и его помещений (квартир), а также многоквартирного дома позволяет выявить количественно соответствие или отклонение от нормируемых энергетических и теплотехнических параметров тепловой защиты, установить класс по потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и определить влияние отдельных мероприятий по энергосбережению в здании.

Сущность метода заключается в том, что в отопительный период для определенных интервалов времени измеряют в испытываемых помещениях (квартире) и (или) дома в целом расход тепловой энергии на отопление и среднюю температуру воздуха внутри и снаружи здания и интенсивность суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность. Рассчитывают для тех же интервалов времени величины общих тепловых потерь через ограждающие конструкции здания, равные измеренным расходам тепловой энергии на отопление и суммарным теплопоступлениям (бытовым и солнечной радиации через светопроемы). По рассчитанным общим тепловым потерям при соответствующих разностях температур внутреннего и наружного воздуха вычисляют **удельный коэффициент тепловых потерь здания, мощность внутренних источников теплоты и удельное потребление тепловой энергии на отопление здания за отопительный период**, а также устанавливают класс здания по потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию.

3 Выбор объекта испытания

Объектами испытания являются эксплуатируемые минимально в течение одного года отапливаемые многоквартирные жилые здания, квартира, помещение или группа помещений в здании, а также многоквартирные дома. Объект испытания должен иметь систему отопления, оснащенную устройствами авторегулирования, обеспечивающими заданную подачу теплоты для поддержания температуры в помещениях в пределах допустимых параметров в соответствии с ГОСТ 30494, и снабженную устройством для измерения расхода энергии (теплосчетчиком, электросчетчиком) на отопление испытываемого объекта.

Наружные ограждающие конструкции должны находиться в состоянии, обеспечивающем нормальную эксплуатацию объекта в отопительный период: окна, балконные двери, наружные двери должны иметь уплотняющие прокладки в притворах.

4 Аппаратура и оборудование

В процессе испытаний объекта на удельное потребление тепловой энергии необходимо экспериментальное определение следующих величин:

- расхода тепловой энергии на отопление здания и (или) отдельных его помещений;
- температуры внутреннего воздуха испытываемого объема;
- температуры наружного воздуха;
- суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на горизонтальную поверхность при данных условиях облачности;
- бытовых тепловыделений.

Для измерения расхода энергии на вводе водяной системы отопления в здание (группы помещений или квартиры), основываясь на требованиях ГОСТ Р 51649, применяют теплосчетчик, который состоит из:

- первичного преобразователя расхода горячей воды, врезаемого в трубопровод с более низкой температурой;
- двух первичных преобразователей температуры, один из которых устанавливается на трубопроводе, подающем горячую воду в систему отопления (подводящем трубопроводе), другой — на трубопроводе, возвращающем воду, прошедшую через систему отопления, в теплосеть (отводящем трубопроводе);
- тепловычислителя, содержащего блок обработки сигналов и стационарно подключенное печатающее устройство (принтер).

Допускается применение других теплосчетчиков, скомплектованных из преобразователей расхода и температуры воды и тепловычислителя, поверенных в установленном порядке. При отсутствии тепловычислителя допускается установка на трубопроводах измерительных преобразователей расхода (расходомера) и датчиков температуры, позволяющих определять расход энергии согласно следующему алгоритму.

В случае отсутствия тепловычислителя в измерительной системе осуществляют непосредственное периодическое измерение расхода воды и температур на подводящем и отводящем трубопроводах и вычисляют расход энергии ΔQ , кДж, по формуле

$$\Delta Q = c \Delta V \rho (t_F - t_R), \quad (1)$$

где c — удельная теплоемкость воды, равная 4,184 кДж/(кг·°С);

ΔV — разность показаний расходомера в конце и в начале измерений, м³;

ρ — плотность воды в системе отопления, кг/м³, определяемая по формуле

$$\rho = 968,2 + 0,6 [85 - (t_F - t_R)/2], \quad (2)$$

где t_F — температура воды в подводящем трубопроводе, °С.

t_R — температура воды в отводящем трубопроводе, °С;

Для обеспечения поддержания постоянной температуры в помещениях здания с водяной системой отопления тепловой пункт здания должен быть оборудован устройством автоматического регулирования подачи теплоты на отопление в зависимости от изменения температуры наружного воздуха.

Для измерения температуры в испытываемых помещениях и вне здания в качестве первичных преобразователей применяют термоэлектрические преобразователи по ГОСТ Р 50342 с проводами из меди, сплавов хромель, копель, константан и алюмель по ГОСТ 1790, с установлением соответствия характеристикам преобразования по ГОСТ Р 50431.

Допускается применение других первичных преобразователей температуры и приборов, поверенных в установленном порядке.

Для измерения суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности используют пиранометры М-80М по действующей нормативной документации.

Для измерения внутренних размеров помещений и ограждающих конструкций используют стальную рулетку по ГОСТ 7502.

5 Подготовка к испытаниям

Перед началом испытаний необходимо:

а) выявить наличие в отопительной системе здания приборов измерения расхода теплоты на отопление, проверить их работоспособность и наличие документации по поверке измерителя расхода горячей воды и теплосчетчика в целом;

в) проверить работоспособность и правильную настройку приборов автоматического регулирования подачи теплоты на отопление.

При оценке энергопотребления в отдельных помещениях здания с водяным отоплением следует осуществить замену существующих отопительных приборов на электрические путем отключения приборов водяного отопления и подключения электронагревателей.

При наличии в испытываемых помещениях с электроотопительными приборами стояков функционирующей в доме водяной системы отопления их теплоизолируют эффективным мягким утеплителем толщиной не менее 30 мм.

Для измерения температуры внутреннего воздуха чувствительные элементы термодатчиков устанавливают в центре помещения на высоте 1,5 м. С этой же целью допускается в многоэтажном многоквартирном здании устанавливать термодатчики на выходе сборных вентиляционных каналов из кухонь квартир по вертикальной оси на глубине не менее 1 м от их оголовков, но не ниже вентиляционной решетки помещения последнего этажа. Измеренную температуру необходимо понизить на 1 °С для приведения ее в соответствие с температурой внутреннего воздуха.

Датчики и термометры для измерения температуры наружного воздуха устанавливают в местах, не подвергающихся воздействию солнечной радиации. Датчик пиранометра для измерения интенсивности солнечной

радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности устанавливают в незатененных местах.

При экспериментальном определении сопротивления теплопередаче наружных ограждений (стен, окон, покрытий, чердачных перекрытий и перекрытий пола 1-го этажа) приборы определения приведенного коэффициента теплопередаче, датчики тепловых потоков и температур устанавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 31166, ГОСТ 26254 и ГОСТ 26602.1 соответственно. Места теплотехнических неоднородностей рекомендуется выявлять тепловизионным методом по ГОСТ 26629.

При экспериментальном определении воздухопроницаемости испытываемого объекта следует руководствоваться ГОСТ 31162.4.

6 Проведение испытаний

Система регулирования подачи теплоты на отопление должна быть настроена на поддержание расчетного графика температур в подающем трубопроводе с углом наклона, обеспечивающим нулевую подачу теплоты на отопление при температуре наружного воздуха $t_{ext} = 13^{\circ}\text{C}$ для зданий, заселенных людьми с учетом социальной нормы (20 м^2 общей площади и менее на человека), и 15°C — для других жилых зданий. В случае если заранее известно, что в системе имеется запас в поверхности нагрева отопительных приборов, расчетные параметры графика должны быть пересчитаны.

Измерения осуществляют в течение отопительного периода, выбрав продолжительность измерений:

- а) экспресс-методом в три недели;
- б) методом длительных испытаний в течение отопительного сезона, не менее 2 месяцев месяца. Экспресс-метод является допустимым и его можно применять при необходимости получения быстрых результатов не более чем в одном здании.

Интервалы измерения расхода энергии, кДж, при наличии теплосчетчика (электросчетчика) или расхода воды и температуры в подводящем и отводящем трубопроводах:

- для экспресс-метода - одна неделя;
- для длительных испытаний – не менее одной недели.

При наличии регистратора данных в системе учета периодичность измерения расхода энергии, кДж, может быть выбрана равной интервалу между последовательными данными, записанными в регистратор.

Максимальная разность значений средней температуры наружного воздуха для двух различных измерительных интервалов должна быть не менее 5°C .

Измерения температуры наружного и внутреннего воздуха, °С, и величин суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации при действительных условиях облачности Q^{hor} , Вт/м², проходящихся на горизонтальную поверхность, осуществляют согласно [5] при продолжительности измерений две недели — четыре раза в сутки в следующие сроки: 6; 12, 18 и 24 ч. При длительных измерениях температуру наружного воздуха и величину суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность принимают по данным ближайшей метеостанции.

В ходе испытаний проводится обмер внутренних размеров помещений и поверхности наружных ограждающих конструкций. При наличии проекта исследуемого здания допускается принимать размеры помещений по данным проекта.

Результаты измерений заносят в журнал.

7 Обработка результатов

Рассчитывают среднюю за измерительный интервал температуру наружного воздуха t_{ext}^i , °С, при продолжительности измерений две недели по формуле

$$t_{ext}^i = 0,25 \sum_{e=6,12,18,21} t_e, \quad (3)$$

где t_e — измеряемые температуры в течение измерительного интервала

Рассчитывают среднюю в течение измерительного интервала температуру внутреннего воздуха в помещениях здания t_{int}^i , °С, по формуле

$$t_{int}^i = 0,25 \sum_{in=6,12,18,21} t_{in}, \quad (5)$$

где t_{in} — измеряемые температуры в течение в течение измерительного интервала

Определяют средние в течение измерительных интервалов значения потребления тепловой энергии на отопление здания Q_{ht}^i , кДж и средние значения мощности, Вт, по разности расходов тепловой энергии в конце и начале измерительного интервала.

Определяют теплоступления от солнечной радиации через светопроемы в здание Q_s^i , кДж средние значения мощности, Вт, в течение измерительного интервала.

По данным измерений или проектным данным по внутренним размерам определяют суммарную отапливаемую площадь m^2 , и отапливаемый объем V , m^3 здания.

Определяют удельную характеристику тепловых потерь здания по формуле:

$$f_1 = (d_1 * b_2 - d_2 * b_1) / (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)$$

и мощность внутренних источников теплоты в здании по формуле:

$$f_2 = -(d_1 * a_2 - d_2 * a_1) / (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)$$

где f_1 — удельная характеристика тепловых потерь здания, Вт/(m^2 °С)

f_2 – мощность внутренних источников теплоты в зданиях, Вт/м²

q_i – удельная мощность источника отопления на измерительном интервале i , Вт/м²;

q_s – средняя мощность солнечной энергии, поступающей в здание на измерительном интервале i , Вт/м²;

$t_{внi}$ – средняя температура воздуха в здании на измерительном интервале i , °C

$t_{нарi}$ – средняя температура наружного воздуха на измерительном интервале i , °C

$$a_1 = \sum((t_{внi} - t_{нарi})^2)$$

$$a_2 = \sum(t_{внi} - t_{нарi})$$

$$b_1 = \sum(t_{внi} - t_{нарi})$$

$$b_2 = N$$

$$d_1 = \sum(q_i - q_s) * (t_{внi} - t_{нарi})$$

$$d_2 = \sum(q_i - q_s)$$

Потребление тепловой энергии на отопление здания за расчетный отопительный период Q_h^y , кДж, рассчитывают по формуле

$$Q_h^y = 24\beta_h [3,6K_m D_d A_e^{sum} - (Q_i + Q_s) z_{ht} v \zeta / \Delta\tau], \quad (10)$$

Рассчитывают удельное потребление тепловой энергии q_h , кДж/(м²·°C·сут), на отопление здания в течение отопительного периода по формуле

$$q_h = Q_h^y / (A_h D_d), \quad (11)$$

где Q_h^y и D_d — то же, что и в 2.6.11;

A_h — то же, что и в 2.6.2.6.

Применение метода дает возможность определить удельную характеристика тепловых потерь здания, и мощность внутренних источников теплоты в зданиях с относительной ошибкой, не превышающей ±10%.

8 Анализ результатов испытаний

Сопоставление фактических значений с расчетными по проекту — удельную характеристика тепловых потерь здания, удельного потребления тепловой энергии q_h на отопление здания

В случае если расчетные значения этих величин отсутствуют в энергетическом паспорте, их следует вычислить согласно СНиП 23-02.

Класс здания по потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию следует устанавливать согласно классификации ТКП по величине в процентах отклонения фактического значения удельного потребления тепловой энергии q_h на отопление здания от нормируемого значения.

Литература

1. Данилевский Л. Н., Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий. «Бизнесофсет», Минск, 2011 г., 375 с.
2. ТКП 45-2.04-196 тепловая защита зданий
3. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования.
4. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
5. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.