

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике
Беларусь»

Отчет

**Результаты анализа существующих методик и практик для мониторинга
интегральных энергетических характеристик зданий и расчетов**

Исполнитель,
Эксперт по вопросам энергетической
эффективности в зданиях

Л. Н. Данилевский.

июнь 2013
Минск

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ТРЕБОВАНИЯ К СОПРОТИВЛЕНИЮ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И СОСТАВЛЯЮЩИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА СОВРЕМЕННЫХ ЗДАНИЙ.	5
1.1 СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ.	5
2 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ [6]	9
2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ.....	9
2.2 ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ [7].....	18
2.3 МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ [7].....	23
3 ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ [8].....	32
3.1 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЗДАНИЙ.....	32
3.2 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ЗДАНИЯ В СЛУЧАЕ РАЗДЕЛЬНОГО УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ...34	
3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ЗДАНИЯ В СЛУЧАЕ ОБЩЕГО УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ.....	4848
3.4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЗДАНИЯ ПО УЛ. ПРИТЫЦКОГО, 107 В Г. МИНСКЕ	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	56

Введение

Информатизация не обошла стороной современные здания. Практически весь фонд многоэтажных зданий в нашей стране оснащен общедомовыми системами учета и регулирования потребления тепловой энергии. В проектах новых зданий нормативы предусматривают обязательную установку индивидуальных средств учета и регулирования потребления тепловой энергии, а также потребления горячей и холодной воды. Следующим шагом развития можно предвидеть автоматическую дистанционную передачу данных об учете и регулировании потребления энергетических ресурсов с целью учета на центральный пункт учета и распределения тепловой энергии и диспетчеризации, как это уже сделано в системах АСКУЭ для автоматизированного учета электрической энергии. Таким образом, у специалистов появился мощный инструмент для повышения качества проектирования зданий, которого они не имели раньше: обратная связь, дающая возможность сравнения расчетных и эксплуатационных характеристик зданий и корректировку последующих проектов на основе полученной и обработанной информации. В первую очередь, это относится к теплотехническим характеристикам. Однако, на настоящий момент отсутствует понимание ценности этой информации, а также опыта и четких методик ее использования.

Проектирование систем теплоснабжения зданий, включая расчет мощности отопительных элементов, выполняется для нормативных условий микроклимата помещений и наружной температуры, предполагая известными проектными значениями сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий и уровня воздухообмена помещений [1,2]. Температура воздуха в помещениях принимается равной 18°C, т. е. минимально возможной для жилых помещений.

В то же время, сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий, в силу различных технических причин, часто отличается от проектных значений, оптимальное значение температуры находится в диапазоне 20 - 22°C [3], а значение, устанавливаемое жильцами при возможности регулирования, - в диапазоне от 18 до 25°C [4]. Таким образом, уже на стадии проектирования закладывается противоречие между желаемыми и устанавливаемыми температурными режимами жилых помещений. При эксплуатации жильцы устанавливают доступными для себя средствами оптимальную температуру воздуха в квартирах. Поскольку теплотехнические свойства ограждающих конструкций зданий остаются недоступными для жителей, а проектные решения, прошедшие экспертизу,

практически не оставляют возможности повышения температуры регулированием отопительных элементов, для жильцов, в особенности, старого жилого фонда, остается единственная возможность регулирования – воздухообмен. Жители уплотняют притворы окон всеми возможными средствами, уменьшая воздухообмен и снижая тем самым тепловые потери зданий. Такое регулирование позволяет приблизиться к оптимальному значению температуры воздуха в помещениях.

В новых зданиях, где герметичные окна не оставляют возможности экономии тепла путем уменьшения воздухообмена, возникают неприятности, связанные с высокой влажностью в помещениях, причем, жалоб на температуру воздуха в помещениях, как правило, не возникает. Для регулирования, жильцы оставляют окна в режиме микропроветривания или вентиляции, увеличивая воздухообмен, но на первом месте остается комфортная температура.

В итоге, тепловой баланс здания в процессе эксплуатации формируется как результат случайных воздействий жильцов на параметры микроклимата квартир. Изложенное выше делает чрезвычайно актуальным определение фактического значения составляющих теплового баланса и определения эксплуатационных значений теплоэнергетических характеристик жилых зданий.

1 Требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций и составляющие теплового баланса современных зданий.

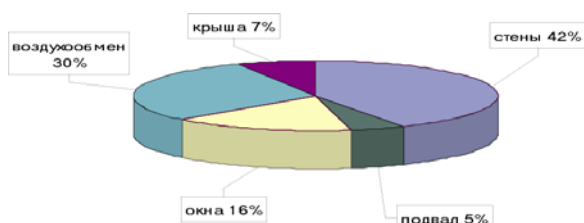
1.1 Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций современных жилых зданий.

1.1.1 На рисунке 1.1 представлены данные по нормативным значениям сопротивления теплопередаче различных ограждающих конструкций и распределение тепловых потерь в зданиях старого жилого фонда и построенных по нормативным требованиям [2]. Там же приведен рисунок, дающий распределение трансмиссионных тепловых потерь из здания в зависимости от расположения помещений. Из рисунков можно сделать вывод, что если в зданиях старого жилого фонда основные потери тепла носили трансмиссионный характер и относились к ограждающим конструкциям, то в зданиях, построенных по нормативным требованиям [2], с воздухообменом теряется до 50% теплоты.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПТЕРЬ ПО ЭЛЕМЕНТАМ ОБОЛОЧКИ ПЯТИЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА ИНДУСТРИАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

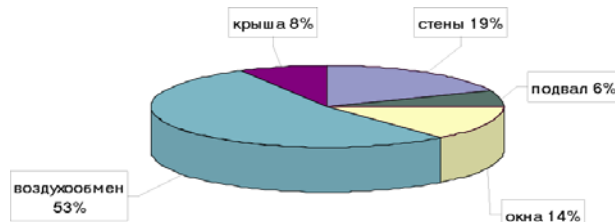
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛА В ЗДАНИИ, ПОСТРОЕННОМ В 60 – 70-е гг. ПРОШЛОГО ВЕКА

($R_{\text{нар.стен}} = 1,11 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{окон}} = 0,4 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$;
 $R_{\text{кровли}} = 1,65 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{перекр.подвала}} = 0,9 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$)



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ПОСЛЕ УТЕПЛЕНИЯ (ПО НОРМАМ, ВВЕДЕННЫМ В 1994 г.)

($R_{\text{нар.стен}} = 2 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{окон}} = 0,6 \text{ Вт}^{\circ}\text{C/м}^2$;
 $R_{\text{кровли}} = 3 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{перекр.подвала}} = 2,5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$)



УРОВЕНЬ ТЕПЛОПТЕРЬ ПО ФАСАДУ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА

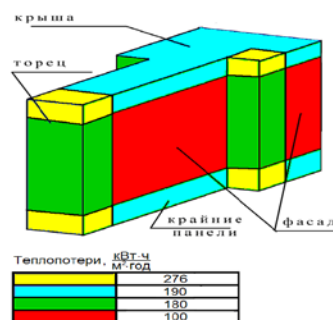


Рисунок 1.1 - Распределение потерь теплоты из зданий различных поколений строительства и для различных помещений жилых зданий

1.1.2 При дальнейшем увеличении сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, предписанным «изменением №1» к [2], которое можно увидеть в таблице 1.1, распределение тепловых потерь из зданий еще более сместилось в сторону воздухообмена, как это видно на рисунке 1.2.

1.1.3 Таким образом, теплотехнические характеристики зданий различных поколений строительства существенно отличаются друг от друга. Если для зданий старого жилого фонда наибольший вклад в потери теплоты из зданий дают ограждающие конструкции, то в зданиях новых поколений более существенным становятся потери тепловой энергии с воздухообменом.

1.1.4 В РБ изменился также подход к принципам нормирования теплоэнергетических характеристик зданий. Если в [2] был установлен поэлементный подход к нормированию, устанавливающий требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций зданий, то в [5] установлены требования к удельному потреблению тепловой энергии на отопление зданий.

Таблица 1.1 - Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий в нормативных документах РБ [2]

Нормативное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций согласно ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» для проектируемых зданий

(до 01.07.2009)		(после 01.07.2009)	
Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{н.н.п.р.}$, м ² ·°C/Вт	Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм.}$, м ² ·°C/Вт
Строительство		Жилые и общественные здания	
		А Строительство, реконструкция, модернизация	
Наружные стены крупнопанельных, блочно-панельных и объемно-растворных зданий	2,5	Наружные стены зданий	3,2
Наружные стены монолитных зданий	2,2	Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	6,0
Наружные стены из штучных материалов (кирпич, шлакоблоки и т.п.)	2,0	Перекрытия над <u>неотапливаемыми</u> подвалами и техническими подпольями	2,5
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия (кроме теплых чердаков) и перекрытия над проездами	3,0	Заполнения световых проемов	1,0
Покрытия теплых чердаков	По расчету, обеспечивая перепад между температурой потолка и температурой воздуха помещения последнего этажа не более 2 °C	<u>Перекрытия над техническими подпольями, ограждающие конструкции технических подпольий</u>	По расчету, из условия обеспечения перепада между температурой пола и температурой воздуха помещений первого этажа не более 0,8 °C и отсутствия конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций
Перекрытия над <u>неотапливаемыми</u> подвалами и техническими подпольями	По расчету, обеспечивая перепад между температурой пола и температурой воздуха помещения первого этажа не более 2 °C	<u>Перекрытия между теплым чердаком и помещениями последнего этажа, ограждающие конструкции теплых чердаков</u>	По расчету, из условия обеспечения перепада между температурой потолка и температурой воздуха помещений последнего этажа не более 0,8 °C и отсутствия конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций
Заполнения световых проемов	0,6		

* - проект Изменения № 4 ТКП 45-2.04-43-2006

Распределение потерь теплоты в стандартных жилых домах, построенных по существующим нормативам

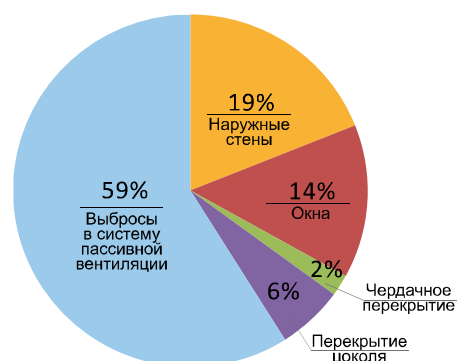


Рисунок 1.2 - Распределение потерь теплоты из зданий, построенных по современным нормативам.

1.1.5 В таблице 1.2 установлены нормативные требования к затратам тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий в различных регионах РБ. В таблице 3 приведены классификация зданий по затратам тепловой энергии на отопление и вентиляцию, которая основывается на данных по удельному расходу тепловой энергии для этих целей, приведенных в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Нормативные значения удельного расхода тепловой энергии за отопительный период на отопление и вентиляцию жилых зданий кВтч/м² (МДж/м²)

Этажность здания	Витебск		Минск		Гродно		Могилев		Брест		Гомель	
	Норматив	Максимум	Норматив	Максимум	Норматив	Максимум	Норматив	Максимум	Норматив	Максимум	Норматив	Максимум
1..3	108	(388)	96	(346)	88	(315)	101	(364)	79	(283)	92	(329)
4	65	(232)	55	(198)	50	(179)	58	(210)	44	(158)	52	(189)
5	63	(226)	53	(191)	49	(175)	57	(205)	43	(154)	51	(185)
6	62	(220)	51	(184)	47	(168)	55	(198)	42	(150)	50	(178)
7	59	(213)	50	(180)	45	(162)	53	(191)	40	(144)	48	(171)
9	58	(210)	49	(176)	44	(158)	52	(187)	39	(140)	47	(168)
12	57	(206)	48	(173)	43	(155)	51	(183)	38	(137)	46	(165)»

Таблица 1.3 - Классы жилых и общественных зданий по потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию

Обозначение класса	Наименование класса здания по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию		Отклонение (« + » или « - ») значений удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормативных значений, установленных в таблице 2 , %
A+	Очень высокий*		от - 30 до -100
A			От - 20 до -30 включительно
B	Высокий		От - 10 до -20 включительно
C	<i>Нормальный</i>		От + 10 до - 10 включительно
D	<i>Пониженный</i>		От +10 до + 50 включительно
E	<i>Низкий</i>		От +50 до + 125 включительно
G	<i>Очень низкий</i>		Более + 125

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

2 Методы определения отдельных теплотехнических характеристик зданий [6]

2.1 Определение сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий

2.1.1 Общие положения

2.1.1.1 Сопротивление теплопередаче R_0 , характеризующее способность ограждающей конструкции оказывать сопротивление проходящему через нее тепловому потоку, определяют для участков ограждающих конструкций, имеющих равномерную температуру поверхностей.

2.1.1.2 Приведенное сопротивление теплопередаче определяют для ограждающих конструкций, имеющих неоднородные участки (стыки, теплопроводные включения, притворы и т.д.) и соответствующую им неравномерность температуры поверхности.

2.1.1.3 Методы определения сопротивления теплопередаче, основаны на создании в ограждающей конструкции условий стационарного теплообмена и измерении температуры внутреннего и наружного воздуха, температуры поверхностей ограждающей конструкции, а также плотности теплового потока, проходящего через нее, по которым вычисляют соответствующие искомые величины.

2.1.1.4 Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяют при испытаниях в лабораторных условиях в климатических камерах, в которых по обе стороны испытываемого фрагмента создают температурно-влажностный режим, близкий к расчетным зимним условиям эксплуатации, или в натуральных условиях эксплуатации зданий и сооружений в зимний период

2.1.1.5 Сопротивление теплопередаче в лабораторных условиях определяют на образцах, которыми являются целые элементы ограждающих конструкций заводского изготовления или их фрагменты.

2.1.1.6 Длина и ширина испытываемого фрагмента ограждающей конструкции должны не менее чем в четыре раза превышать его толщину и быть не менее 1500×1000 мм.

2.1.1.7 При испытаниях в климатических камерах стыки, примыкания и другие виды соединения элементов ограждающих конструкций или их фрагментов между собой должны быть выполнены в соответствии с проектным решением.

2.1.1.8 Сопротивление теплопередаче в натуральных условиях определяют на образцах, которыми являются ограждающие конструкции эксплуатируемых или полностью подготовленных к сдаче в эксплуатацию зданий и сооружений, или специально построенных павильонов.

2.1.1.9 При натуральных испытаниях наружных стен выбирают стены в угловой комнате на первом этаже, ориентированные на север, северо-восток, северо-запад и дополнительно в соответствии с решаемыми задачами на другие стороны горизонта, наиболее неблагоприятные для данной местности (преимущественные ветры, косые дожди и т.д.), и на другом этаже.

2.1.1.10 Для испытаний выбирают не менее двух однотипных ограждающих конструкций, с внутренней стороны которых в помещениях поддерживают одинаковые температурно-влажностные условия.

2.1.2 Аппаратура и оборудование.

2.1.2.1 Для определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в лабораторных условиях применяют теплоизолированную климатическую камеру, состоящую из теплого и холодного отсеков, разделенных испытываемой конструкцией.

2.1.2.2 Допускается использовать климатическую камеру, состоящую из холодного отсека, в проем которого монтируют испытываемый фрагмент, и приставного теплого отсека, а также другое оборудование, при условии обеспечения их в холодном и теплом отсеках камеры стационарного режима, соответствующего расчетным зимним условиям эксплуатации ограждающей конструкции.

2.1.3 Методика

2.1.3.1 Для определения сопротивления теплопередаче в натуральных условиях эксплуатации зданий используют тот температурный перепад, который установился на ограждающей конструкции вследствие разности температур наружного и внутреннего воздуха.

2.1.3.2 Для проверки работы оборудования климатической камеры, измерительной аппаратуры и условий теплообмена в теплом и холодном отсеках камеры используют контрольный фрагмент с известным термическим сопротивлением в пределах 1-2 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт, габаритные размеры которого должны соответствовать размерам и конфигурации проема, в который устанавливают испытываемую конструкцию. Конструктивное решение и материал контрольного фрагмента должны обеспечивать неизменность во времени его теплотехнических свойств. Климатическую камеру проверяют не реже одного раза в год.

2.1.4 Подготовка к испытаниям.

2.1.4.1 Подготовку к экспериментальному определению сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции начинают с составления программы испытаний и схемы размещения первичных преобразователей температур и тепловых потоков. В программе испытаний определяют вид испытания (лабораторные, павильонные, натурные), объекты, район, ориентировочные сроки, объем испытаний, виды ограждающих конструкций, контролируемые сечения и др. данные, необходимые для решения поставленной задачи.

2.1.4.2 Схему размещения первичных преобразователей температур и тепловых потоков составляют на основе проектного решения конструкции или по предварительно установленному температурному полю поверхности испытываемой ограждающей конструкции. Для этого при испытаниях в климатических камерах или павильонах полностью смонтированную ограждающую конструкцию подвергают временному тепловому воздействию при помощи оборудования, указанного в п.3.1, после чего, не дожидаясь установления стационарного режима, с целью выявления теплопроводных включений и термически однородных зон, их конфигурации и размеров, снимают температурное поле с помощью тепловизора, терморадиометра или термошупа. Контуры основных температурных зон по результатам термографирования наносят на поверхность ограждающей конструкции. При натуральных испытаниях сразу приступают к измерению температур поверхностей и устанавливают термически однородные зоны и места расположения теплопроводных включений.

2.1.4.3 Тепловизор устанавливают таким образом, чтобы в поле зрения попала по возможности вся конструкция. Допускается получение изображения всей площади испытываемого фрагмента ограждающей конструкции последовательным термографированием участков.

2.1.4.4 Для определения сопротивления теплопередаче части ограждающей конструкции, равномерной по температуре поверхности, R_0 , преобразователи температур и тепловых потоков устанавливают не менее чем в двух характерных сечениях с одинаковым проектным решением.

2.1.4.5 Для определения термодатчики располагают в центре термически однородных зон фрагментов ограждающей конструкции (панелей, плит, блоков, монолитных и кирпичных частей зданий, дверей) и дополнительно в местах с теплопроводными включениями, в углах, в стыках.

2.1.4.6 Для измерения термического сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции чувствительные элементы термодатчиков монтируют в сечениях в толще фрагмента ограждающей конструкции при

его изготовлении с шагом 50-70 мм и для многослойных конструкций дополнительно на границах слоев.

2.1.4.7 При наличии в ограждающих конструкциях вентилируемых прослоек чувствительные элементы термодатчиков устанавливают с шагом не менее 500 мм на поверхностях и в центре прослойки. Преобразователи тепловых потоков закрепляют на внутренней и наружной поверхностях испытываемого ограждения не менее чем по два на каждой поверхности.

2.1.4.8 Для измерения температур внутреннего воздуха чувствительные элементы термодатчиков устанавливают по вертикали в центре помещения на расстоянии 100, 250, 750 и 1500 мм от пола и 100 и 250 мм от потолка. Для помещений высотой более 5000 мм термодатчики по вертикали устанавливают дополнительно с шагом 1000 мм. Для измерения температур внутреннего и наружного воздуха вблизи ограждающей конструкции термодатчики устанавливают на расстоянии 100 мм от внутренней поверхности каждой характерной зоны и на расстоянии 100 мм от наружной поверхности не менее чем двух характерных зон.

2.1.4.9 Для измерения плотности теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию, на ее внутренней поверхности устанавливают по одному преобразователю теплового потока в каждой характерной зоне. Преобразователи теплового потока на поверхности ограждающей конструкции закрепляют в соответствии с ГОСТ 25380-82.

2.1.4.10 Для измерения разности давления воздуха концы шлангов от микроманометра располагают по обе стороны испытываемой конструкции на уровне 1000 мм от пола.

2.1.4.11 Гигрографы, гигрометры, аспирационные психрометры и термографы, предназначенные для контроля и регулирования температуры и относительной влажности воздуха, устанавливают в центре помещения или отсека климатической камеры, на высоте 1500 мм от пола.

2.1.4.12 При испытаниях в климатической камере после проверки готовности оборудования и измерительных средств теплый и холодный отсеки с помощью герметичных дверей изолируют от наружного воздуха. На регулирующей аппаратуре устанавливают заданные температуру и влажность воздуха в каждом отсеке и включают холодильное, нагревательное и воздухоувлажняющее оборудование камеры.

2.1.5 Проведение испытаний.

2.1.5.1 При проведении испытаний в лабораторных условиях температуру и относительную влажность воздуха в отсеках климатической камеры поддерживают автоматически с точностью ± 1 °С и ± 5 % соответственно.

2.1.5.2 Температуры и плотности тепловых потоков измеряют после достижения в испытываемой ограждающей конструкции стационарного или близкого к нему режима, наступление которого определяют по контрольным измерениям температур на поверхности и внутри испытываемой конструкции. После установления в отсеках климатической камеры заданной температуры воздуха измерения производят для ограждающих конструкций с тепловой инерцией до 1,5 не менее чем через 1,5 сут., с тепловой инерцией от 1,5 до 4 – через 4 сут., с тепловой инерцией от 4 до 7 – через 7 сут., и с тепловой инерцией свыше 7 – через 7,5 сут. Значения тепловой инерции ограждающих конструкций определяют по строительным нормам и правилам, утвержденным Госстроем СССР. Число замеров при стационарном режиме должно быть не менее 10 при общей продолжительности измерений не менее 1 сут.

2.1.5.3 Испытания в натуральных условиях проводят в периоды, когда разность среднесуточных температур наружного и внутреннего воздуха не превышает 3°C и обеспечивается получение результата с погрешностью не более 15 %. Продолжительность измерений в натуральных условиях определяют по результатам предварительной обработки данных измерений в ходе испытаний, при которой учитывают стабильность температуры наружного воздуха в период испытаний и в предшествующие дни и тепловую инерцию ограждающей конструкции. Продолжительность измерений с натуральных условиях эксплуатации должна составлять не менее 15 сут.

2.1.5.4 Контрольную запись температуры и влажности внутреннего воздуха ведут непрерывно.

2.1.5.5 При отсутствии системы автоматизированного сбора опытных данных температуры и плотности тепловых потоков измеряют круглосуточно через каждые 3 ч (0; 3; 6; 9; 12; 15; 18; 21 ч). Влажность воздуха в помещении или отсеке климатической камеры измеряют через каждые 6 ч (0; 6; 12; 18 ч). Результаты измерений заносят в журнал наблюдений по форме, приведенной в рекомендуемом приложении 4.

2.1.5.6 Для установления соответствия экспериментальных значений сопротивления теплопередаче нормируемым требованиям определяют состояние ограждающей конструкции (толщины и влажность материалов слоев, воздухопроницаемость стыков) и условия испытаний (разность давлений внутреннего и наружного воздуха, скорость ветра). Влажность материалов испытываемых ограждающих конструкций определяют по окончании теплотехнических испытаний. Пробы берут шлямбуром из стен на высоте 1,0-1,5 м от уровня пола, из покрытий – в термически однородных

зонах. Мягкие утеплители вырезают ножом или извлекают металлическим крючком

2.1.6 Обработка результатов.

2.1.6.1 Сопротивление теплопередаче R_0 для термически однородной зоны ограждающей конструкции вычисляют по формуле (2.1)

$$R_0 = R_{\text{в}} + R_{\text{к}} + R_{\text{н}} = \frac{t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}}{q_{\text{ф}}} + \frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}}{q_{\text{ф}}} + \frac{\tau_{\text{н}} - t_{\text{н}}}{q_{\text{ф}}}, \quad (2.1)$$

где $R_{\text{в}}$ и $R_{\text{н}}$ - сопротивления теплопередаче соответственно внут-ренней и наружной поверхностей ограждающей кон-струкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;

$R_{\text{к}}$ - термическое сопротивление однородной зоны ограж-дающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;

$t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ - средние за расчетный период измерений значения температур соответственно внутреннего и наружного воздуха, °C ;

$\tau_{\text{в}}$ и $\tau_{\text{н}}$ - средние за расчетный период измерений значения температур соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, °C ;

$q_{\text{ф}}$ - средняя за расчетный период измерения фактическая плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$, определяемая по формулам (5) или (6).

2.1.6.2 Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, имеющей неравномерность температур поверхностей вычисляют по формуле (2.2)

$$R_0^{np} = \frac{F}{\sum \frac{F_i}{R_{0i}}}, \quad (2.2)$$

где F - площадь испытываемой ограждающей конструкции, м^2 ;

F_i - площадь характерной изотермической зоны, определяемой планиметрированием, м^2 ;

R_{0i} - сопротивление теплопередаче характерной зоны $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, определяемое по формуле (2.3) или (2.4).

2.1.6.3 Сопротивление теплопередаче характерной зоны определяют по формуле (2.3)

$$R_{0i} = R_{\text{в}i} + R_{\text{к}i} + R_{\text{н}i} = \frac{t_{\text{в}i} - \tau_{\text{в}i}}{q_{\text{ф}i}} + \frac{\tau_{\text{в}i} - \tau_{\text{н}i}}{q_{\text{ф}i}} + \frac{\tau_{\text{н}i} - t_{\text{н}i}}{q_{\text{ф}i}}, \quad (2.3)$$

где $R_{\text{в}i}$ и $R_{\text{н}i}$ - сопротивления теплопередаче соответственно внутренней и наружной поверхностей характерной зоны, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;

$R_{\text{к}i}$ - термическое сопротивление характерной зоны, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;

$t_{вi}$ и $t_{нi}$ - средние за расчетный период температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха на расстоянии 100 мм от поверхностей характерной зоны, °С;

$t_{вi}$ и $t_{нi}$ - средние за расчетный период температуры соответственно внутренней и наружной поверхностей характерной зоны, °С;

$q_{\phi i}$ - средняя за расчетный период фактическая плотность теплового потока, проходящего через характерную зону, Вт/м², определяемая по формулам (2.5) или (2.6).

2.1.6.4 Допускается сопротивление теплопередаче характерных зон R_{0i} , вычислять по формуле (2.4)

$$R_{0i} = \frac{t_{вi} - t_{нi}}{t_{вi} - \tau_{вi}} R_{вi}, \quad (2.4)$$

$$\text{где } R_{вi} = \frac{1}{\alpha_{вi}} = \frac{1}{\alpha_{ки} + \alpha_{ли}};$$

$\alpha_{ки}$ и $\alpha_{ли}$ - коэффициенты соответственно конвективного и лучистого теплообмена внутренней поверхности характерной зоны, Вт/(м²•°С).

2.1.6.5 При обработке результатов испытаний в лабораторных условиях в климатических камерах с автоматическим регулированием температурно-влажностных режимов для расчета сопротивления теплопередаче для каждого сечения берут значения температур и плотности тепловых потоков средние за весь период испытаний. При обработке результатов натурных испытаний строят графики изменения во времени характерных температур и плотности тепловых потоков, по которым выбирают периоды с наиболее установившимся режимом с отклонением среднесуточной температуры наружного воздуха от среднего значения за этот период в пределах $\pm 1,5$ °С и вычисляют средние значения сопротивления теплопередаче для каждого периода. Общая продолжительность этих расчетных периодов должна составлять не менее 1 сут для ограждающих конструкций с тепловой инерцией до 1,5 и не менее 3 сут для конструкций с большей тепловой инерцией.

2.1.6.6 Среднюю за период измерений фактическую плотность теплового потока определяют по формулам:

для сплошных ограждающих конструкций (2.5)

$$q_{\phi} = \frac{q(t_{г} - t_{н})}{(t_{г} - t_{н}) - q(R_T + R_C)} = \frac{q(\tau_{г} - \tau_{н})}{(\tau_{г.г} - \tau_{н}) - q(R_T + R_C)}; \quad (2.5)$$

для ограждающих конструкций с замкнутой воздушной прослойкой, прилегающей к внутреннему тонкому слою, на котором установлен преобразователь теплового потока (2.6).

$$q_{\phi} = q \left(1 + \frac{R_T + R_C}{R_e + R_I + 0,5R_{e.n}} \right), \quad (2.6)$$

где $t_b, t_n, t_{в}, t_{н}$ - то же, что в формуле (2.1);

q - средняя за расчетный период измеренная плотность теплового потока, Вт/м²;

R_T - термическое сопротивление преобразователя теплового потока, определяемого по его паспортным данным, (м²•°C)/Вт;

R_C - термическое сопротивление слоя, прикрепляющего преобразователь теплового потока, (м²•°C)/Вт; определяемое расчетом;

R_b - сопротивление теплопередаче внутренней поверхности ограждающей конструкции, (м²•°C)/Вт, определяемое расчетным путем по средним значениям $t_b, t_{в}$ и q . Допускается в первом приближении принимать его равным нормируемым значениям 0,115 (м²•°C)/Вт;

R_I - термическое сопротивление слоя ограждающей конструкции между внутренней поверхностью и воздушной прослойкой, (м²•°C)/Вт, определяемое расчетом;

$t_{т.в}$ - температура поверхности преобразователя теплового потока, обращенная внутрь помещения, °C, измеренная при испытаниях;

$R_{в.п}$ - термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, (м²•°C)/Вт, определяемое по справочному приложению.

2.1.6.7 Для вентилируемой прослойки $R_{в.п}$ определяют по формуле (2.7)

$$R_{e.n} = \frac{0,86}{d_k + \alpha_l}, \quad (2.7)$$

где $\alpha = 5,5 + 5,7v$;

v - скорость движения воздуха в прослойке, определяемая по опытными данным или расчетом, м/с;

α_l - коэффициент лучистого теплообмена, определяемый расчетным путем, Вт/(м²•°C).

2.1.6.8 Термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции определяют по формуле (2.8)

$$R_{сл} = \frac{\Delta \tau}{q_{\phi}}, \quad (2.8)$$

где Δt – разность температур на границах слоя, °С;

q_f – то же, что в формулах (2.5) и (2.6).

2.1.6.9 С целью сопоставления фактических значений теплопроводности материалов, использованных в конструкции, с проектными значениями, теплопроводность материала слоя λ определяют по формуле (2.9)

$$\lambda = \frac{\delta}{R_{сл}}, \quad (2.9)$$

где δ – толщина слоя, м.

2.1.6.10 Доверительный интервал определения значений сопротивления теплопередаче $R_{o,и}$ вычисляют по формуле (2.10)

$$R_{o,и} = \bar{R}_0 \pm \Delta \bar{R}_0, \quad (2.10)$$

где \bar{R}_0 – среднее сопротивление теплопередаче, определенное при испытаниях ограждающей конструкции по формуле (2.1), (2.2), ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт;

$\Delta \bar{R}_0$ – суммарная абсолютная погрешность результата испытания.

2.1.6.11 Относительная погрешность определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции по данному методу не должна превышать 15 %.

2.1.6.12 Полученные в результате испытаний значения сопротивления теплопередаче R_0 и R_0^{np} должны быть не менее значений, указанных в стандартах, технических условиях на ограждающие конструкции или проектных значений. Коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции $r = \frac{R_0^{np}}{R_0}$, учитывающий влияние стыков,

обрамляющих ребер и других теплопроводных включений, должен быть не ниже значений, приведенных в справочном приложении.

2.1.6.13 Таким образом, испытания строительных конструкций на значение сопротивления теплопередаче целесообразно проводить в климатической камере. В этом случае можно выполнить измерения с высокой точностью.

2.1.6.14 Измерения в натуральных условиях трудоемки, т. к. требуют длительного времени и определенных погодных условий. При этом достижимая точность измерений превышает 15%. Измерения выполняют в одной или нескольких точках ограждающей конструкции, что не дает

возможности судить о состоянии всех наружных ограждающих конструкций в целом.

2.2 Тепловизионный контроль [7]

2.2.1 Общие положения

2.2.1.1 Метод основан на дистанционном измерении тепловизором полей температур поверхностей ограждающих конструкций, между внутренними и наружными поверхностями которых создан перепад температур, и вычислении относительных сопротивлений теплопередаче участков конструкции, значения которых, наряду с температурой внутренней поверхности, принимают за показатели качества их теплозащитных свойств.

2.2.1.2 Температурные поля поверхностей ограждающих конструкций получают на экране тепловизора в виде черно-белого или цветного изображения, градации яркости или цвета которого соответствуют различным температурам. Тепловизоры снабжены устройством для высвечивания на экране изотермических поверхностей и измерения выходного сигнала, значение которого функционально связано с измеряемой температурой поверхности.

2.2.1.3 Тепловизионному контролю подвергают наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций. По обзорной термограмме наружной поверхности ограждающих конструкций выявляют участки с нарушенными теплозащитными свойствами, которые затем подвергают детальному термографированию с внутренней стороны ограждающих конструкций.

2.2.1.4 Линейные размеры дефектных участков определяют, используя геометрические масштабы термограмм.

2.2.1.5 Тепловизионные измерения производят при перепаде температур между наружным и внутренним воздухом, превосходящим минимально допустимый перепад, определяемый по формуле (2.11):

$$\Delta t_{\min} = \theta R_o^n \frac{\alpha r}{1 - r}, \quad (2.11)$$

где θ - предел температурной чувствительности тепловизора, °С;

R_o^n - проектное значение сопротивления теплопередаче, м²°С/Вт;

α - коэффициент теплоотдачи, принимаемый равным:

для внутренней поверхности стен - по нормативно-технической документации;

для наружной поверхности стен при скоростях ветра 1, 3, 6 м/с - соответственно 11, 20, 30 Вт/(м² · °С);

r - относительное сопротивление теплопередаче подлежащего выявлению дефектного участка ограждающей конструкции, принимаемое равным отношению значения требуемого нормативно-технической документации к проектному значению сопротивления теплопередаче, но не более 0,85.

2.2.1.6 Тепловизионные измерения производят при режиме теплопередачи, близком к стационарному. Отклонение фактического режима теплопередачи от стационарного оценивают согласно справочному приложению.

2.2.1.7 Тепловизионные измерения производят при отсутствии атмосферных осадков, тумана, задымленности. Обследуемые поверхности не должны находиться в зоне прямого и отраженного солнечного облучения в течение 12 ч до проведения измерений.

2.2.1.8 Измерения не следует производить, если значение интегрального коэффициента излучения поверхности объекта менее 0,7.

2.2.1.9 Места установки тепловизора выбирают так, чтобы поверхность объекта измерений находилась в прямой видимости под углом наблюдения не менее 60°.

2.2.1.10 Удаленность мест установки тепловизора L в метрах от поверхности объекта определяют по формуле (2.12)

$$L \leq \frac{\Delta H N_c}{10\varphi}, \quad (2.12)$$

где φ - угловой вертикальный размер поля обзора тепловизора, рад;

ΔH - линейный размер подлежащего выявлению участка ограждающей конструкции с нарушенными теплозащитными свойствами, принимаемый при контроле внутренней поверхности от 0,01 до 0,2 м; при контроле наружной поверхности - от 0,2 до 1 м;

N_c - число строк развертки в кадре тепловизора.

2.2.1.11 Поверхности ограждающих конструкций в период тепловизионных измерений не должны подвергаться дополнительному тепловому воздействию от биологических объектов, источников освещения. Минимально допустимое приближение оператора тепловизора к обследуемой поверхности составляет 1 м, электрических ламп накаливания - 2 м.

2.2.1.12 Отопительные приборы, установленные на отnose с расстоянием более 10 см от обследуемой поверхности или находящиеся на примыкающих к ней поверхностях, следует экранировать пленочными материалами с низким коэффициентом излучения.

2.2.1.13 На обследуемой поверхности выбирают геометрический репер, которым может служить линейный размер откоса окна, расстояние между стыками панелей ограждающей конструкции.

2.2.2 Проведение измерений.

2.2.2.1 Тепловизор устанавливают на выбранном месте, включают и настраивают в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

2.2.2.2 Тепловое изображение наружной поверхности ограждающей конструкции просматривают, снимают обзорные термограммы и выбирают базовый участок. За базовый принимают участок ограждающей конструкции, имеющий линейные размеры свыше двух ее толщин и равномерное температурное поле, которому соответствует минимальное значение выходного сигнала тепловизора.

2.2.2.3 Участок с нарушенными теплозащитными свойствами выявляют при просмотре тепловых изображений наружной поверхности ограждающей конструкции. К ним относят участки, тепловое изображение которых не соответствует модели термограммы, и участки, значения выходных сигналов тепловизора от поверхности которых больше на одну деления шкалы изотерм, чем для базового участка.

2.2.2.4 Поверхности контролируемых участков стен освобождают от картин, ковров, отслоившихся обоев и других предметов, исключающих прямую видимость объекта.

2.2.2.5 Внутренние поверхности базового участка и участков с нарушенными теплозащитными свойствами подвергают детальному термографированию. Дополнительно термографируют участки примыкания пола и потолка к наружным стенам здания в помещениях первого и верхнего этажей, а также угловые участки сопряжений наружных стен.

2.2.2.6 Перед измерениями температурных полей производят градуировку тепловизора в соответствии с рекомендуемым приложением.

2.2.2.7 Сопротивление теплопередаче базового участка ограждающей конструкции определяют по результатам натурных измерений в соответствии с ГОСТ 26254-84. При невозможности его определения значение сопротивления теплопередаче вычисляют согласно нормативно-технической документации по данным проекта ограждающей конструкции.

2.2.2.8 Значения относительного сопротивления теплопередаче участка ограждения вычисляют по формуле (2.14)

$$r(x, y) = \frac{t_B - t_H}{t_B^{\bar{\sigma}} - t_H^{\bar{\sigma}}} \cdot \frac{t_B^{\bar{\sigma}} - \tau_B^{\bar{\sigma}}}{t_B - \tau_B(x, y)} \quad (2.14)$$

где t_B, t_H - температуры внутреннего и наружного воздуха в зоне исследуемого фрагмента, °С;

$t_B^{\bar{\sigma}}, t_H^{\bar{\sigma}}$ - температура внутреннего и наружного воздуха в зоне базового участка, °С;

$\tau_B^{\bar{\sigma}}$ - температура внутренней поверхности базового участка, °С;

$\tau_B(x, y)$ - температура изотермы, проходящей через точку с координатами (x, y) , °С.

2.2.2.9 Результаты расчета относительных сопротивлений теплопередаче заносят в таблицу.

2.2.2.10 Значение случайной абсолютной погрешности определения температуры $\delta\tau_{\delta(\bar{\sigma})}$ в °С участка ограждающей конструкции рассчитывают по формуле (2.15):

$$\delta\tau = \sqrt{(\delta\tau_p)^2 + 2(A\delta L)^2}, \quad (2.15)$$

где $\delta\tau_p$ - абсолютная погрешность измерения температур реперных участков, принимаемая равной половине цены деления шкалы измерительного прибора, °С;

δL - погрешность измерения выходного сигнала тепловизора, принимаемая равной половине цены деления шкалы изотерм тепловизора;

A - то же, что в формуле (2.13).

2.2.2.11 Значение случайной относительной погрешности определения относительного сопротивления теплопередаче δr рассчитывают по формуле (2.16):

$$\delta r = \frac{1}{t_B - \tau_B} \sqrt{(\delta t_B)^2 + (\delta\tau_B)^2 + (\delta\tau_{\bar{\sigma}})^2}, \quad (2.16)$$

где t_B, τ_B - температуры соответственно воздуха и поверхности, °С;

$\delta t_B, \delta\tau_{\bar{\sigma}}, \delta\tau_B$ - значения абсолютных случайных значений погрешности определения температуры соответственно воздуха, базового участка, контролируемого участка, °С.

2.2.2.12 Результаты измерений признают достоверными, если относительная погрешность δr не превышает 15%.

2.2.2.13 В качестве границы дефектного участка ограждающей конструкции, выявленного при термографировании внутренней поверхности, принимают:

– изотерму, температура которой при расчетных условиях эксплуатации здания или сооружения равна температуре точки росы внутреннего воздуха;

– контур участка с однородным температурным полем, линейные размеры которого больше двух толщин ограждающей конструкции и относительное сопротивление теплопередаче равно или меньше его критического значения.

2.2.2.14 Температуру внутренней поверхности участка ограждения по линии изотермы определяют при расчетных условиях эксплуатации здания или сооружения по формуле (2.17):

$$\tau_B^p(x, y) = t_B^p - \frac{t_B^p - t_H^p}{\alpha_B^p R_0^\sigma r(x, y)}, \quad (2.17)$$

где t_B^p, t_H^p - расчетные температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С;

α_B^p - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый согласно нормативно-технической документации, Вт/(м² · °С);

R_0^σ - значение сопротивления теплопередаче базового участка, определяемое в соответствии с п. 4.10, м² · °С/Вт;

$r(x, y)$ - то же, что в формуле (2.14).

2.2.2.15 Критическое значение относительного сопротивления теплопередаче $r_{кр}$ ограждающей конструкции по линии изотермы определяют по формуле (2.18):

$$r_{кр} = \frac{R_0^{тп}}{R_0^\sigma}, \text{ но не более } 0,85, \quad (2.18)$$

где $R_0^{тп}$ - требуемое сопротивление теплопередаче, определяемое по нормативно-технической документации, м² · °С/Вт;

R_0^σ - то же, что в формуле (2.17).

2.2.2.16 При расположении дефектного участка в зоне стыкового соединения стеновых панелей или оконного блока и панели следует проверить сопротивление воздухопроницанию стыкового соединения по ГОСТ 25981-83.

2.2.2.17 Таким образом, тепловизионный контроль не решает задачу количественного определения значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, а позволяет выявить проблемные участки ограждений с пониженным относительно остальных сопротивлением теплопередаче.

2.3 Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление [7].

2.3.1 Общие положения

2.3.1.1 Определение удельного потребления тепловой энергии на отопление 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 энергетической эффективности здания и определить влияние отдельных мероприятий по энергосбережению в здании.

2.3.1.2 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 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.

2.3.2 Выбор объекта испытания

2.3.2.1 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.

2.3.2.2 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. В испытываемом объекте должна отсутствовать какая-либо вентиляция с механическим побуждением.

2.3.2.3 В случае отсутствия в объекте испытаний теплосчетчика или невозможности его подключения к существующей системе водяного отопления отопительные приборы в испытываемых помещениях отключаются. Взамен устраивается электрическая система отопления, например с помощью электрорадиаторов с термостатами, подключенная к электросчетчику, позволяющему регистрировать расход потребляемой энергии. Рекомендуется также замена на период испытаний существующей системы отопления на электрическую систему в многоквартирных домах.

2.3.3 Аппаратура и оборудование

2.3.3.1 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 действительных условиях облачности;
- бытовых тепловыделений.

2.3.3.2 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 цифробуквенное печатающее устройство (принтер).

2.3.3.3 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 2.3.3.4.

2.3.3.4 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 (2.19):

$$\Delta Q = c \Delta V \rho (t_F - t_R), \quad (2.19)$$

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 (2.20):

$$\rho = 968,2 + 0,6 [85 - (t_F - t_R)/2], \quad (2.20)$$

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

t_R — температура воды в отводящем трубопроводе, °С;

2.3.3.5 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. Кроме того, отопительные приборы, как правило, должны быть снабжены термостатическими кранами по ГОСТ 30815.

2.3.4 Подготовка к испытаниям.

2.3.4.1 Перед началом испытаний необходимо:

- а) выявить наличие в отопительной системе здания приборов измерения расхода теплоты на отопление, проверить их работоспособность и наличие документации по калибровке измерителя расхода горячей воды и теплосчетчика в целом;
- б) провести испытание на воздухопроницаемость выбранного объекта по ГОСТ 31167 и при обнаружении грубых отклонений от проекта провести устранение этих дефектов;
- в) обеспечить работоспособность и правильную настройку приборов автоматического регулирования подачи теплоты на отопление.

2.3.4.2 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.

2.3.4.3 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.

2.3.4.4 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.

2.3.5 Проведение испытаний.

2.3.5.1 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 $t_{ext} = 13$ °С для зданий, заселенных людьми с учетом социальной нормы (20 м² общей площади и менее на человека), и 15 °С — 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.

2.3.5.2 Измерения осуществляют в течение отопительного периода, выбрав продолжительность измерений:

а) экспресс-методом в две недели;

б) методом длительных испытаний в три месяца. Экспресс-метод является допустимым и его можно применять при необходимости получения быстрых результатов не более чем в одном здании.

2.3.5.3 Периодичность измерения расхода энергии, кДж, при наличии теплосчетчика (электросчетчика) или расхода воды и температуры в подводящем и отводящем трубопроводах, а также бытовых тепловыделений выбирают в зависимости от продолжительности измерений для: двух недель — один раз в конце суток в 24 ч и трех месяцев — 1 раз в неделю в конце суток последнего дня недели в 24 ч.

2.3.5.4 Измерения температуры наружного и внутреннего воздуха, °С, и величин суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации при действительных условиях облачности Q_{hor} , Вт/м², приходящихся на горизонтальную поверхность, осуществляют при продолжительности измерений две недели — четыре раза в сутки в следующие сроки: 6; 12, 18 и 24 ч. При продолжительности измерений три месяца температуру наружного воздуха и величину суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность принимают по данным ближайшей метеостанции, а температуру внутреннего воздуха — по нижней допустимой.

2.3.5.5 Бытовые тепловыделения, как правило, следует принимать по Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха. СНБ 4.02.01-03 - Минск 2004г.

2.3.5.6 . Допускается измерять и вычислять бытовые тепловыделения, учитывая при этом показания электро- и газосчетчика на квартиру (одноквартирный дом) и заселенность квартиры (дома) из расчета 419 кДж/ч на одного человека. При этом тепловыделения от полотенцесушителей и от горячей воды, используемой для душа, мытья посуды и пр., не учитывают.

2.3.5.7 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.

2.3.6 Результаты измерений заносят в журнал.

2.3.7 Обработка результатов.

2.3.7.1 Рассчитывают среднюю за сутки температуру наружного воздуха, °С, при продолжительности измерений две недели по формуле (2.21):

$$t_{ext}^i = 0,25 \sum_{e=6,12,18,21} t_e, \quad (2.21)$$

где t_e — измеряемые температуры в течение суток по срокам в 6, 12, 18 и 24 ч;

либо средние за неделю температуры наружного воздуха при продолжительности измерений три месяца по формуле (2.22):

$$t_{ext}^i = (\sum_{d=1}^7 t_d) / 7, \quad (2.22)$$

где t_d — средняя за сутки температура по данным метеостанции.

2.3.7.2 Рассчитывают среднюю за сутки температуру внутреннего воздуха в помещениях здания t_{int}^i , °С, при продолжительности измерений две недели по формуле (2.23):

$$t_{int}^i = 0,25 \sum_{in=6,12,18,21} t_{in}, \quad (2.23)$$

где t_{in} — измеряемые температуры в течение суток по срокам в 6, 12, 18 и 24 ч;

либо принимают температуру внутреннего воздуха t_{int} при продолжительности измерений три месяца по нижней величине допустимого параметра согласно ГОСТ 30494.

2.3.7.3 Определяют средние за сутки потребления тепловой энергии на отопление здания Q_{ht}^i , кДж, при продолжительности измерений две недели по разности расходов тепловой энергии в конце (24 ч) и начале (0 ч) суток либо средние за неделю расходы тепловой энергии на отопление здания Q_{ht}^i , кДж, при продолжительности измерений три месяца по разности расходов тепловой энергии в конце суток последнего дня недели в 24 ч и начале первых суток недели в 0 ч.

2.3.7.4 Определяют по приложению В теплопоступления от солнечной радиации через светопроемы в здание Q_s^i , кДж, за сутки при продолжительности измерений две недели и за неделю при продолжительности измерений три месяца.

2.3.7.5 Рассчитывают бытовые тепловыделения Q_i^i , кДж, по СНиП 23-02 соответственно за сутки или за неделю согласно продолжительности измерений, указанных в п. 2.3.6.2.

2.3.7.6 В случае проведения измерений:

а) рассчитывают бытовые тепловыделения от бытовых приборов по разности показаний электросчетчика (газосчетчика) с соответствующим пересчетом в кДж — средние за сутки расходы в конце (24 ч) и начале (0 ч)

суток при продолжительности измерений две недели либо средние расходы за неделю в конце суток последнего дня недели в 24 ч и начале первых суток недели в 0 ч при продолжительности измерений три месяца;

б) определяют бытовые тепловыделения в кДж от людей, заселяющих квартиру (одноквартирный дом) соответственно за сутки или за неделю из расчета 419 кДж/ч на одного взрослого человека; определяют общие бытовые тепловыделения, суммируя величины, полученные в а) и б).

2.3.7.7 Рассчитывают величины общих тепловых потерь здания через наружные ограждающие конструкции Q_h^i , Вт, по формуле (2.24):

$$Q_h^i = 0,278[Q_{ht}^i + (Q_i^i + Q_s^i)v\zeta] / \Delta\tau, \quad (2.24)$$

где Q_{ht}^i — то же, что и в 9.3, кДж;

Q_i^i — то же, что и в 9.5, кДж;

Q_s^i — то же, что и в 9.4, кДж;

v — коэффициент, учитывающий способность ограждающих конструкций помещений зданий аккумулировать или отдавать теплоту;

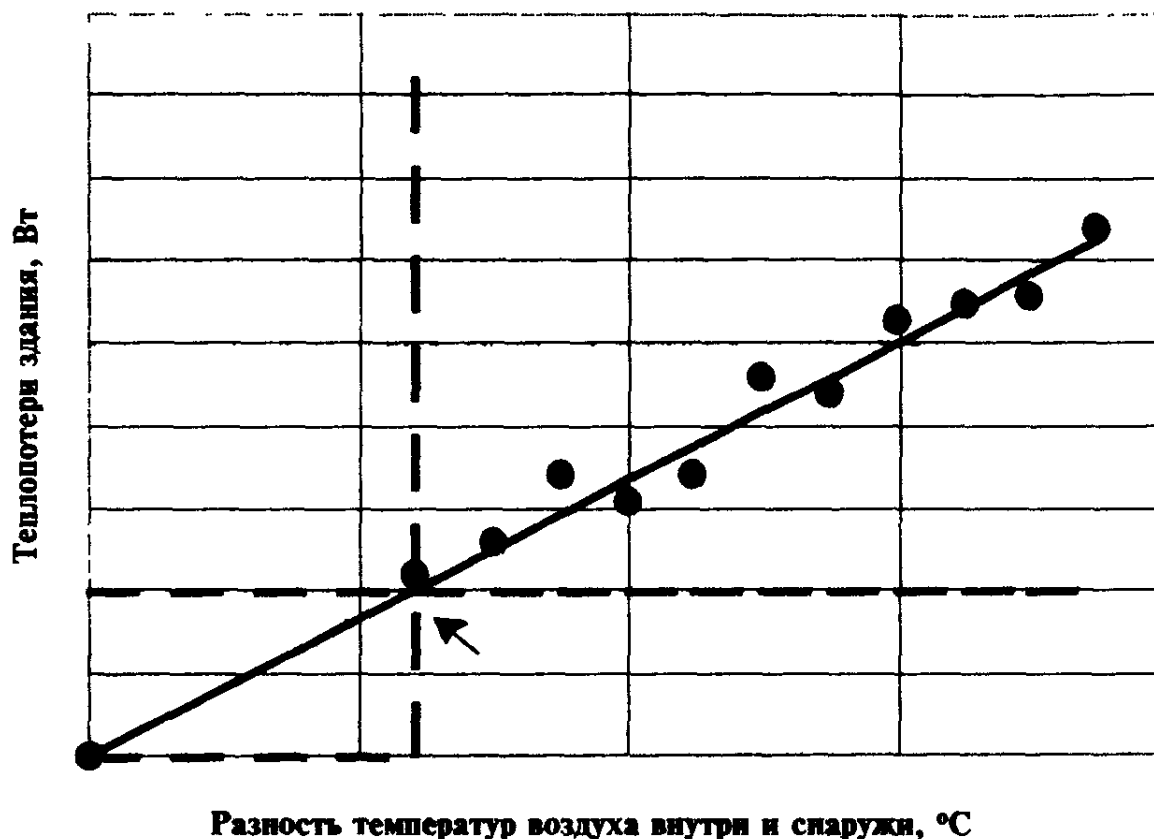
рекомендуемое значение $v = 0,8$;

ζ — коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления;

при электрическом отоплении $\zeta = 1$; при водяной системе отопления величину ζ принимают согласно СНиП 23-02;

$\Delta\tau$ — величина, равная 24 ч или 168 ч соответственно продолжительности измерений две недели или три месяца.

2.3.7.8 Находят приближенную функциональную линейную зависимость (линейную регрессию) результатов измерений и обработки семейства точек с координатами $(t_{int}^i - t_{ext}^i, Q_h^i)$ в прямоугольной системе координат: по оси абсцисс — разности температур, °С, воздуха внутри t_{int}^i и снаружи t_{ext}^i , определяемых по п.п. 2.3.7.1 и 2.3.7.2 соответственно, по оси ординат — суточные либо недельные величины общих тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции здания Q_h^i , Вт, определяемые по формуле (2.24) (рисунок 2.1).



Стрелкой помечены суммарные тепловыделения в помещениях здания
 Рисунок 2.1 — Схема функциональной зависимости теплопотерь здания от разности температур воздуха внутри и снаружи.

2.3.7.9 Уравнение линейной зависимости, проходящей через начало координат, имеет вид (2.25):

$$Q_h = a (t_{int} - t_{ext}). \quad (2.25)$$

где a — коэффициент, Вт/°С, рассчитываемый по формуле (2.26):

$$a = (1/N) \sum_{i=1}^N [Q_h^i / (t_{int}^i - t_{ext}^i)], \quad (2.26)$$

где N — число измерений при испытаниях, равное 14 при продолжительности испытаний в две недели и 12 — в три месяца;

2.3.7.10 По данным измерений или проектным данным по внутренним размерам определяют суммарную площадь всех наружных ограждающих конструкций (стен, окон, покрытия или чердачного перекрытия, пола первого этажа) A_e^{sum} , м², площадь пола квартиры (помещения, многоквартирного дома) A_h , м², и отапливаемый объем V , м³.

2.3.7.11 Определяют общий коэффициент теплопередачи наружных ограждающих конструкций испытываемого объекта K_m , Вт/(м²·°С), включающий трансмиссионные и инфильтрационные теплопотери, по формуле (2.27):

$$K_m = a / (A_e^{sum} \beta_h), \quad (2.27)$$

где a и A_e^{sum} — то же, что и в п. 2.3.7.9;

β_h — коэффициент, равный для:

многосекционных и других протяженных зданий $\beta_h = 1,13$,

зданий башенного типа $\beta_h = 1,11$,

зданий с отапливаемыми подвалами $\beta_h = 1,07$,

зданий с отапливаемыми чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты $\beta_h = 1,05$,

одноквартирных домов $\beta_h = 1$.

2.3.7.12 Потребление тепловой энергии на отопление здания за расчетный отопительный период Q_h^y , кДж, рассчитывают по формуле (2.28)

$$Q_h^y = 24\beta_h [3,6K_m D_d A_e^{sum} - (Q_i + Q_s) z_{ht} \nu \zeta / \Delta\tau], \quad (2.28)$$

D_d — расчетные градусо-сутки отопительного периода, °С·сут,

A_e^{sum} — Величины наружной площади ограждений, м;

z_{ht} — расчетная продолжительность отопительного периода, сут.

Рассчитывают удельное потребление тепловой энергии q_h , кДж/(м²·°С·сут), на отопление здания в течение отопительного периода по формуле (2.29):

$$q_h = Q_h^y / (A_h D_d), \quad (2.29)$$

2.3.7.13 Недостатком указанного метода является отсутствие, как правило, достоверной информации о мощности внутренних источников теплоты в зданиях. Это приводит к ошибке в определении углового коэффициента графика и к ошибкам в последующих вычислениях теплоэнергетических характеристик зданий.

3 Предлагаемая методика определения теплоэнергетических характеристик эксплуатируемых зданий [8].

3.1 Требования к теплотехническим характеристикам зданий.

3.1.1 Требования к теплотехническим характеристикам зданий изменяются вместе с изменением стоимости энергоносителей. Если в [9] требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций выбирались только из соображения теплового комфорта, то в [2,3] были установлены нормируемые значения для сопротивления теплопередаче для ограждающих конструкций, а в [5] - нормативные значения для удельного годового потребления тепла на отопление зданий. Удельное годовое потребление тепла на отопление устанавливается и в нормативных документах России [10] и стран ЕС, например [11].

3.1.2 Следует, однако, отметить, что эта характеристика относится не к зданию как конструктивной системе, а дает оценку энергетической системе, связанной со зданием, но включающей также климатические условия и условия эксплуатации здания.

3.1.3 Сравнительный анализ теплотехнических характеристик зданий, находящихся в различных климатических зонах и для стран с различным уровнем развития по удельному потреблению тепловой энергии на отопление некорректен в силу отмеченных особенностей.

3.1.4 В [12] используют понятия теплотехнической характеристики здания, равной отношению удельной энергии тепловых потерь через ограждающие конструкции к объему здания и средней за отопительный сезон разности температур. Эта удельная характеристика показывает количество энергии, необходимое для компенсации тепловых потерь через ограждающие конструкции на 1 м^3 здания при разности температур в 1 К . В [10] она используется в качестве одного из нормируемых показателей здания.

3.1.5 В [10] расчет тепловых потерь здания выполняется через общий коэффициент теплопередаче здания, равный отношению удельной мощности тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий при разности температур в 1 К к отапливаемой площади.

3.1.6 Целесообразно ввести понятие коэффициента удельных тепловых потерь здания, равного удельной энергии тепловых потерь через ограждающие конструкции и с вентиляцией к отапливаемой площади здания и при разности температур воздуха внутри и снаружи здания в 1 К [8]. Значение коэффициента позволяет сравнивать здания по теплоэнергетическим параметрам независимо от места их строительства и

условий эксплуатации и определять необходимые изменения теплозащиты и воздухообмена для выхода на заданный уровень теплопотребления.

3.1.7 Прогнозные значения коэффициента удельных тепловых потерь здания можно определить по проектным данным. Сложнее определить фактическое значение этой величины для уже построенного здания. Эта задача особенно актуальна при определении качества строительства новых зданий и выполнении работ по тепловой модернизации существующего жилого фонда зданий.

3.1.8 При определении качества строительных работ для нового строительства важно определить в период гарантийного обслуживания отклонение коэффициента удельных тепловых потерь здания от проектных значений.

3.1.9 При выполнении работ по тепловой модернизации задачу целесообразно решать в два этапа. На первом этапе – выполнение энергетической паспортизации зданий, на основании которой определяется очередность и объем работ. На втором этапе – выполнение работ по тепловой модернизации в соответствии с установленной очередностью. Энергетическую паспортизацию целесообразно проводить на основе измерения величины коэффициента удельных тепловых потерь здания.

3.1.10 Эту величину можно определить только в течение отопительного сезона, при учете тепловой энергии на отопление зданий. Однако, к показаниям счетчика тепла дополнительно необходима информация о средней мощности внутренних источников тепла и средней температуре в здании, определение которой, например, [7], требует измерения многих сопутствующих параметров и представляет достаточно трудоемкую задачу, и средней температуре воздуха в помещениях, которой обычно нет.

3.1.11 В современных зданиях с индивидуальным тепловым пунктом задача осложняется тем, что в них, как правило, ведется общий учет тепловой энергии, затраченной на отопление и вентиляцию, а также и на горячее водоснабжение.

3.1.12 В данном разделе предложена методика определения этой величины по показаниям счетчика тепла. Предлагаемый способ позволяет также определить мощность внутренних источников тепла и температурный режим здания.

3.2 Методика определения коэффициента удельных тепловых потерь эксплуатируемого здания в случае раздельного учета тепловой энергии.

3.2.1 Расчетная мощность тепловых потерь здания определяется в виде суммы тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции и тепловых потерь с вентиляционными выбросами для нормативного уровня воздухообмена и средней в отопительном сезоне наружной температуры $T_{нар}$ [4] по формулам (3.1) и (3.2).

$$q_0 = S_{от} \cdot (T_0 - T_{нар}) \cdot f_1^0, \quad (3.1)$$

$$f_1^0 = \frac{1}{S_{от}} \left(\sum_{m=1}^M \frac{S_m}{R_m} + \frac{\rho c V_0}{3600} \right), \quad (3.2)$$

где f_1^0 - коэффициент удельных тепловых потерь здания для нормативных условий, Вт/м²К,

M – количество наружных ограждающих конструкций, включая окна, в здании;

m – номер наружного ограждения в квартире;

T_0 – нормативное значение температуры воздуха в жилых помещениях, равное 18⁰С;

$T_{нар}$ – средняя в отопительном сезоне наружная температура, для г. Минска, например, равная -0,9⁰С;

R_m – приведенное сопротивление теплопередачи m -й наружной ограждающей конструкции в здании, м² ·°С/Вт;

S_m – площадь m -й наружной ограждающей конструкции в здании, м²;

$S_{от}$ – отапливаемая площадь здания.

V_0 – нормативный часовой объем воздухообмена в здании, м³/час;

c – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С);

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

3.2.2 Второй множитель в выражении (1) является коэффициентом удельных тепловых потерь здания.

3.2.3 Из (3.2) можно сделать вывод, что коэффициент удельных тепловых потерь здания зависит только от теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий и уровня воздухообмена и не зависит от температуры воздуха внутри и снаружи здания.

3.2.4 Нормативные характеристики, принимаемые для расчетов тепловых потерь зданий в (3.1), на практике часто отличаются от фактических значений. Отличаться могут как значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий, так и фактический

уровень воздухообмена и температура воздуха в здании. Поэтому измерение коэффициента удельных тепловых потерь здания f_1 , для конкретного эксплуатируемого здания, позволит определить степень соответствия проектных значений эксплуатационным, прогнозировать тепловые потери и классифицировать с точки зрения степени энергоэффективности.

3.2.5 В то же время, непосредственное измерение значения энергетической характеристики недоступно. В современных зданиях возможно определение значения тепловой энергии, затраченной на отопление здания за определенный период с помощью установленных в здании счетчиков тепла, например, [4]. Средняя удельная мощность источника тепла в отоплении здания на i -м периоде измерений будет в этом случае равна (3.3):

$$P_i = \Delta T_i \cdot f_1 - f_2, \quad (3.3)$$

где P_i - средняя удельная мощность источника тепла в отоплении здания, Вт/м², определенная по показаниям счетчика тепла в здании;

$$\Delta T_i = (T_i - T_{\text{нар.}});$$

T_i - средняя температура воздуха в здании на i - м интервале измерений, °С;

$T_{\text{нар.}}$ - средняя температура наружного воздуха на i - м интервале измерений °С;

f_2 - средняя удельная мощность внутренних тепловыделений в здании, Вт/м².

3.2.6 Считая коэффициент удельных тепловых потерь здания и среднюю мощность внутренних источников тепла в здании константами, можно записать систему уравнений для их определения (3.4):

$$[A] \cdot \vec{f} = \vec{P} \quad (3.4)$$

здесь $[A]$ - матрица размерностью $N \times 2$, элементы которой равны:

$$a_{i1} = \Delta T_i; \quad a_{i2} = 1;$$

\vec{f} - вектор размерностью 2 с компонентами f_1 и f_2 ;

\vec{P} - вектор размерностью N с компонентами, равными $P_i, i=1, \dots, N$.

3.2.7 Для решения системы относительно неизвестных величин f_1 и f_2 достаточно двух уравнений. При наличии большего количества уравнений для решения можно воспользоваться приемом «псевдообращения» матрицы [13], тогда система (3.4) преобразуется к виду (3.5):

$$[B] \cdot \vec{f} = \vec{P}_1, \quad (3.5)$$

где $[B]$ - матрица размерностью 2×2 , равная (3.6):

$$[B] = [A]^T [A], \quad (3.6)$$

$$\text{где } b_{11} = \sum_{i=1}^N \Delta T_i^2 ; b_{12} = b_{21} = -\sum_{i=1}^N \Delta T_i ; b_{22} = N . \quad (3.7)$$

\vec{P}_1 - двухкомпонентный вектор, равный (3.8):

$$\vec{P}_1 = [A]^T \cdot \vec{P} ; \quad (3.8)$$

$$\text{где } P_{11} = \sum_{i=1}^N P_{1i} \cdot \Delta T_i ; P_{12} = -\sum_{i=1}^N P_{1i} . \quad (3.9)$$

3.2.8 Решение уравнения (3.5) дает значения f_1 и f_2 , равные:

$$f_1 = (d_1 \cdot b_2 - d_2 \cdot b_1) / (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1) \quad (7)$$

$$f_2 = -(d_1 \cdot a_2 - d_2 \cdot a_1) / (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1) \quad (8)$$

где: $a_1 = \sum \Delta T_i^2$, $a_2 = \sum \Delta T_i$, $b_1 = \sum \Delta T_i$, $b_2 = N$, $d_1 = \sum (P_i \cdot \Delta T_i)$, $d_2 = \sum P_i$

Здесь суммирование выполняется от 1 до N.

3.2.9 При известных значениях мощности внутренних источников тепла и значении температуры воздуха в здании на одном, например, k - м измерительном интервале из системы уравнений (3.4) можно определить коэффициент удельных тепловых потерь здания и температуру воздуха в здании на остальных измерительных интервалах. В этом случае значение f_1 равно (3.10):

$$f_1 = \frac{Q_k}{T_k - T_{кнар}} , \quad (3.10)$$

$$\text{где } Q_k = P_k - f_2 , \quad (3.11)$$

$$T_i = T_{нар} + \frac{Q_i}{f_1} , i \neq k . \quad (3.12)$$

3.2.10 Определение статистической погрешности определения энергетических характеристик зданий.

3.2.11 Погрешность определения коэффициента удельных тепловых потерь здания и мощности внутренних источников тепла можно определить, используя формулу переноса ошибок в случае одного параметра, зависящего от нескольких независимых переменных [4]:

$$\sigma^2(f_k) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f_k}{\partial (\Delta T_i)} \right)^2 \sigma^2(\Delta T_i) + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f_k}{\partial (P_i)} \right)^2 \sigma^2(P_i) \quad (3.13)$$

3.2.12 Для случая неизвестного значения мощности внутренних источников тепла из (3.8) и (3.9) можно получить:

$$\frac{\partial f_1}{\partial (\Delta T_i)} = \frac{N \cdot P_i - P_{12} - 2f_{1cp}(N \cdot \Delta T_i - b_{12})}{N \cdot b_{11} - b_{12}^2} , \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial (\Delta T_i)} = \frac{2P_{12} \cdot \Delta T_i - b_{12} \cdot P_i - P_{11} - 2f_{1cp}(N \cdot \Delta T_i - b_{12})}{N \cdot b_{11} - b_{12}^2} , \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial (P_i)} = \frac{N \cdot \Delta T_i - b_{12}}{N \cdot b_{11} - b_{12}^2}, \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial (P_i)} = \frac{b_{11} - b_{12} \cdot \Delta T_i}{N \cdot b_{11} - b_{12}^2}. \quad (3.17)$$

3.2.13 При N=2 для значений погрешности измерения f_1 и f_2 можно записать выражения:

$$\sigma(f_1) = \sqrt{\frac{2(\sigma^2(P) + f_1^2 \cdot \sigma^2(\Delta T))}{(\Delta T_1 - \Delta T_2)^2}}, \quad (3.18)$$

$$\sigma(f_2) = \sqrt{\frac{(\Delta T_1^2 + \Delta T_2^2)\sigma^2(P) + ((P_1 - f_2)^2 + (P_2 - f_2)^2) \cdot \sigma^2(\Delta T)}{(\Delta T_1 - \Delta T_2)^2}}. \quad (3.19)$$

3.2.14 Для случая известного значения мощности внутренних источников тепла для значения f_1 и для T_i получим значения среднеквадратичной погрешности, равные:

$$\sigma_{f_1} = \sqrt{\frac{\sigma_Q^2}{\Delta T_k^2} + \frac{Q_k^2 \cdot \sigma_{\Delta T_k}^2}{\Delta T_k^4}}, \quad (3.20)$$

$$\sigma_{T_i} = \sqrt{\sigma_{T_{нар}}^2 + \frac{\sigma_Q^2}{f_1^2} + \frac{Q_i^2 \cdot \sigma_{f_1}^2}{f_1^4}}, \quad i \neq k. \quad (3.21)$$

где $\sigma_Q^2 = \sigma_P^2 + \sigma_{f_2}^2$.

3.2.15 Экспериментальное определение общего коэффициента теплопередаче здания.

3.2.16 В г. Могилеве был выполнен комплекс работ по исследованию теплоэнергетических характеристик жилых зданий [4] по результатам анализа. В [8] представлены усредненные значения тепловых потерь для многоквартирных зданий различных типов, старого жилого фонда и построенных в соответствии с действующими нормативами. Первичная информация об этих зданиях была использована для определения их энергетических характеристик в данной статье. Коэффициент удельных тепловых потерь определялся для зданий по ежемесячной информации о затратах тепловой энергии на отопление зданий и определенным ранее [4] значениям мощности внутренних источников тепла в зданиях.

3.2.17 В таблице 3.1 приведены данные гидрометеоцентра по средним значениям температуры в г. Могилеве в отопительном сезоне 2006 – 2007 гг., использованные при расчетах.

Таблица 3.1 - Средние температуры в г. Могилеве в отопительном сезоне 2006 – 2007 гг.

Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
---------	--------	---------	--------	---------	------	--------

7,6	1,7	2	-0,5	-9,7	4,8	5,8
-----	-----	---	------	------	-----	-----

3.2.18 В октябре и апреле здания отапливались неполный месяц. К тому же, при включении и выключении отопления, некоторое время необходимо для выхода здания на стационарный тепловой режим. Поэтому информация по этим месяцам не использовалась в расчетах. Не использовалась в расчетах также информация по ноябрю, так как разность значений средней температуры наружного воздуха в ноябре и декабре достаточно мала и уравнения для энергетических характеристик в ноябре и декабре почти линейно зависимы. При выполнении расчетов использовалась измерительная информация по четырем месяцам, с декабря 2006 по март 2007г.

3.2.19 На рисунке 3.1 приведены графики потребления тепловой энергии (по показаниям счетчиков тепла, установленных в тепловых пунктах) в зданиях старого жилого фонда г. Могилева для четырех месяцев отопительного сезона 2006 – 2007 гг. Наибольшее потребление наблюдалось, в феврале 2007 г., что оправдано минимальной температурой в этом месяце (см. таблицу 3.1). Для некоторых зданий по данным рис.1 соотношение удельных тепловых потерь по месяцам не соответствовало температурным изменениям. Информация для этих зданий не использовалась в дальнейших расчетах.

3.2.20 На рисунке 3.2 приведены аналогичные графики потребления тепловой энергии в зданиях нового жилого фонда г. Могилева. Ход зависимостей, представленных на рисунке 3.2, аналогичен данным на рисунке 3.1, хотя потребляемая энергия меньше, чем в первом случае. Это соответствует конструкции новых зданий, т. к. теплозащита зданий, удовлетворяющих современным нормативам [2] в 2 – 2,5 раза выше, чем у зданий старого жилого фонда. Отбор данных для дальнейших расчетов выполнялся так же, как и в предыдущем случае.

3.2.21 На рисунке 3.3 приведен график удельных значений мощности внутренних источников тепла в этих зданиях, рассчитанных по информации о потребленной в здании электрической энергии, газа для приготовления пищи и количеству проживающих в здании людей. Обращает на себя внимание незначительный разброс этой величины. При среднем значении удельной мощности, равном $6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ отапливаемой площади здания})$ [8], среднеквадратичное отклонение составляет $0,3 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

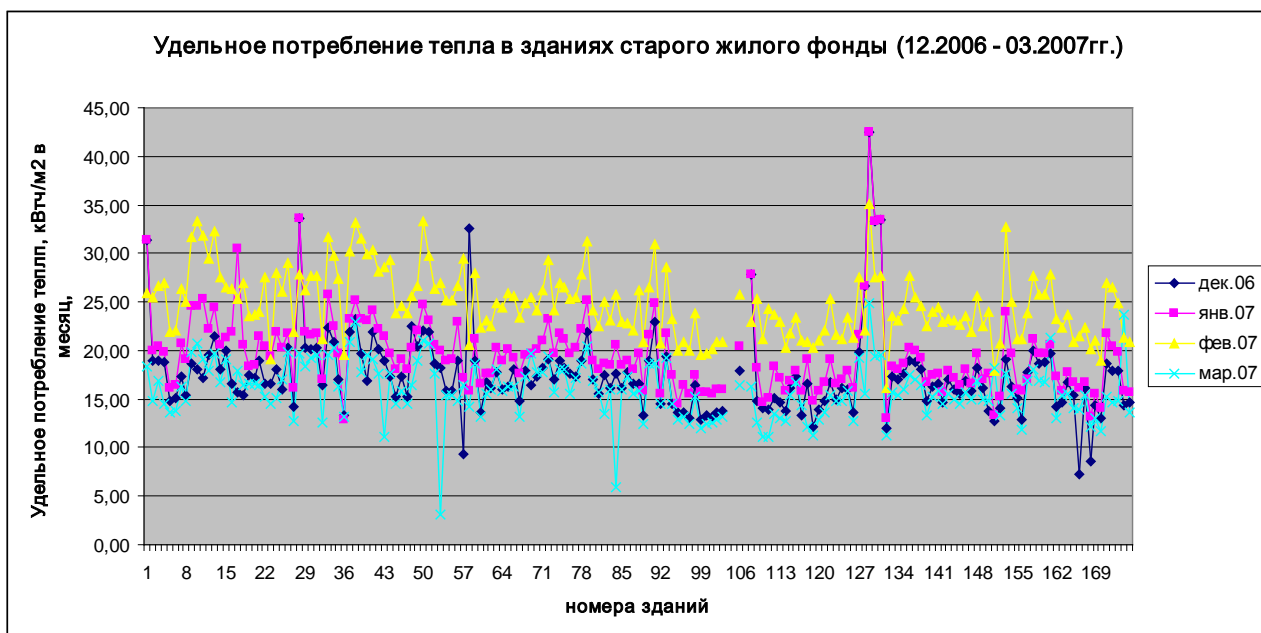


Рисунок 3.1 - Удельное потребление тепла на отопление в зданиях старого жилого фонда (до 1993 г строительства), кВтч/м² в месяц.

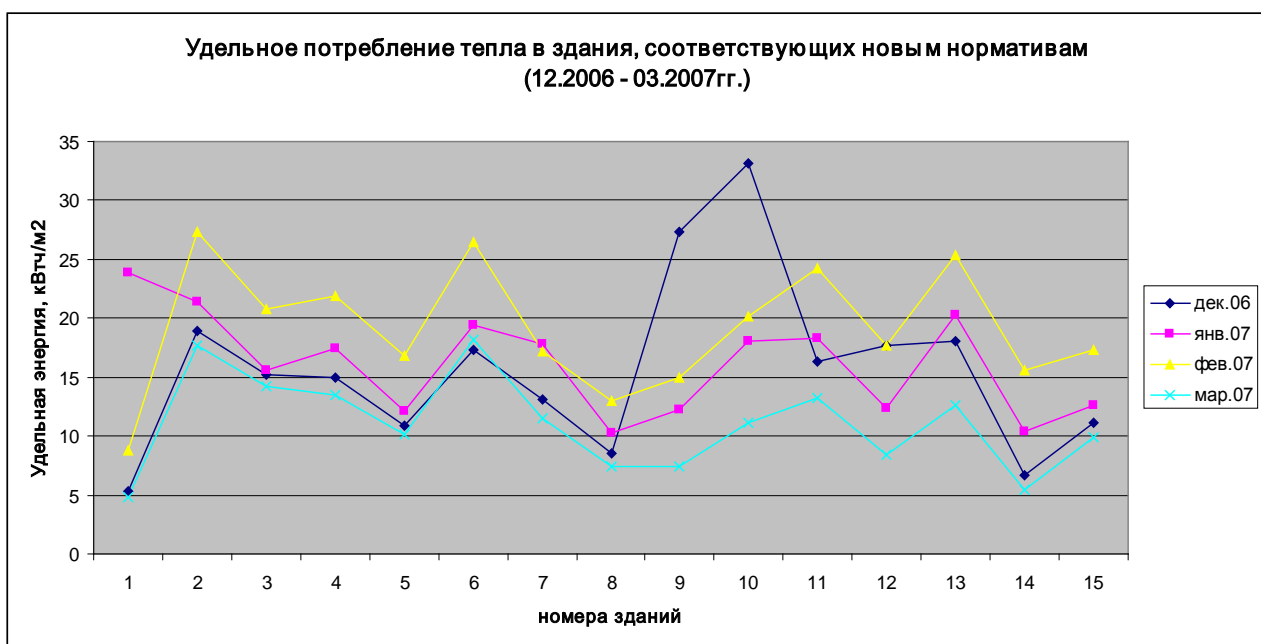


Рисунок 3.2 - Удельное потребление тепла на отопление в зданиях, соответствующих новым нормативам (12.2006 - 03.2007 гг. строительства), кВтч/м² в месяц.

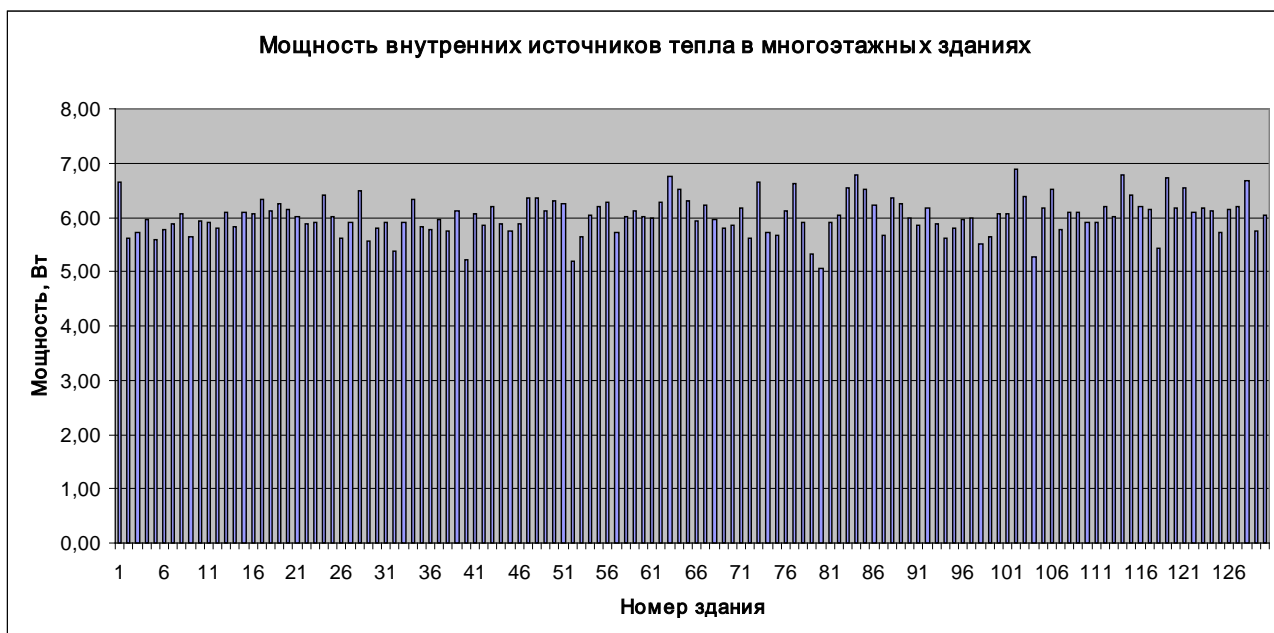


Рисунок 3.3 - Диаграмма значений удельной мощности внутренних источников тепла для зданий с газовыми плитами, Вт/м².

3.2.22 В таблице 3.2 представлены предварительно рассчитанные значения удельных тепловых потерь и коэффициента удельных тепловых потерь для зданий различного типа.

Таблица 3.2 - Значения удельных тепловых потерь и коэффициента удельных тепловых потерь для зданий различного типа

Тип зданий	Старый жилой фонд	Новые здания	Соответствующие изменению, /6/	Энергоэффективные
Величина теплопотерь, кВтч/м ² в год	150	110	85	65
Коэффициент удельных тепловых потерь здания, Вт/м ² град	1,66	1,22	0,94	0,72

3.2.23 Для решения задачи определения f_1 и f_2 дополнительно к значениям расхода тепловой энергии на отопление для различных измерительных интервалов, информация о которой имела (см. рисунки 3.1, 3.2) в соответствии с уравнением (3.5) необходима информация о значениях ΔT_i , т. е., о среднем значении разности температур воздуха в помещении и наружной температуры. Информация о температуре воздуха в здании отсутствовала. Однако, известные значения мощности внутренних

источников тепла для каждого здания, информация о которых представлена на рис. 3, позволяют получить для каждого здания из решения системы уравнений (3.5) коэффициента удельных тепловых потерь и средней температуры воздуха в здании.

3.2.24 Для известных значений удельной мощности источника отопления в каждом месяце и для известных значений средней температуры наружного воздуха для каждого интервала измерений выполнялось решение системы уравнений (3.5) относительно f_1 и f_2 . Так как значение мощности внутренних источников тепла для каждого здания было известно, значение температуры воздуха в здании определялось методом последовательных приближений. Температура воздуха выбиралась таким образом, чтобы удельная мощность внутренних источников тепла для здания, рассчитанная из (3.5), совпала с известным для этого здания значением. Дополнительно принималось условие, что температура воздуха в зданиях для самого холодного месяца (февраля в данном случае) была равна 18°C . Это условие соответствует практики недотопа в холодные месяцы. Таким образом, были рассчитаны значения общего коэффициента теплопередаче и средней температуры воздуха для каждого из зданий.

3.2.25 На рисунке 3.4 приведен график значений общего коэффициента теплопередаче для зданий старого жилого фонда, рассчитанных из уравнения (3.5) (кривая 1). На этом же рисунке приведены среднее значение характеристики (прямая 2), полученное по этим данным и расчетное теоретическое значение (прямая 2). Обращает на себя факт совпадения среднего значения и теоретического значения (см. таблицу 3.2) для зданий старого жилого фонда. Однако, на графике виден значительный, до 20% разброс значений общего коэффициента теплопередаче. Отклонение от теоретического значения может быть обусловлено как отличиями уровня воздухообмена от нормативных значений, так и несоответствием сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций нормативным требованиям.

3.2.26 На рисунке 3.5 приведен график температуры воздуха для каждого из зданий. Она выше нормативного значения, равного 18°C и находится в интервале оптимальных значений [4].



Рисунок 3.4 - Коэффициент удельных тепловых потерь зданий старого жилого фонда (до 1993 г. строительства), Вт/(м²К).

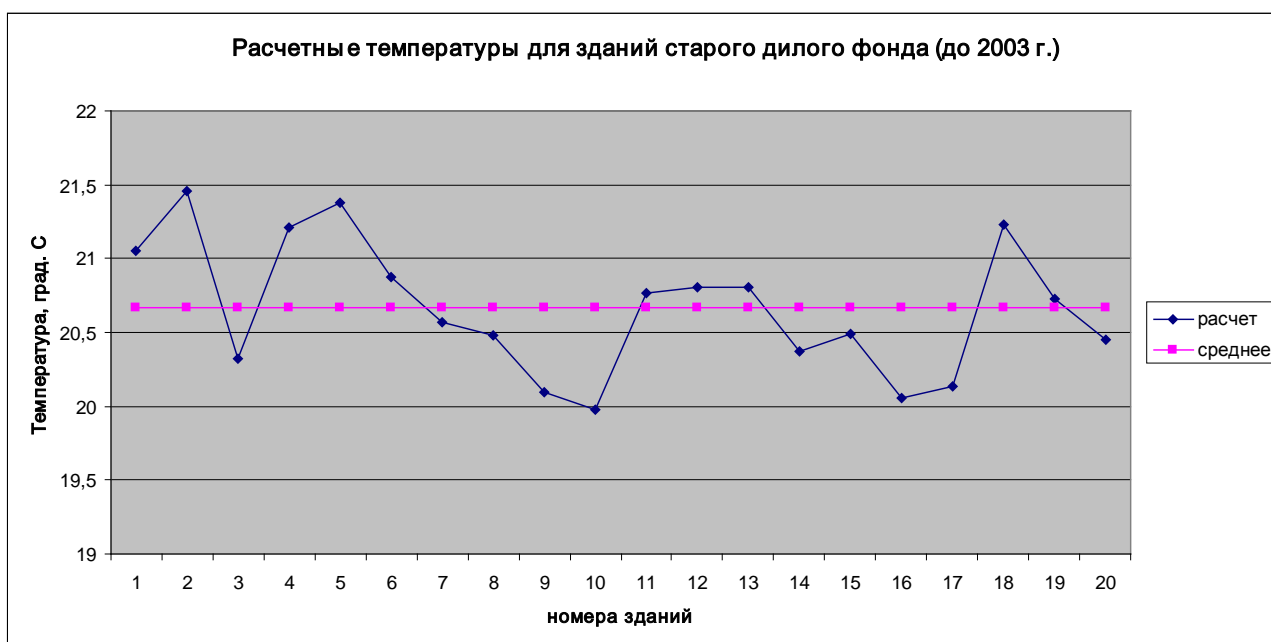


Рисунок 3.5 - Средняя в отопительном сезоне температура воздуха в зданиях до 1993 г. постройки согласно расчету.

3.2.27 На рисунке 3.6 приведены графики значений коэффициента удельных тепловых потерь для зданий нового жилого фонда, рассчитанных из уравнения (3.5) и среднее значение характеристики, полученное по этим данным и расчетное теоретическое значение. Обращает на себя факт совпадения среднего значения и теоретического значения (см. таблицу 3.2) и для зданий нового жилого фонда. На графике также виден значительный, до

30% разброс значений энергетической характеристики от среднего значения, что обусловлено, по-видимому, качеством строительства и уровнем воздухообмена. На рисунке 3.7 приведен график средней температуры воздуха для каждого из зданий. Она выше нормативного значения, равного 18°C и также находится в интервале оптимальных значений [4].

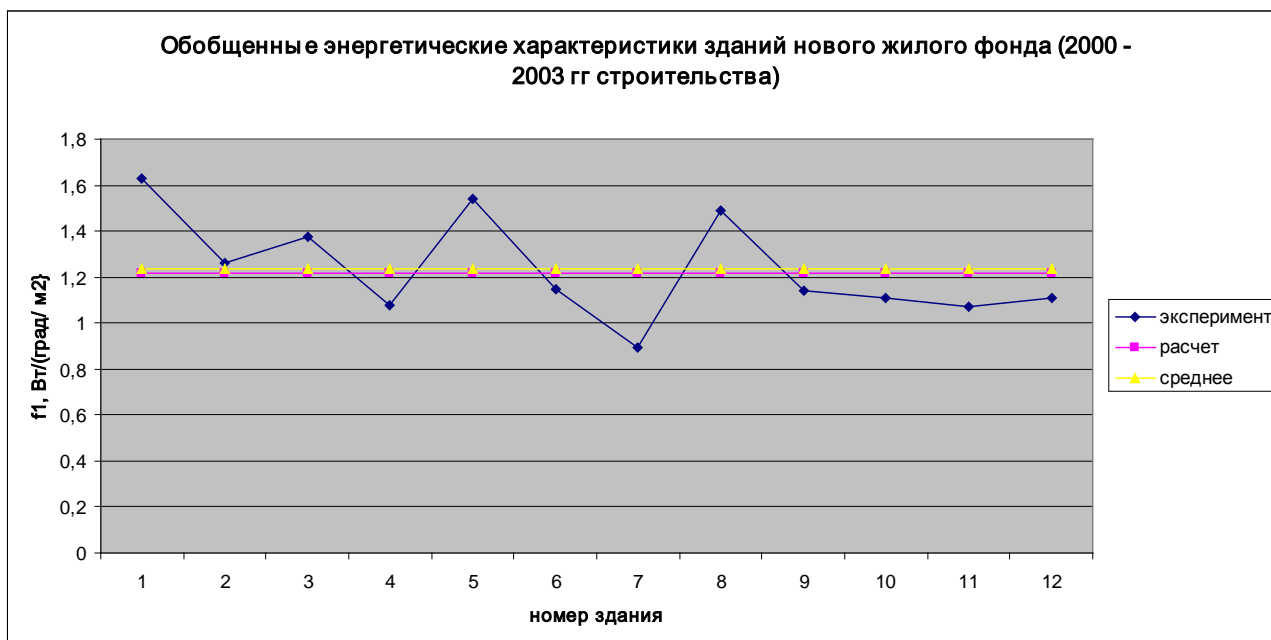


Рисунок 3.6 - Коэффициента удельных тепловых потерь здания нового жилого фонда (2000 - 2003 гг строительства)



Рисунок 3.7 - Средняя в отопительном сезоне температура воздуха в зданиях 2000-2003гг. постройки согласно расчету.

3.2.28 Были выполнены также расчеты среднемесячной температуры в зданиях и их коэффициента удельных тепловых потерь из системы уравнений (3.10) – (3.12), используя при расчете известные значения мощности внутренних источников тепла для каждого из зданий. В этом случае среднеквадратичное значение ошибки в задаваемом значении f_2 можно считать равным $0,3 \text{ Вт/м}^2$, что следует из приведенных в данной статье результатов измерений. Полученные при этом значения коэффициента удельных тепловых потерь для зданий старого жилого фонда практически совпадают с рассчитанными ранее из уравнения (3.5). Однако, система уравнений (3.10) – (3.12) позволяет получить значения средних температур по месяцам отопительного сезона. Рассчитанные из системы уравнений (3.10) – (3.12) значения средней температуры воздуха в зданиях старого жилого фонда представлены на рисунке 3.8, а в новых зданиях на рисунке 3.9. Средняя температура воздуха в феврале для всех зданий была принята равной $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Из графиков следует, что средняя температура воздуха в новых зданиях несколько выше, чем в зданиях старого жилого фонда. Температура воздуха почти во всех зданиях выше нормативного значения, $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Принимая в своих расчетах для определения тепловой нагрузки здания температуру воздуха $18 \text{ }^\circ\text{C}$, мы закладываем ошибку в своих дальнейших выводах. На наш взгляд, целесообразно изменить значение нормативной температуры в жилых зданиях, установив значение, равное $20 \text{ }^\circ\text{C}$, что более соответствует эксплуатационным данным.

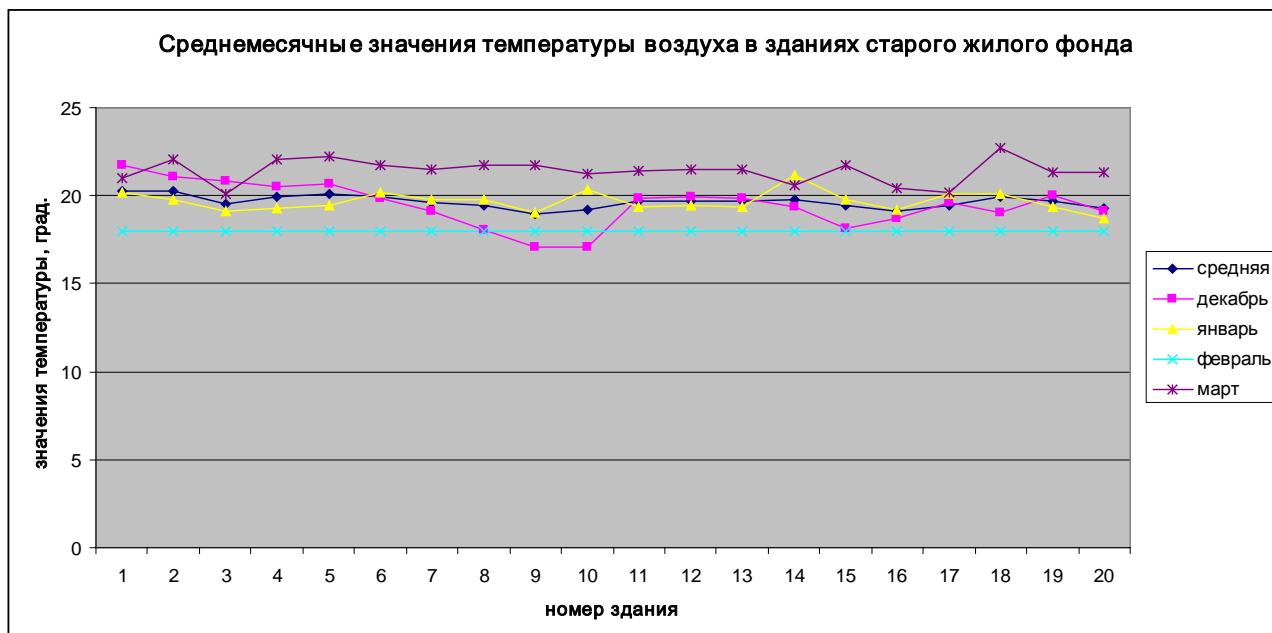


Рисунок 3.8 - Значения среднемесячных температур воздуха в зданиях старого жилого фонда (до 1993 г. постройки).

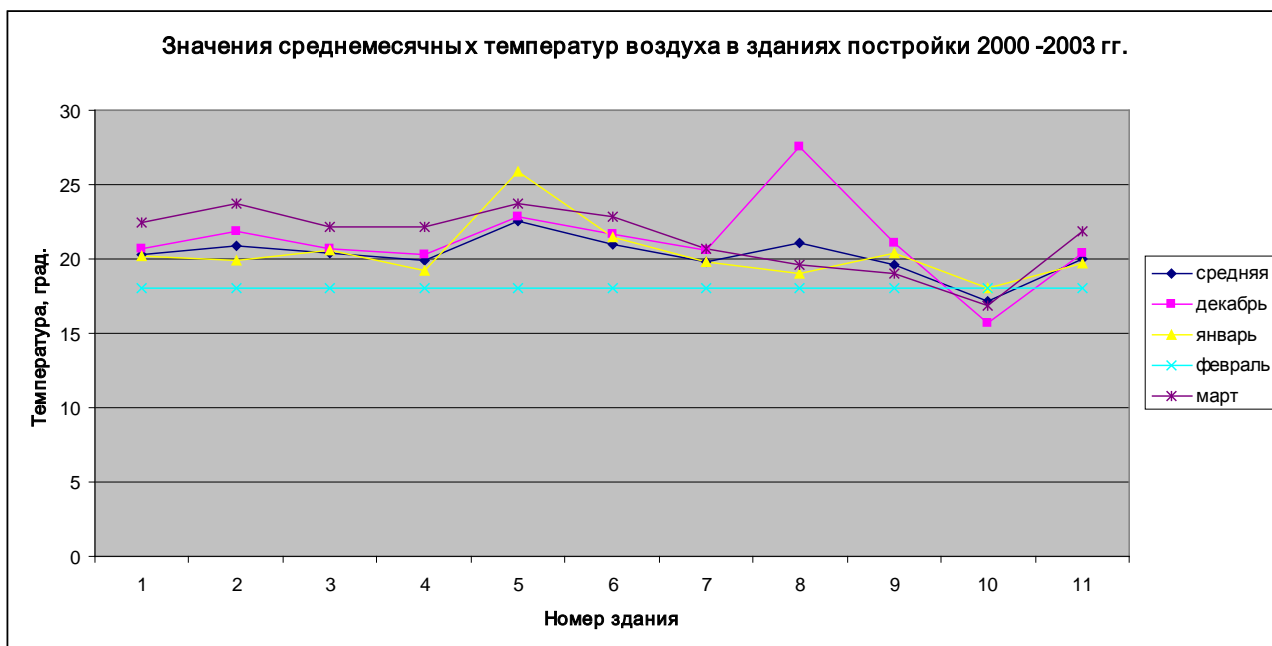


Рисунок 3.9 - Значения среднемесячных температур воздуха в зданиях нового жилого фонда

3.2.29 Расчет погрешности определения теплоэнергетических характеристик зданий.

3.2.30 В соответствии с методикой, изложенной в п. 3.4 была рассчитана статистическая погрешность определения теплоэнергетических характеристик зданий.

3.2.31 На рисунке 3.10 представлены значения статистической погрешности мощности внутренних источников тепла от точности измерения температуры воздуха и мощности источника тепла в здании. Рассматривалось два алгоритма расчета. В варианте расчета 2 использовалась информация, полученная для четырех месяцев отопительного сезона и расчет погрешности определения f_2 выполнялся по формуле (3.10) с использованием алгоритма псевдообращения матрицы. Варианты 1 и 3 – расчет выполнялся для двух измерительных интервалов решением системы двух уравнений, а погрешность определения f_2 вычислялась по формуле (3.18). 1 – разность значений ΔT равна $12,5\text{ }^\circ\text{C}$ (февраль и март месяцы); 3 - разность значений ΔT равна $12,5\text{ }^\circ\text{C}$ (декабрь и январь месяцы). Из результатов, представленных на рисунке, можно сделать вывод, что минимальная погрешность соответствует 1 и 2 вариантам, т. е. случаю использования псевдообращения матрицы и измерению на двух интервалах с максимальным отличием разностей температур воздуха снаружи и внутри здания. При использовании двух интервалов с близкими значениями разности температур ошибка определения значений f_1 и f_2 резко возрастает.

3.2.32 На рисунке 3.11 представлены значения статистической погрешности коэффициента удельных тепловых потерь здания от точности измерения температуры воздуха и мощности источника тепла в здании. Рассматривалось три алгоритма расчета. Вариант 1 – известно значение f_2 , расчет погрешности определения f_1 выполнялся по формуле (3.17). В варианте расчета 2 использовалась информация, полученная для четырех месяцев отопительного сезона и расчет погрешности определения f_1 выполнялся по формуле (3.10). Варианты 1 и 3 – расчет выполнялся для двух измерительных интервалов, погрешность определения f_1 вычислялась по формуле (3.15) 1 – разность значений ΔT равна 12,5 °С (февраль и март месяцы); 3 – разность значений ΔT равна 12,5 °С (декабрь и январь месяцы). Из результатов, представленных на рисунке, можно сделать вывод, что минимальная погрешность соответствует 2 и 3 вариантам, т. е. случаю использования псевдообращения матрицы и измерению на двух интервалах с максимальным отличием разностей температур воздуха снаружи и внутри здания.

3.2.33 На рисунке 3.12 представлена погрешность определения температуры в здании в случае известного значения f_2 .

3.2.34 Из информации, представленной на рисунках, можно сделать вывод, что наибольшей точности измерений можно достигнуть при наличии информации о мощности внутренних источников тепла в здании. В этом случае возможно определение общего коэффициента теплопередачи здания с относительной погрешностью менее 1%, а температуры в помещениях здания – с точностью менее 1°С.

3.2.35 При измерении двух параметров, f_1 и f_2 необходимо выбирать интервалы измерений, максимально различающиеся по разности значений температуры наружного воздуха и воздуха в здании. Возможно выполнение измерений по двум измерительным интервалам или по большему количеству измерительных интервалов с использованием метода псевдообращения матрицы. Для достижения относительной точности измерений менее 5% среднеквадратичная погрешность определения средней температуры на интервале не должна превышать 0,25 °С, а мощности отопления – 0,25 Вт. Если учесть, что точность измерителей температуры менее 1°С, а счетчиков тепла – менее 3%, то при усреднении измерительной информации необходимая точность легко достижима. Среднеквадратичное значение среднего значения некоррелированной выборки n значений случайной величины равно (3.22):

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}}, \quad (3.22)$$

где σ_1 – среднеквадратичное отклонение результата при единичном измерении.

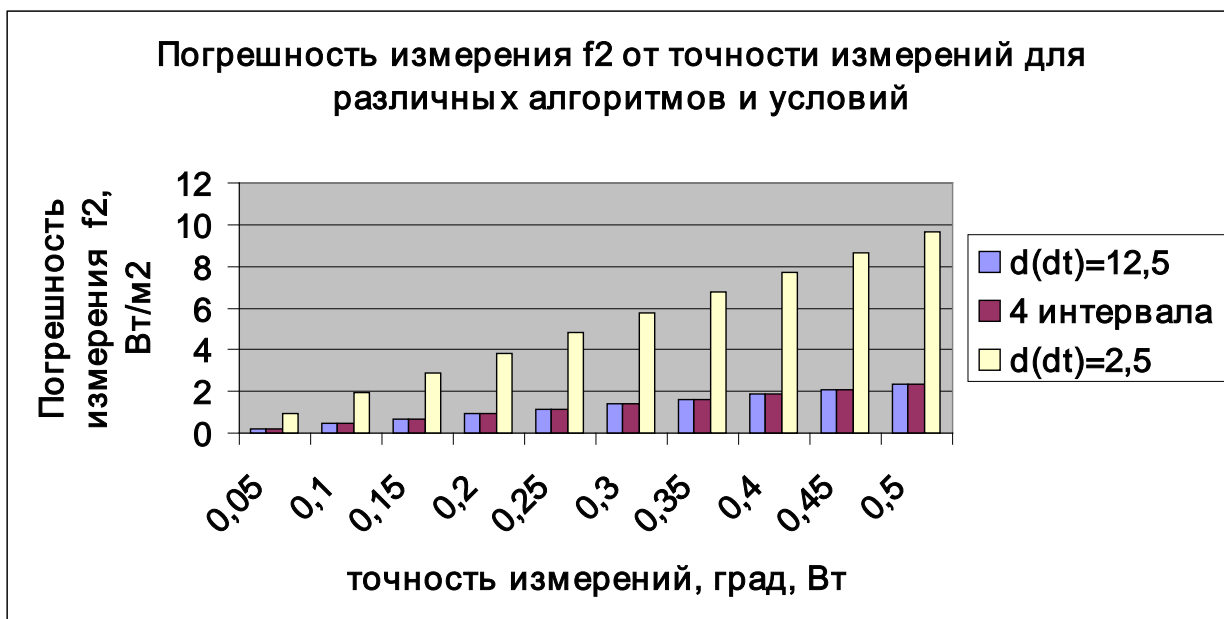


Рисунок 3.10 - Статистическая погрешность определения мощности внутренних источников тепла от точности измерения температуры воздуха, °С и мощности источника тепла в здании, Вт.

$f_2 = -6,5$. Варианты 1 и 3 – расчет для двух измерительных интервалов. 1 – разность значений ΔT равна $12,5^\circ\text{C}$ (февраль и март месяцы); 3 – разность значений ΔT равна $12,5^\circ\text{C}$ (декабрь и январь месяцы). Вариант 2 – использовалась информация, полученная для четырех месяцев отопительного сезона.

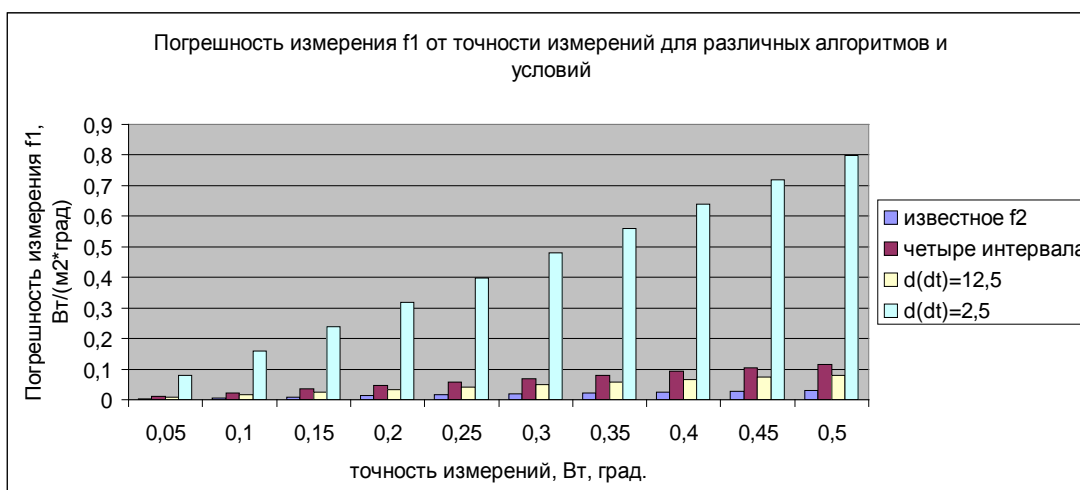


Рисунок 3.11. Статистическая погрешность определения коэффициента удельных тепловых потерь здания от точности измерения температуры воздуха, °С и мощности источника тепла в здании, Вт f_1 для различных условий и алгоритмов измерения.

$F1=1,97$. Вариант 1 – известно значение f_2 ; Варианты 3 и 4 – расчет для двух измерительных интервалов. 3 – разность значений ΔT равна $12,5^\circ\text{C}$ (февраль и март месяцы); 4 – разность значений ΔT равна $12,5^\circ\text{C}$ (декабрь и январь месяцы). Вариант 2 – использовалась информация, полученная для четырех месяцев отопительного сезона.

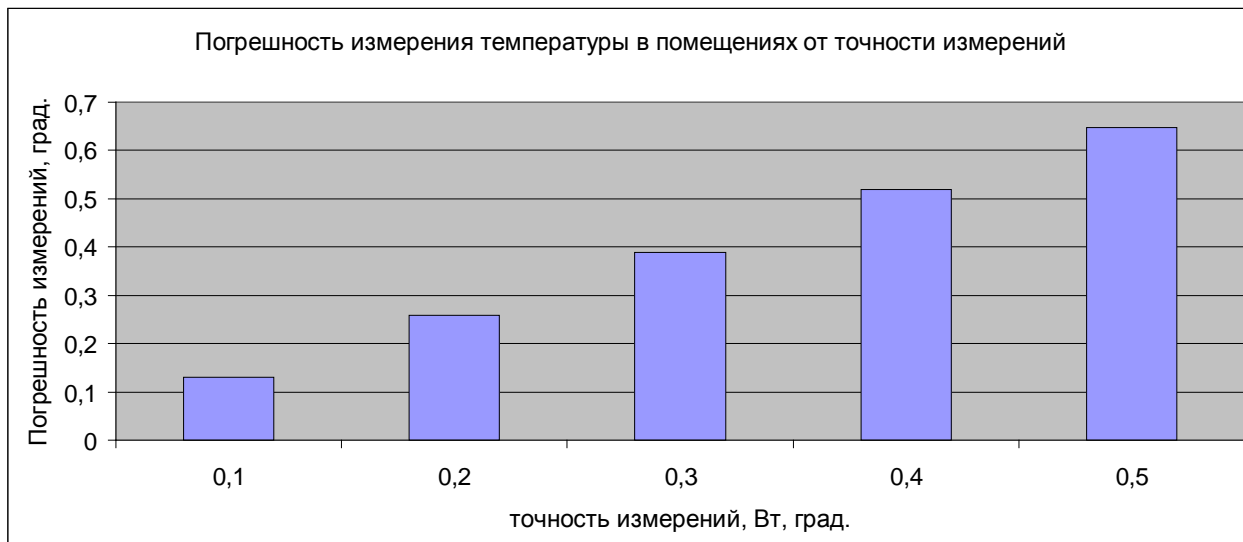


Рисунок 3.12. Погрешность определения температуры в здании в случае известного значения f_2 .

3.3 Определение коэффициента удельных тепловых потерь эксплуатируемого здания в случае общего учета тепловой энергии.

3.3.1 Энергию на подогрев горячей воды рассчитывают исходя из объема нагреваемой воды, средней температуры холодной воды за отопительный сезон, которая принимается равной 5°C и нормативному значению температуры горячей воды, равному 55°C . По объему потребленной горячей воды, которую определяют по отдельному счетчику расхода, по формуле (3.23) определяют количество тепловой энергии, затраченной для этой цели.

$$Q_{\text{в}} = V \cdot \Delta T / 1000, \quad (3.23)$$

где $Q_{\text{в}}$ – тепловая энергия, затраченная для подогрева горячей воды, Гкал;

V – объем потребленной горячей воды, м^3 ;

$\Delta T_{\text{ов}} = 50^\circ\text{C}$ – разность температур горячей и холодной воды

3.3.2 Исследования среднего потребления горячей воды, приведенные в [4], показали, что для многоэтажных зданий, оборудованных

индивидуальными (по квартирам) счетчиками потребления горячей воды среднее значение равно 70 л/(чел. в сутки). По среднему за сутки объему потребленной в течение года горячей воды определяют количество людей, проживающих в здании по формуле (3.24).

$$N=V_{\text{сут}}/70 \quad (3.24)$$

3.3.3 И заселенность здания S_3 по формуле (3.25):

$$S_3=S_0/N, \quad (3.25)$$

S_0 – общая отапливаемая площадь здания, м^2 .

3.3.4 По значению S_3 определяют мощность внутренних источников $P_{\text{вн}}$ тепла по формуле (3.26):

$$P_{\text{вн}}=P_0 * S_3/ S_{30}, \quad (3.26)$$

3.3.5 Удельное количество тепловой энергии, даваемое внутренними источниками теплоты за отопительный сезон равно (3.27):

$$q_{\text{вн}}= P_{\text{вн}} * 24 * N_{\text{от}}/1000 \quad (3.27)$$

где $q_{\text{вн}}$ - Удельное количество тепловой энергии, даваемое внутренними источниками теплоты за отопительный сезон, $\text{кВтч}/\text{м}^2$ за отопительный сезон;

$N_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного сезона, суток;

$q_{\text{вн0}}=30 \text{ кВтч}/\text{м}^2$ за отопительный сезон длительностью 199 суток.

3.3.6 Среднее потребление тепловой энергии на отопление определяют по формуле (3.28), вычитая из общей потреблённой зданием за отопительный сезон тепловой энергии количество энергии, затраченное на приготовление горячей воды:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i - \frac{1}{20} \sum_{i=1}^n V_i \quad (3.28)$$

где Q – суммарная энергия на отопление здание, Гкал;

Q_i – затраты тепловой энергии по месяцам отопительного сезона, Гкал;

V_i – расход горячей воды по месяцам отопительного сезона, м^3 .

3.3.7 Удельные затраты тепловой энергии , пересчитанные в $\text{кВтч}/\text{м}^2$ в год в расчёте на м^2 рассчитываем по формуле (3.29):

$$q_{\text{уд}} = \frac{Q}{S} \cdot 1156 - Q \quad q_{\text{уде}} = \frac{Q}{S_{\text{зде}}} \cdot 1156 - Q_{\text{пол5}}$$

(3.29)

где $Q_{\text{пол}}$ – тепловая энергия, потребленной полотенцесушителем в ванной комнате, $\text{кВтч}/\text{м}^2$ в год;

$S_{\text{зд}}$ – отапливаемая площадь здания, м^2 .

3.3.8 Вкладом полотенцесушителя в отопление здания можно пренебречь, т. к. теплота, выделяемая полотенцесушителем, нагревает воздух в ванной комнате до 25°C , который удаляется из квартиры через вентиляционную шахту наружу.

3.3.9 Средняя мощность полотенцесушителя равна 58 Вт, что дает в течение отопительного сезона около 100 кВтч тепловой энергии или около $1,4 \text{ кВтч/м}^2$ отапливаемой площади за отопительный сезон.

3.3.10 По второму способу можно воспользоваться методикой определения значения удельной тепловой характеристики здания [8]. В предположении, что средняя температура воздуха в здании в течение отопительного сезона остается постоянной, значение удельной тепловой характеристики здания можно найти по формуле (3.30):

$$F = (Q_i/n_i - Q_j/n_j - 0,05(V_i/n_i - V_j/n_j)) / (T_{ni} - T_{nj}) / S_{зд} / 24 * 1,156, \quad (3.30)$$

где F - удельная тепловая характеристика здания, Вт/($\text{м}^2\text{K}$);

n_i, n_j - количество суток в месяце;

T_{ni} и T_{nj} - температура наружного воздуха в соответствующем месяце;

3.3.11 В этом случае удельные затраты тепловой энергии на отопление здания в отопительном сезоне для нормативных условий равны (3.31):

$$q_{удн} = f_1 * 199 * 24 * 18,9 - 30 \text{ кВтч/м}^2 \text{ в год} \quad (3.31)$$

а для конкретных условий отопительного сезона рассчитываются по формуле (3.32):

$$q_{удн} = f_1 * N_{от} * 24 * (T_{вн} - T_n) - q_{вн} \text{ кВтч/м}^2 \text{ в год} \quad (3.32)$$

3.4 Исследование эксплуатационных характеристик энергоэффективного здания по ул. Притыцкого, 107 в г. Минске

3.4.1 Здание по ул. Притыцкого, 107 в г. Минске находится в эксплуатации шестой отопительный сезон. Ранее, [4] был выполнен анализ удельного потребления тепловой энергии на отопление квартир в отопительных сезонах 2008-2009 и 2009-2010 гг. В то же время, в анализе упущен важный момент, характеризующий здание в целом, удельное потребление тепловой энергии на отопление всего здания, с учетом мест общего пользования.

3.4.2 В качестве исходных данных для анализа были взяты значения среднемесячных температур в отопительных сезонах 2010 – 2013 гг приведенные в таблице 3.3, объем потребленной в здании горячей воды, таблица 3.4 и значения потребленной тепловой энергии для целей отопления и вентиляции, а также горячего водоснабжения здания, приведенные в

таблице 3.5. Эти данные позволяют выполнить анализ теплотехнических характеристик здания в соответствии с разработанной методикой.

Таблица 3.3 - Значения среднемесячных температур в отопительных сезонах 2009 – 2013 гг

год месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
год	2009			2010			
T ⁰ C	4,59	3,55	4,16	11,10	4,80	0,25	8,50
год	2010			2011			
T ⁰ C	4,13	4,12	7,29	3,80	8,17	0,30	8,40
год	2011			2012			
T ⁰ C	6,15	2,29	1,06	5,02	10,42	0,99	8,08
год	2012			2013			
T ⁰ C	6,89	3,60	5,80	7,34	1,99		

3.4.3 Обработка данных по потреблению горячей воды в соответствии с методикой, приведенной выше, позволяет сделать вывод о том, что заселенность здания с каждым годом увеличивается, приводя к увеличению энергии внутренних источников тепла в энергоснабжении здания. Это должно привести к последовательному снижению потребления тепловой энергии на отопление здания по мере постепенного заселения и увеличения энергии внутренних источников теплоты.

Таблица 3.4 - Потребление горячей воды в здании по ул. Притыцкого, 107, в г. Минске

	2010	2011	2012
	м ³	м ³	м ³
Январь	668	987	885
Февраль	722	651	795
Март	715	898	825
Апрель	700	768	813
Май	670	733	838
Июнь	387	603	700
Июль	470	588	729
Август	490	603	759
Сентябрь	739	1071	1224
Октябрь	737	469	812

Ноябрь	820	832	857
Декабрь	828	826	840
Среднемесячное	662,1	752,4	916,75
Среднесуточное	22,07	25,1	30,5
Количество жильцов	315,3	358,3	435,4
Заселенность, м ² /чел	31,75	27,9	23,0
q _{вн} кВтч/м ² в год	21	23,6	28,6

3.4.4 В таблице 3.5 приведены теплоэнергетические характеристики здания в отопительном сезоне 2010 – 2011 гг., а в таблице 3.6 те же данные за отопительный сезон 2011 – 2012 гг. Сравнение результатов расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление показывает снижение значения этой величины для расчетных условий в отопительном сезоне 2011 – 2012 гг. Это свидетельствует о том, что жители в последнем сезоне более осознанно подходят к эксплуатации здания, что дало в результате улучшение удельных показателей здания. Здание можно отнести к классу А [5] по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию.

Таблица 3.5 Теплоэнергетические характеристики здания в отопительном сезоне 2010 – 2011 гг.

Месяцы		Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Средние затраты тепла, Гкал/день		3,04	3,37	5,54	4,30	5,69	4,17	2,48
Средние затраты без нагрева горячей воды Гкал/день		1,97	2,09	4,21	2,71	3,98	2,71	1,27
Удельная тепловая характеристика кВтч/м ² *К		0,00085						
Удельные теплопотери здания кВтч/м ² *К		Удельные затраты тепловой энергии на отопление для расчетных условий кВтч/м ² *К			Удельные затраты тепловой энергии на отопление для условий отопительного сезона кВтч/м ² *К			
для расчетных условий	для условий отопительного сезона	39,20			39,65			
76,7	67,25							

Таблица 3.6 - Теплоэнергетические характеристики здания в отопительном сезоне 2011 – 2012 гг.

Месяцы	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Средние затраты тепла, Гкал/день	2,65	3,37	4,14	4,93	5,68	3,79	2,54
Средние затраты без нагрева горячей воды Гкал/день	1,97	2,43	2,81	3,50	4,26	2,46	1,27
Удельная тепловая характеристика кВтч/м ² *К	0,00068						
Удельные теплопотери здания кВтч/м ² *К		Удельные затраты тепловой энергии на отопление для расчетных условий кВтч/м ² *К		Удельные затраты тепловой энергии на отопление для условий отопительного сезона кВтч/м ² *К			
для расчетных условий	для условий отопительного сезона	30		34			
61,4	60,02						

3.4.5 Таким образом, предложенная методика позволяет проводить измерение коэффициента удельных теплопотерь здания при совместном учете тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Для энергоэффективного здания представленные результаты позволяют проследить изменение заселенности энергоэффективного здания и определить его теплотехнические характеристики, которые совпадают с проектными значениями в [14].

Заключение

Исследования, выполненные в данном отчете позволяют сделать следующие выводы.

Испытания строительных конструкций на значение сопротивления теплопередаче целесообразно проводить в климатической камере. В этом случае можно выполнить измерения с высокой точностью.

Измерения сопротивления теплопередаче в натуральных условиях трудоемки, т. к. требуют длительного времени и определенных погодных условий. При этом достижимая точность измерений превышает 15%. Измерения выполняют в одной или нескольких точках ограждающей конструкции, что не дает возможности судить о состоянии всех наружных ограждающих конструкциях в целом.

Тепловизионный контроль не решает задачу количественного определения значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, а позволяет выявить проблемные участки ограждений с пониженным относительно остальных сопротивлением теплопередаче.

Анализ различных методов определения теплотехнических характеристик зданий показал, что коэффициент удельных теплопотерь здания является универсальной характеристикой, позволяющей сравнивать здания по своей энергоэффективности [4]. Измерение этой характеристики для эксплуатируемых зданий позволяет дать оценку качеству строительных работ и выполнить энергетическую паспортизацию зданий.

Предложенная в отчёте методика [9] 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. Для этой цели необходимо определить значения расхода тепла на отопление и температуры в течение двух или более интервалов времени в период отопительного сезона с различающейся температурой наружного воздуха. Длительность интервалов должна быть много больше значения постоянной времени остывания здания.

Результаты обработки экспериментальных данных для зданий старого жилого фонда и новой постройки по предложенной методике подтвердило ее работоспособность и позволило получить значения обобщенного коэффициента теплопередаче, причем, средние значения рассчитанной по экспериментальным данным величины по группам зданий практически совпадают с теоретическими, рассчитанными для этих групп.

В то же время для выбранных зданий, имеется значительный, до 20%, разброс значений характеристики от средних значений.

Для известных значений мощности внутренних источников тепла решена задача определения средней температуры воздуха в здании. Рассчитанные в соответствии с предложенной методикой значения средней температуры воздуха в зданиях дали значения в диапазоне 20 – 22 °С, то - есть в диапазоне оптимальных значений температуры.

Разработана методика определения статистической погрешности экспериментального измерения энергетических характеристик зданий. Расчеты показали, что для существующей приборной базы измерений может быть достигнута точность измерения не превышающая 5%.

Методика [9] может быть использована для выполнения работ по энергетической паспортизации зданий.

Список литературы

1. ТКП 45-2.04-43-2006(02250)Строительная теплотехника, Минск, 2007г.
2. Изменение №1 к ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования., Минск, 2006г.
3. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, Минск, 1996 г.
4. Данилевский Л. Н., Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий. «Бизнесофсет», Минск, 2011 г., 375 с.
5. ТКП 45-2.04-196-2010 Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения Минск, 2010 г.
6. , 2010 г.
7. ГОСТ Измерение сопротивления
8. Тепловизионный контроль
9. Данилевский, Л.Н. Способ определения теплоэнергетических характеристик здания / Л.Н. Данилевский// Заявка на получение патента на изобретение от 20.12.2010 г. № а20101504 МПК(2009) F16L 59/00? F24D 10/00
- 10.СНиП II-3-79. Строительная теплотехника, Москва, 1980 г.
- 11.СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. Москва, 2004 г.
- 12.Energieeinsparverordnung (EnEV), Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen BRD vom 16. November 2001.
- 13.Богословский В.Н., Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха),Изд. 3-е С.-П., «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД», 2006 г., с. 400.
- 14.Гантмахер Ф.Р.. Теория матриц. - Москва, 1953 г., 492с.
- 15.Разработать методику и технические средства, определить фактические энергетические характеристики жилых зданий, подготовить и внести изменения в существующие нормативы. Заключительный отчет о НИР 2009.ОТ.034 НИР. № Госрегистрации 20065149. Государственное предприятие «Институт НИПТИС им. Атаева С. С.», 2009 г., 120 с.
- 16.СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология

17.СНБ 3.02.04-03 Жилые здания