

Программа развития Организации Объединенных Наций
(ПРООН)

Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПЫТ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ
ЖИЛЫХ ДОМОВ С УЧЕТОМ ТИПОВЫХ СХЕМ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Исполнитель:

Эксперт по вопросам
теплоснабжения зданий

В.М.Пилипенко

Минск,
июнь 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ЗДАНИЕ КАК ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	4
1.1 Формирование и расчет тепловлажностных характеристик ограждающих конструкций жилых зданий	8
1.2 Проектирование теплозащиты ограждающих конструкций жилых зданий	14
1.3 Вторичные и возобновляемые источники энергии в системах отопления и горячего водоснабжения.....	21
1.4 Эффективность использования вторичных и возобновляемых источников энергии	36
2 СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	38
2.1 Централизованное теплоснабжение	40
2.2 Районные системы теплоснабжения	42
2.3 Модульные, крышные котельные	43
2.4 Индивидуальные котельные установки	44
3 ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	57

ВВЕДЕНИЕ

Жилищный сектор Республики Беларусь потребляет более 35% суммарных энергоресурсов страны – это более 12.5 млн. тонн условного топлива.

В последние годы промышленно развитые страны приняли радикальные меры по повышению энергоэффективности жилых зданий, включая строительство энергоэффективных жилых домов и повышение сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий, комплексную реконструкцию эксплуатируемого жилого фонда и пр. особенно активно в этом направлении работают Скандинавские страны, ФРГ, страны Балтии, Польша, близкие по климатическим условиям с Республикой Беларусь.

В Республике Беларусь, в последнее десятилетие, также активно велись работы по переводу отрасли на строительство энергоэффективного жилья. Проведена значительная работа по гармонизации нормативной базы в области жилищного строительства с нормативной базой Евросоюза, построено ряд экспериментальных энергоэффективных жилых зданий, налажен выпуск необходимого энергоэффективного оборудования.

Вместе с тем достаточного опыта использования возобновляемых и вторичных источников энергии для энергообеспечения зданий в республике не имеется.

При проектировании и эксплуатации энергоэффективных жилых зданий весьма важно подходить с позиций понимания, что жилое здание – это энергетическая система, которая не только использует энергию, но и является ее источником.

Энергетические характеристики жилого здания формируются под влиянием различных факторов, таких как: климатические, архитектурные, конструктивные, эффективности систем жизнеобеспечения, правильной эксплуатации и пр.

При проектировании жилых зданий важно понимать и учитывать тепловлагозащитные свойства ограждающих конструкций, прогресс формирования микроклимата внутри жилых помещений, влияние на микроклимат окружающей среды и пр.

1 ЗДАНИЕ КАК ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Современное энергоэффективное здание представляет собой сложную энергопотребляющую систему с многообразием составляющих его элементов, в которых протекают различные по физической сущности процессы поглощения, превращения и переноса энергии. В настоящее время для построения и реализации математических моделей сложных энергетических объектов, к которым может быть отнесено здание, используется методология системного подхода [1].

Системный подход при понимании сущности и построении физико-математической модели теплового режима здания предполагает выполнение следующих этапов:

1) выделение из общей энергопотребляющей системы рассматриваемого объекта. Например, выделение здания из микрорайона или отдельного корпуса, помещения в жилом или общественном здании;

2) выяснение состава элементов, их внутренней структуры и видов связей между ними;

3) расчленение объекта с помощью метода декомпозиции на более простые элементы и его последующее восстановление;

4) разработка системы взаимосвязанных физико-математических моделей отдельных элементов здания и обобщенной физико-математической модели теплового режима здания в целом.

Технический прогресс приводит к появлению большого многообразия архитектурных, объемно-планировочных и конструктивных решений зданий как в новом строительстве, так и при реконструкции, с существенно различными особенностями формирования теплового режима в помещениях, обусловленными их технологическим назначением и применяемыми системами регулирования микроклимата. Основной предпосылкой для использования в рамках системного подхода метода декомпозиции является наличие ограниченного числа основных типовых элементов, из которых складывается здание как единая теплоэнергетическая система. В качестве основных элементов здания как единой теплоэнергетической системы следует принимать: совокупность показателей наружного климата, лучистый теплообмен в помещении, конвективный теплообмен в помещении (в том числе с учетом источников тепла), тепло- и массоперенос через ограждающие конструкции, тепло-инерционность оборудования, находящегося в помещении, тепловой режим помещения в целом. При этом отдельные редко встречаемые элементы требуют специального учета.

Тепловой режим помещения формируется под влиянием разнообразных источников и стоков тепла, которые различаются по изменению во времени и способу передачи тепла.

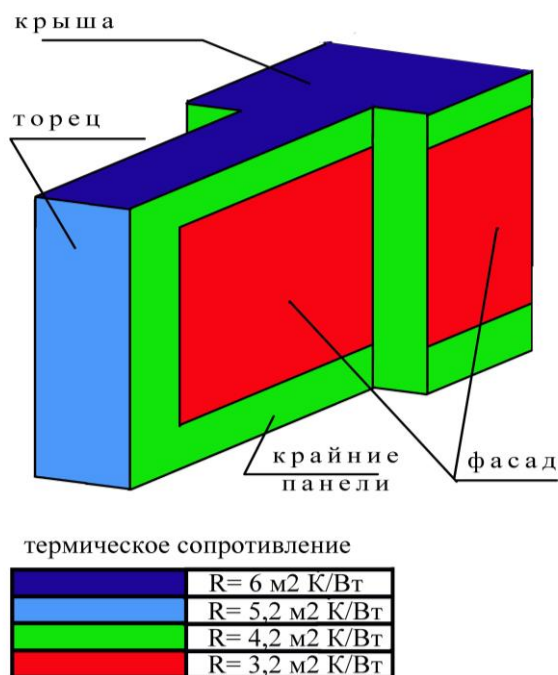


Рисунок 1.1 – Уровень теплопотерь по фасаду многоэтажного жилого дома

Опыт проектирования и строительства экспериментальных энергоэффективных зданий свидетельствует о том, что увеличивая сопротивление до $R = 10 \text{ }^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}$ и более можно достичь состояния, когда внутренних источников энергии может быть достаточно для создания комфортных условий проживания.

Однако мероприятия по повышению теплотехнических характеристик жилых зданий достаточно капиталоемки, требуют значительных трудовых затрат, материальных и финансовых ресурсов. Они имеют две составляющие - экономическую и техническую.

Экономическая составляющая заключается в обосновании экономически целесообразного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий, которое определяется с учетом изменения стоимости материалов, строительно-монтажных работ и особенно энергоресурсов.

Техническая составляющая - это выбор наиболее эффективного конструктивно-технологического решения снижения энергопотребления, включая устройство теплозащиты наружных стен.

На рисунке 1.1 представлены данные о теплопотерях квартир, расположенных в различных частях многоэтажного здания. Данные

получены на основе выполненных специалистами УП «Институт НИПТИС» замеров и расчетов распределения теплотерь в типовом жилом крупнопанельном доме.

Выполненные расчеты свидетельствуют о значительном отличии теплотерь квартир, расположенных в различных частях жилого здания[2]. Об этом говорят и зарубежные авторы [3].

Отмеченное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что сопротивление теплопередаче наружных стен должно быть переменным по периметру здания, т.е. выше в тех их частях, где имеют место наибольшие теплотери.

На рисунке 1.2 представлены составляющие теплового баланса зданий. На оси абсцисс приведены значения внутренних источников тепловой энергии в зданиях. Представлены расчетные значения составляющих теплового баланса для зданий различных периодов постройки (первый столбец) и энергоэффективных зданий трех поколений, в их числе:

- соответствующие современным технико-экономическим возможностям строительства (строящиеся в рамках программы энергоэффективного строительства в Республике Беларусь);
- прогноз для энергоэффективных зданий 2015-2020 гг. и 2020-2030 гг. постройки.

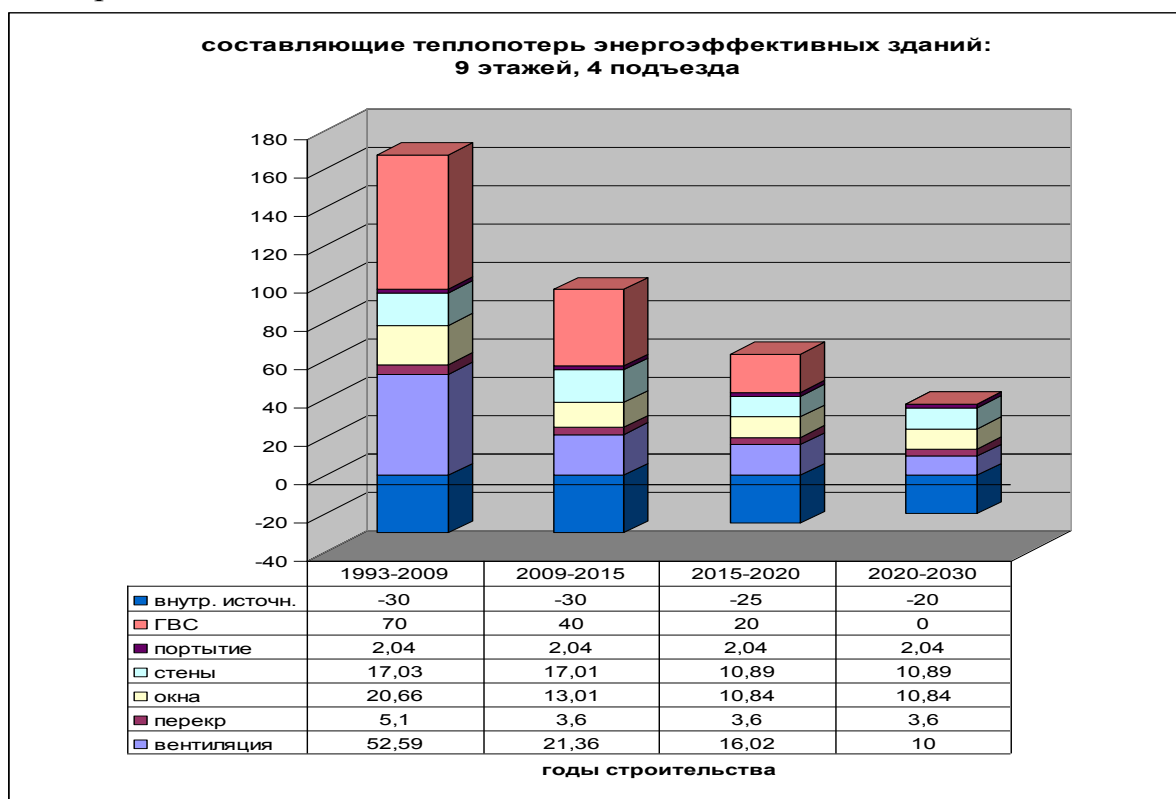


Рисунок 1.2 – Составляющие теплового баланса энергоэффективных зданий в развитии.

Снижение тепловых потерь в современных энергоэффективных зданиях было достигнуто комплексом технических мероприятий, прежде всего, за счет повышения сопротивления теплопередаче оболочки зданий, использования механических систем приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты удаляемого из помещений воздуха и окон нового поколения с сопротивлением теплопередаче больше $1\text{ м}^2\cdot\text{град}/\text{Вт}$.

Следует отметить, что оболочка жилого здания не только защищает его от влияния температурно-влажностных факторов внешней среды, но и обменивается с наружной средой тепловой энергией и влагой, пропуская их через себя.

Комфортные условия для проживания людей в помещениях жилого дома, иными словами температурно-влажностного режима отвечающего санитарно-гигиеническим требованиям при определенных теплотехнических характеристиках оболочки здания, теплотерях и теплоступлениях в здание поддерживаются инженерными системами, прежде всего системами отопления, вентиляции, кондиционирования (см. рис. 1.3).

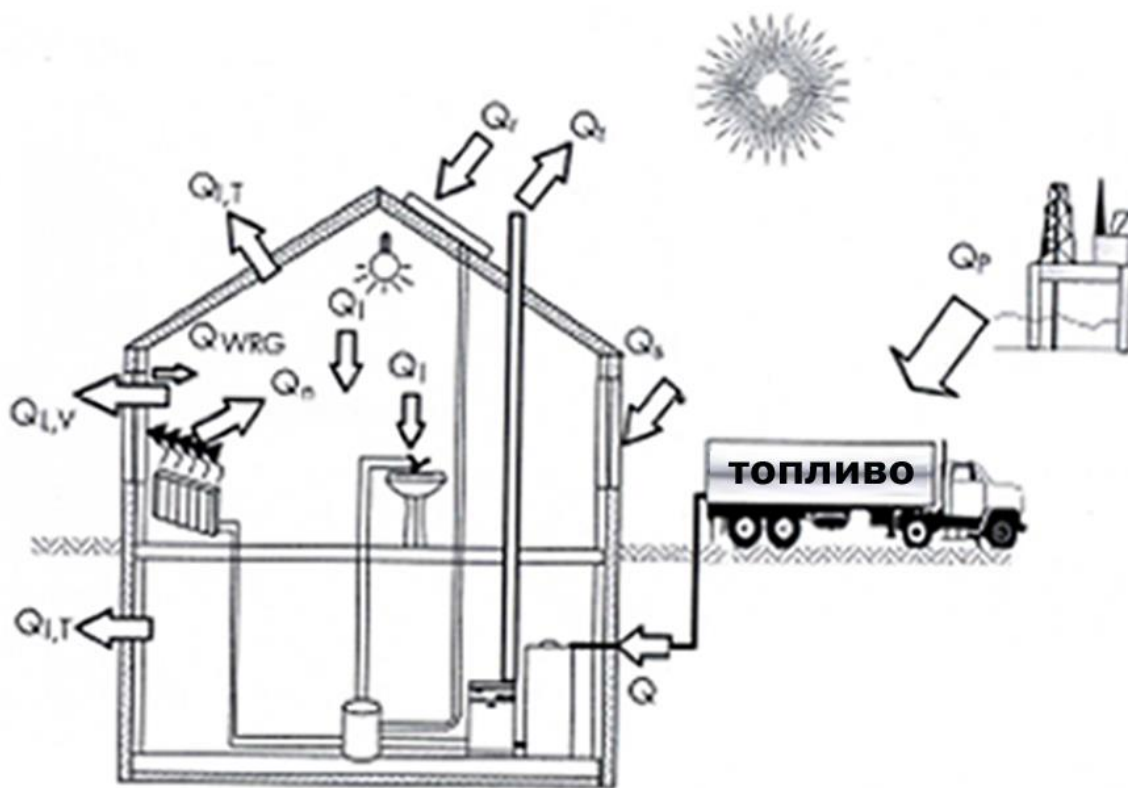


Рисунок 1.3 – Схема энергопоступления и энергопотерь жилого дома.

Проблема снижения энергозатрат при эксплуатации жилищного фонда в последние годы потребовала поиска технических решений, позволяющих активно использовать для энергообеспечения жилых зданий вторичных и возобновляемых источников энергии.

1.1 Формирование и расчет тепловлажностных характеристик ограждающих конструкций жилых зданий

Потери тепловой энергии происходят в достаточно большом количестве через ограждающие конструкции жилых зданий. При теплотехнических расчетах наружных ограждающих конструкций принимается случай стационарных тепловлажностных условий, при этом рассматриваются как постоянные теплофизические свойства материала ограждающей конструкции, тепловой поток, температура. В этом случае процесс теплопроводности определяется уравнением Фурье (1).

$$g_T = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

где g_T - плотность теплового потока, проходящего через ограждение, Вт/м²;

λ – теплопроводность материала, Вт/м⁰С;

t – изменяющаяся температура вдоль оси перпендикулярной ограждению;

$\frac{dt}{dx}$ называют градиентом температуры, который направлен в сторону ее возрастания.

Важнейшей тепловой характеристикой материала является теплопроводность λ , численно равная тепловому потоку, проходящему через м² площади при градиенте температуры 1 °С/м. Увеличение значения теплопроводности свидетельствует о более высокой теплопроводности.

Тепловой поток, проходящий через плоскую стенку из однородного материала толщиной δ выражается уравнение (2)

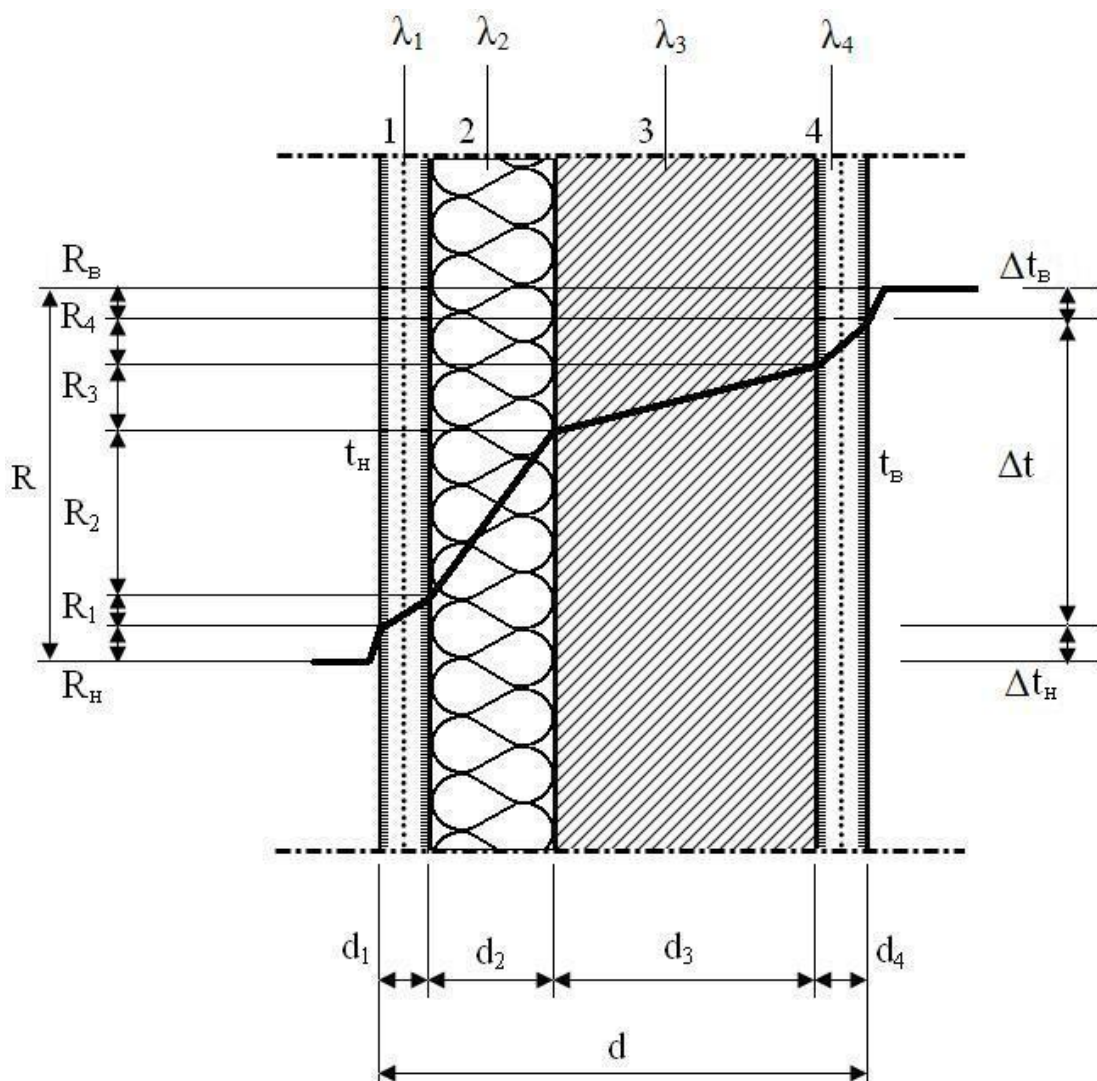
$$g_T = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\frac{\delta}{\lambda}} \quad (2)$$

где τ_1, τ_2 значение температуры на противоположных сторонах стены, °С.

Величина δ/λ называют термическим сопротивлением R_T , м²С⁰/Вт:

$$R_T = \frac{\delta}{\lambda} \quad (3)$$

В строительной практике наружные ограждающие конструкции из однородных строительных материалов применяются крайне редко, как правило, применяются многослойные, состоящие из n слоев (см. рис. 1.4).



- 1 – наружный слой штукатурки;
- 2 – слой теплоизоляции;
- 3 – несущий слой наружной стены;
- 4 – внутренний слой штукатурки

Рисунок 1.4 – Схема многослойной ограждающей конструкции наружной стены и распределения температуры t по толщине стены.

В этом случае тепловой поток g проходит от внутренней среды с температурой t_B к наружной среде с температурой t_H через n слоев и выражается формулой (4):

$$q = \frac{1}{R_B + R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{ti} + \dots + R_{tB} + R_H} \cdot (t_B - t_H) \quad (4)$$

где t_B – температура внутреннего воздуха;

t_H – температура наружного воздуха;

R_{ti} – температура сопротивления i -ого слоя;

R_B, R_H – сопротивление теплопередаче на внутренней и наружной поверхностях.

Сумма термических сопротивлений слоев является термическим сопротивлением многослойного ограждения R_o .

$$R_o = R_B + \sum R_{ti} + R_H \quad (5)$$

С учетом (5) тепловой поток, проходящий через многослойную стену можно выразить формулой (6):

$$q = \frac{1}{R_o} \cdot (t_B - t_H) \quad (6)$$

Наружные стены жилых зданий, как правило, плоскопараллельные конструкции и имеет теплопроводные включения, которые создают, так называемые, «мостики холода». Из-за «мостиков холода» наружные ограждения жилых зданий не изотермические, иными словами тепловой поток, проходящий через ограждения в различных частях не одинаков, как не одинаковы температура и термическое сопротивление.

Таковыми теплопроводными включениями могут быть металлические гибкие связи в трехслойных наружных стенах зданий крупнопанельного домостроения, металлические сетки в кирпичных наружных стенах зданий, закладные детали, элементы крепления наружных стен к колоннам и пр.

Для наружных ограждающих конструкций, имеющих теплопроводные включения пользуются понятием приведенное сопротивление теплопередаче $R_o^{Пр}$ (7):

$$R_o^{Пр} = \frac{t_B - t_H}{\frac{Q}{A}} \quad (7)$$

где Q – поток тепловой энергии, проходящий через участок n (или конструкцию в целом) ограждения, Вт;

A – площадь участка ограждения (или конструкция в целом), m^2 .

При этом Q/A является плотностью потока тепловой энергии усредненной по площади ограждения, $q^{Пр}$:

$$q^{Пр} = \frac{Q}{A} \quad \text{или} \quad q^{Пр} = \frac{t_в - t_н}{R_o^{Пр}} \quad (8)$$

При конструировании наружных ограждений жилых зданий стремятся применять теплоизоляционные материалы, а влияние теплопроводных включений минимизировать.

Для оценки однородности ограждающей конструкции по теплотехническим характеристикам используют такое понятие как коэффициент теплотехнической однородности r (9):

$$r = \frac{R_o^{Пр}}{R_o^{усл}} \quad (9)$$

где $R_o^{усл}$ – условное сопротивление теплопередаче, т.е. сопротивление теплопередаче рассматриваемого ограждения (или его части) без теплопроводных включений.

Величина коэффициента теплотехнической однородности в эксплуатируемых конструкциях меньше единицы. Для ограждений без теплопроводных включений $r = 1$.

В строительной практике используется также понятие коэффициент теплопередаче ограждающей конструкции K , Вт/м²С° (10):

$$K = \frac{1}{R_o^{Пр}} \quad (10)$$

Коэффициент теплопередаче ограждающей конструкции характеризует плотность теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию при разных температурах внутренней и наружной сред. В этом случае тепловой поток q можно выразить формулой (11):

$$q = \frac{K}{t_в - t_н} \quad (11)$$

При проектировании ограждающих конструкций жилых зданий важной практической задачей является расчет температурных полей. Для

ограждающих конструкций, включая многослойные, с теплопроводными включениями такие расчеты проводятся в трехмерном температурном поле.

Распределение температуры по сечению ограждающей конструкции исходя из дифференциального уравнения (1) линейно относительно сопротивления теплопередаче, температуру t_x в любой точке по сечению ограждающей конструкции (см. рис. 1.4) можно выразить следующим уравнением (12):

$$t_x = t_e - \frac{(t_e - t_n)}{R_o} \cdot R_{xв} = t_n + \frac{(t_e - t_n)}{R_o} \cdot R_{xn} \quad (12)$$

где $R_{xв}$ сопротивление теплопередаче от внутренней среды до точки x ;

R_{xn} сопротивление теплопередаче от наружной среды до точки x .

Важным фактором, влияющим на теплопроводность и сопротивление теплопередаче является влажность материалов, из которых изготавливаются наружные ограждающие конструкции.

Большинство строительных материалов имеет капиллярно-пористую структуру. Это является фактором, который определяет изменение теплопроводности, а также физико-механические свойства материалов.

Воздушная среда как внутри помещений, так и атмосферный воздух всегда содержат водяной пар, парциальное давление которого определяется по уравнению Менделеева-Клапейрона (13):

$$e_p = \frac{M_p RT}{V \mu_p} \quad (13)$$

где M_p – масса водяного пара, кг;

R – универсальная газовая постоянная, 8 314,41 Дж (кмоль·К);

T – температура воздуха по шкале Кельвина;

V – объем воздуха, м³;

μ_p – молекулярный вес водяного пара, 18,01528 кг/кмоль.

Парциальное давление водяного пара принято называть упругостью водяного пара.

Влажность воздуха определяется показателем относительной влажности ϕ_v , которая характеризует степень насыщения водяным паром воздуха в % (или долях единицы).

$$\varphi = \frac{e_{\text{п}}}{E} \cdot 100 \quad (14)$$

где E – давление воздуха, насыщенного водяным паром, т.е. при относительной влажности 100%. Парциальное давление насыщенного водяного пара называют давлением насыщения воздуха водяным паром или максимальной упругостью водяных паров.

Важно иметь в виду, что парциальное давление насыщенного водяного пара при заданном давлении является функцией температуры.

При повышении температуры воздуха его относительная влажность понизится, учитывая, что парциальное давление водяного пара не изменяется. При охлаждении воздуха E -давление насыщенного водяным паром воздуха понижается. Когда $e_{\text{п}} = E$ относительная влажность воздуха равна 100 %, т.е. воздух полностью насыщен водяным паром. Температура, при которой происходит полное насыщение воздуха водяным паром называют точкой росы t_p .

Дальнейшее охлаждение воздуха приводит к конденсации влаги. Если поверхность наружного ограждения имеет температуру ниже точки росы, то на такой поверхности образуется конденсат. Это обстоятельство требует рассматривать теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, включая многослойные, таким образом, чтобы конденсат не образовывался как на поверхности ограждения, так и внутри, т.е. парциальное давление в любой точке ограждения по его сечению должно быть меньше давления насыщения.

$$e_{\text{п}} < E \quad (15)$$

При проектировании ограждающих конструкций необходимо учитывать, что влага в сечении ограждений движется в направлении меньшего парциального давления. В зимний период, когда температура внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ значительно превышает температуру наружного воздуха $t_{\text{н}}$ и парциальное давление водяного пара внутри помещений выше парциального давления наружного воздуха это обуславливает миграцию или диффузию водяного пара из помещений наружу. Процесс диффузии характеризуется показателем паропроницаемости μ , мг/(ч·мПа), проходящей через м^2 площади ограждения перпендикулярной градиенту потока пара совпадающего с градиентом парциального давления и равному 1 Па/м.

Увеличение влажности материала ограждения приводит к возрастанию его паропроницаемости.

1.2 Проектирование теплозащиты ограждающих конструкций жилых зданий

Теплоизоляционные характеристики ограждающих конструкций зданий определяется исходя из климатических условий, которые характеризуются температурой наружного воздуха, влажностью, скоростью ветра.

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций должны обеспечить санитарно-гигиенические показатели внутри жилых помещений.

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций устанавливается в соответствии с [4] исходя из условий обеспечения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период.

В [4] приведены требуемые значения сопротивления теплопередаче R_{o}^{Tr} ограждающих конструкций с учетом величины градусосуток отопительного периода Dd , °C·сут

$$Dd = (t_{в} - t_{оп}) Z_{оп} \quad (16)$$

где $t_{в}$ – расчетная температура воздуха внутри помещений, °C;

$t_{оп}$ – средняя температура отопительного периода, °C;

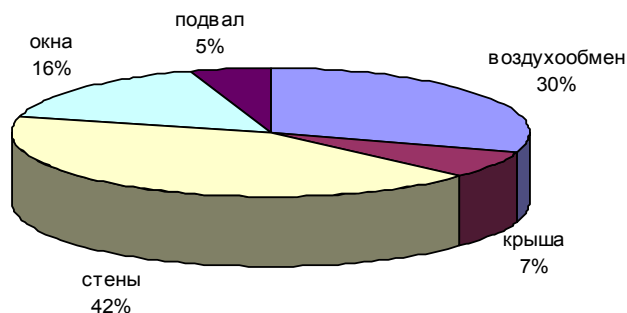
$Z_{оп}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Постоянный рост цен на энергоресурсы заставляет искать наиболее рациональные технические решения ограждающих конструкций зданий, позволяющие минимизировать затраты на их создание и отвечающих современным требованиям и снизить эксплуатационные затраты на отопление и вентиляцию.

Другими словами имеет место задача определения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче. В современных условиях для этих целей применяется метод совокупных дисконтированных затрат [25], суть которого состоит в том, что если годовая экономия эксплуатационных затрат на отопление и вентиляцию превысит годовой процент за прошедший год (с учетом коэффициента дисконтирования) сумму средств на мероприятия по повышению сопротивления теплопередаче, то принятые технические решения считаются рентабельными.

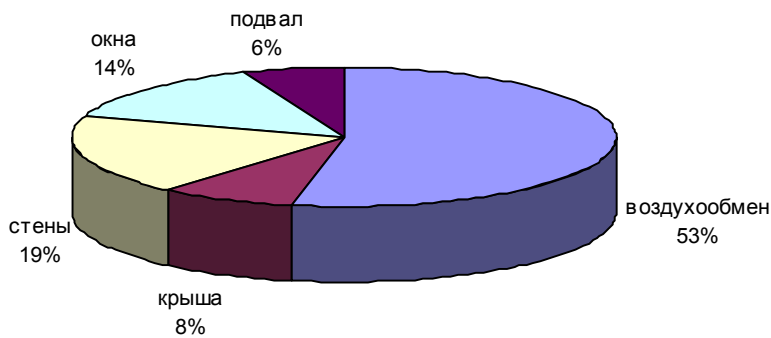
В отечественной и зарубежной практике при выборе технических решений в последние годы активно применяют комплексный подход

включающий повышение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и использование вторичных источников энергии.



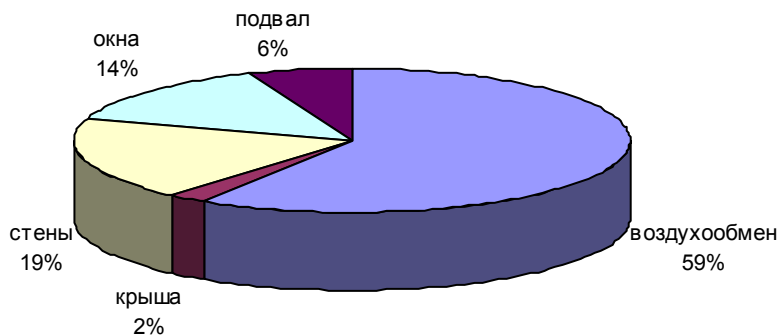
Распределение потерь тепла в зданиях, построенных в 60 - 70-е гг. прошлого века

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



Распределение потерь тепла в зданиях, построенных по нормам, введенным в 1994 г.

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



Распределение потерь тепла в зданиях, строящихся в настоящее время.

($R_{\text{нар.стен}} = 3,2 \text{ } ^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}$; $R_{\text{ОКОН}} = 1 \text{ } ^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}$; $R_{\text{кровли}} = 6 \text{ } ^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}$)

Рисунок 1.5 – Распределение теплотерь по элементам оболочки и систему вентиляции пятиэтажного жилого дома индустриального строительства

На рис. 1.5 представлены диаграммы распределения потерь тепловой энергии по элементам оболочки здания и систему вентиляции.

Представленные диаграммы теплотерь здания, свидетельствуют о том, что при увеличении сопротивления теплопередачи оболочки здания существенно (до 60 %) возрастает доля потерь тепловой энергии через систему вентиляции.

Диаграммы свидетельствуют также о том, что при достижении сопротивлением теплопередаче наружных стен $3,2 \text{ }^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}$, окон $1 \text{ }^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}$, перекрытий верхнего этажа $6 \text{ }^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}$, суммарные теплотери через ограждения здания составляют около 30 %, вместе с тем через систему вентиляции здание теряет около 60 % тепловой энергии. Это обстоятельство заставило активно применять в системе вентиляции жилых зданий теплообменники.

Обеспечение условий комфортного проживания людей требует установления определенных параметров теплозащиты оболочки жилых зданий: наружных стен, перекрытий верхнего этажа, окон и прочих элементов.

На рис. 1.1 представлена диаграмма теплотерь наружных стен многоэтажного жилого дома массовой жилой застройки. Из диаграммы следует, что квартиры расположенные в торцах зданий, а также на первом и последнем этажах имеют теплотери значительно превышающие теплотери квартир, расположенных в центральной части зданий. Это объясняется тем фактом, что квартиры центральной части зданий имеют меньшую площадь наружных ограждений и, соответственно имеют меньшие трансмиссионные теплотери.

Отмеченное обстоятельство свидетельствует о необходимости дифференцирования величины сопротивления теплопередаче наружных ограждений жилых зданий в зависимости от теплотерь квартир. Такая дифференциация позволяет уравнивать теплотери квартир, расположенных в различных частях многоэтажных жилых зданий.

Аналогичные решения были реализованы при проектировании и строительстве первого в Республике Беларусь многоэтажного жилого дома в системе крупнопанельного домостроения в г. Минске.

Вместе с тем в отечественной и зарубежной практике при проектировании и строительстве массового жилья метод дифференциации сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций не применяется.

В Республике Беларусь и других странах нормируется сопротивление теплопередаче наружных стен, перекрытий над подвалом и верхнего этажа, окон. При этом величины сопротивления теплопередаче элементов наружных

ограждений должны обеспечить заданные удельные показатели энергопотребления на отопление и вентиляцию кВт·ч/м² за отопительный период.

В Республике Беларусь показатели сопротивления теплопередаче нормируются ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника». В 2009 г. Минстройархитектуры внесло изменения в ТКП 45-2.04-43-2006 установив нормативное сопротивление теплопередаче $R_{т\text{нор}}$ для жилых зданий, соответственно для: наружных стен 3,2 м² °С/Вт, совмещенных покрытий, чердачных перекрытий 6 м² °С/Вт, перекрытий над неотапливаемыми подвалами 2,5 м² °С/Вт, заполнений световых проемов 1 м² °С/Вт.

ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий» установлены нормативные значения удельного расхода тепловой энергии за отопительный период на отопление и вентиляцию жилых зданий кВт·ч/м², с учетом этажности и климатических зон страны, которые рассчитаны в соответствии с нормативными значениями сопротивления теплопередаче элементов оболочки здания согласно ТКП 45-2.04-43-2006 (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Нормативные значения удельного расхода тепловой энергии за отопительный период на отопление и вентиляцию жилых зданий (кВт·ч/м² (МДж/м²))

Этажность здания	Витебск		Минск		Гродно		Могилев		Брест		Гомель	
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)

Изменением №1 (2013 г.) к ТКП 45-2.04-196-2010 введены классы жилых зданий А⁺, А, В, С, D, Е и F. (см. табл. 1.2).

Таблица 1.2 – 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 зданий от нормативных значений, установленных в таблице 1, %
A+	Очень высокий*	от -30 до -100
A		от -20 до -30 включительно
B	Высокий	от -10 до -20 включительно
C	Нормальный	от +10 до -10 включительно
D	Пониженный	от +10 до + 50 включительно
E	Низкий	от +50 до + 125 включительно
F	Очень низкий	более +125

Проектирование новых зданий согласно изменения №1 к ТКП 45-2.04-196-2010 допускается только классов A⁺, A и B. Для 9-ти этажных зданий массового строительства этот показатель в зависимости от климатической зоны для класса B не превышает 60 кВтчм²/год.

Достижение уровня энергопотребления зданиями соответствующего классам A и A⁺ возможно только при внедрении энергоэкономичных инженерных систем, в частности систем принудительной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии вентилируемого воздуха. Достижение уровня энергопотребления соответствующего классу B обеспечивается при установленных ТКП 45-2.04-43-2006 нормативных показателях сопротивления теплопередаче элементов оболочки зданий.

В странах Евросоюза нормативные значения энергопотребления устанавливаются в соответствии с EN 15217-2007 «Энергоэффективность зданий. Методы определения энергоэффективности и порядок энергетической сертификации зданий», который реализует положения директивы «Об энергетических характеристиках зданий».

Согласно EN 15217-2007 нормативы энергопотребления могут быть установлены с учетом параметров здания. Примеры таких параметров приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Параметры с влиянием уменьшения или нейтрализации.

Параметр	Применение
Климатические условия	Адаптация требуемого технологического уровня к данным климатическим условиям
Функциональное назначение здания	Адаптация к требованиям проектирования, назначения и возможных технологий
Энергоноситель	Соответствие национальной энергетической политике, в части возможного использования различных источников энергии (например, газа/электричество) или учет определенных источников энергии в соответствии с их областью применения
Размер и/или форма здания	Исключение необоснованно высоких требований к отдельно стоящим зданиям и низких требований к крупногабаритным компактным зданиям. Адаптация требований к зданиям различных размеров и форм
Интенсивность вентиляции	Исключение чрезмерно дорогостоящих требований к зданиям или их эксплуатации, требующей высокой интенсивности вентиляции
Уровень освещения	Исключение чрезмерно дорогостоящих требований к зданиям или их эксплуатации, требующей высокого уровня освещенности

При этом учитываются объемно-планировочные характеристики: форма здания, коэффициент формы здания

$$f = \frac{A_E}{A_C} \quad (17)$$

или степень компактности

$$c = \frac{A_E}{V_C} \quad (18)$$

где A_E – площадь термической оболочки здания, m^2 ;

A_C – кондиционируемая площадь, m^2 ;

V_C – кондиционируемый объем, m^3 .

Применение европейских норм энергопотребления на отопление и вентиляцию на примере Австрийской республики, kWh/m^2 , представлен на рисунке 1.6.

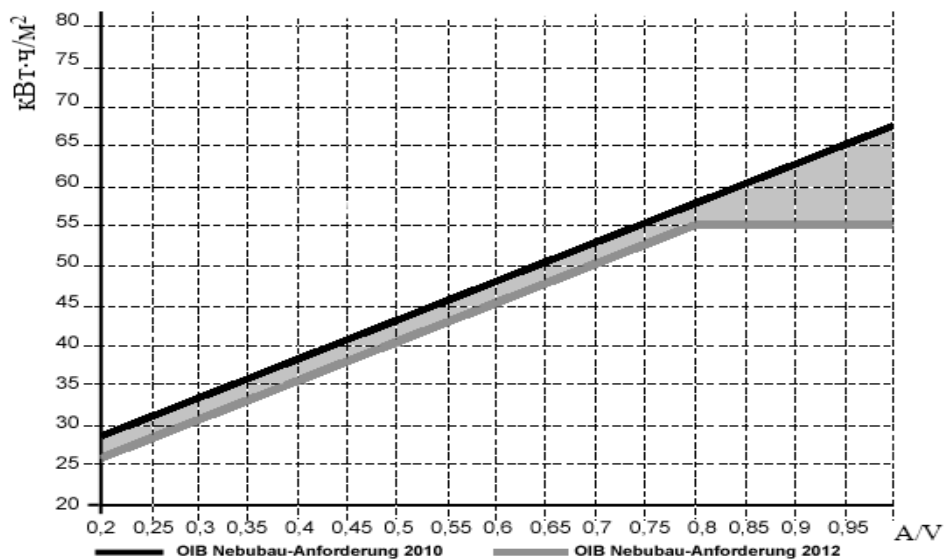


Рисунок 1.6 – Нормативное значение потребления энергии на отопление и вентиляцию жилых зданий Австрии.

Нормативное сопротивление теплопередаче и ограждающих конструкций жилых зданий с учетом климатических зон устанавливают и с учетом экономических возможностей государства обеспечить реализацию принятых нормативов.

Постоянный рост стоимости на энергоресурсы усиливает актуальность определения экономически обоснованных нормативов сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций жилых зданий.

Для определения экономически обоснованных нормативов часто применяется метод минимизации приведенных затрат Π , т.е. затрат на устройство m^2 ограждающей конструкции K и затрат на последующую компенсацию теплопотерь \mathcal{E} за T лет эксплуатации.

$$\Pi = K + T \cdot \mathcal{E} \quad (19)$$

графически описанный подход представлен на рис. 1.7.

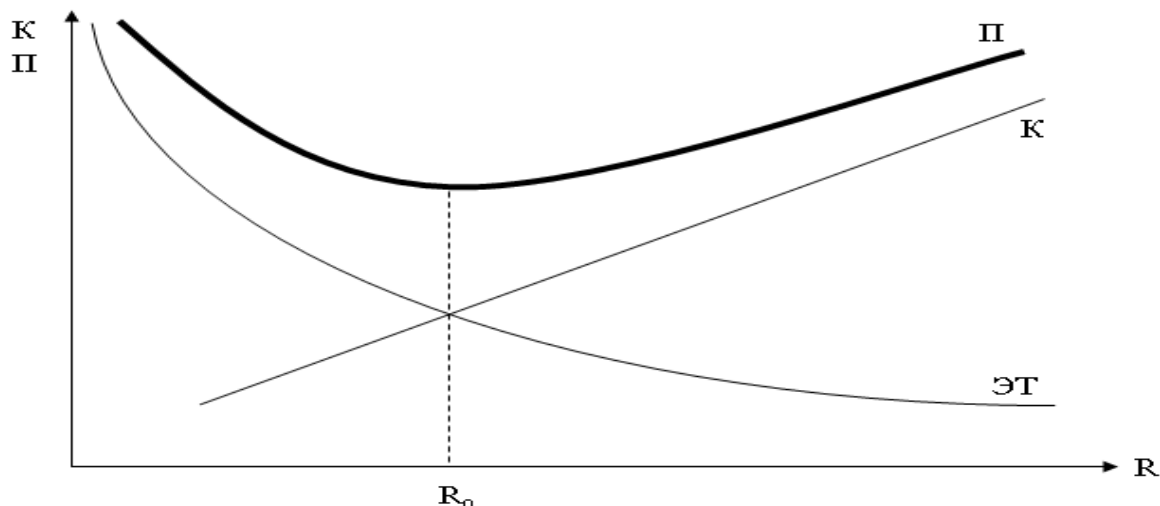


Рисунок 1.7 – Определение оптимального значения сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий.

Продифференцировав выражение 19 можно определить оптимальную величину сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий R_o .

Физически это может быть достигнуто при равенстве трансмиссионных потерь тепловой энергии зданием и суммарной тепловой энергии выделяемой внутренними источниками тепловой энергии (без учета систем отопления) и поступлений от солнечной радиации (прямой и рассеянной).

1.3 Вторичные и возобновляемые источники энергии в системах отопления и горячего водоснабжения

При рассмотрении тепловых потерь зданий обычно не разделяют возвращаемые и безвозвратные потери теплоты, учитывая, что некоторые потери в здании можно регулировать и по-новому подойти к оптимизации сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий. Возвращаемыми являются потери теплоты с вытяжным воздухом и канализационными стоками зданий. Использование высокоэффективных теплообменников и высокая герметичность помещений могут обеспечить 100 % возврата теплоты вытяжного воздуха. Применение теплообменников позволяет также частично вернуть теплоту из канализационных и ливневых стоков. Невозвратимыми являются трансмиссионные потери теплоты через ограждающие конструкции зданий.

Поскольку потери теплоты при вентиляции можно утилизировать, используя высокоэффективные теплообменники, сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания можно принимать исходя из равенства средних за отопительный сезон трансмиссионных тепловых потерь в здании суммарному значению энергии внутренних источников теплоты и потоков прямой и рассеянной солнечной радиации.

Сопротивление теплопередаче должно быть близким оптимальному значению для конкретных климатических и экономических условий. Для оптимального значения сопротивления теплопередаче разность между дополнительными капитальными затратами и экономией энергии в течение продолжительности функционирования системы утепления минимальна.

Следует отметить, что экономия тепла на отопление и вентиляцию зданий средней и повышенной этажности в значительной степени зависит от эффективности инженерного оборудования, возможности утилизации тепловой энергии вентиляционных выбросов и применения программируемых систем управления, позволяющих учитывать режим проживания жителей в квартирах, климатических характеристик и времени суток. Например, когда жители находятся вне здания, можно ограничить

воздухообмен до 50 % от нормативного. При этом только за счет управления приточно-вытяжной вентиляцией с рекуперацией теплоты вытяжного воздуха, (при эффективности системы 80 %) поступление тепловой энергии составляет 8,29 кВт·ч/м² за отопительный период.

В современных зданиях Республики Беларусь затраты теплоты на приготовление горячей воды превышают аналогичные, используемые для отопления зданий. За счет установки индивидуальных счетчиков горячей воды значение потребления теплоты на отопление зданий за последние 20 лет уменьшилось в три раза, а затраты теплоты в системах ГВС – на 30 %. Это свидетельствует о необходимости более существенной экономии энергии в развитии энергоэффективных систем горячего водоснабжения.

Рассмотрим различные варианты энергоэффективных решений систем ГВС для зданий г. Минска, обеспечивающих значительное снижение энергии на горячее водоснабжение по сравнению с существующим уровнем. В качестве вторичных и альтернативных источников теплоты предполагается использование тепловой энергии сточных вод и солнца [5]. В качестве технических средств, обеспечивающих использование солнечной энергии, и вторичных источников теплоты могут быть применены следующие:

- системы утилизации теплоты «серых» сточных вод;
- солнечный коллектор;
- фотоэлектрические преобразователи;
- тепловые насосы.

Для утилизации теплоты «серых» сточных вод следует выделить индивидуальную систему слива от других стоков (из кухонь и туалетов). Такое разделение стоков позволяет уменьшить капитальные и текущие затраты на систему очистки смеси стоков [6]. Доля объема горячей воды в «серых» стоках принимается 60 % от общего расхода горячей воды, температура «серых» стоков $t_{гор}^{сер}$ на входе в систему утилизации 35 °С. На выходе из утилизатора температура стоков в зависимости от времени года изменяется от 10 до 27 °С, что является достаточным температурным потенциалом для дальнейшей утилизации теплоты сточных вод. Система утилизации теплоты стоков обеспечивает первую ступень нагрева водопроводной воды.

Солнечный коллектор, устанавливаемый на крыше зданий преимущественно в южном направлении, предназначен для преобразования энергии солнечного излучения в теплоту. Преобразованная в теплоту энергия солнечного излучения используется во второй ступени нагрева водопроводной

воды, где коэффициент преобразования энергии солнечного излучения в тепловую $K_{\text{кол}}$ в солнечном коллекторе достигает 65 %.

Фотоэлектрические преобразователи предназначены для преобразования энергии альтернативного источника теплоты - энергии солнечного излучения – в электрическую. Электричество, вырабатываемое фотоэлектрическими преобразователями, обеспечивает работу компрессионного теплового насоса. Коэффициент преобразования энергии солнечного излучения в электрическую в фотоэлектрических преобразователях принимается 15 %.

Тепловые насосы предназначены для утилизации низкопотенциальной теплоты «серых» сточных вод после утилизатора теплоты сточных вод и являются ее утилизатором второй ступени. Работа компрессора и циркуляционного насоса теплонасосной установки может быть запитана электрической энергией, вырабатываемой фотоэлектрическими преобразователями. Примерно три четверти необходимой для нагрева водопроводной воды тепловой насос получает из низкопотенциальной теплоты «серых» сточных вод, для остальной четверти ему требуется в качестве движущей энергии электрический ток (компрессионные тепловые насосы). Тепловой насос обеспечивает возможность экономного и экологически щадящего отопления с использованием теплоты окружающей среды.

Возможны следующие варианты горячего водоснабжения и отопления зданий с использованием вторичных и возобновляемых источников энергии:

1) утилизация вторичных источников теплоты («серых» сточных вод) обеспечивает две ступени подготовки горячей воды;

2) утилизация вторичного источника теплоты («серых» сточных вод) и преобразование энергии солнечного излучения для подготовки горячей воды с помощью солнечного коллектора обеспечивают три ступени подготовки горячей воды;

3) утилизация вторичного источника теплоты («серых» сточных вод) и преобразование энергии солнечного излучения для подготовки горячей воды с помощью солнечного коллектора и теплонасосной системы, в состав которой входят фотоэлектрические преобразователи, обеспечивают четыре ступени подготовки горячей воды.

Данные варианты энергоэффективных решений системы ГВС представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Технические решения системы горячего водоснабжения

Наименование технического средства	Вариант			
	1	2	3	4
Утилизатор теплоты сточных вод	+	+	+	+
Солнечный коллектор	–	+	+	–
Тепловой насос + фотоэлектрический преобразователь	–	–	+	+

Примечание: «+» – наличие технического средства;
«–» – отсутствие технического средства.

На рис.1.8 представлена комбинированная схема теплоснабжения жилого здания, использующая в системе отопления и горячего водоснабжения вторичные и возобновляемые источники энергии. При этом вторичными источниками является часть канализационных, так называемых «серых» стоков, а возобновляемыми – энергия солнца и грунта.

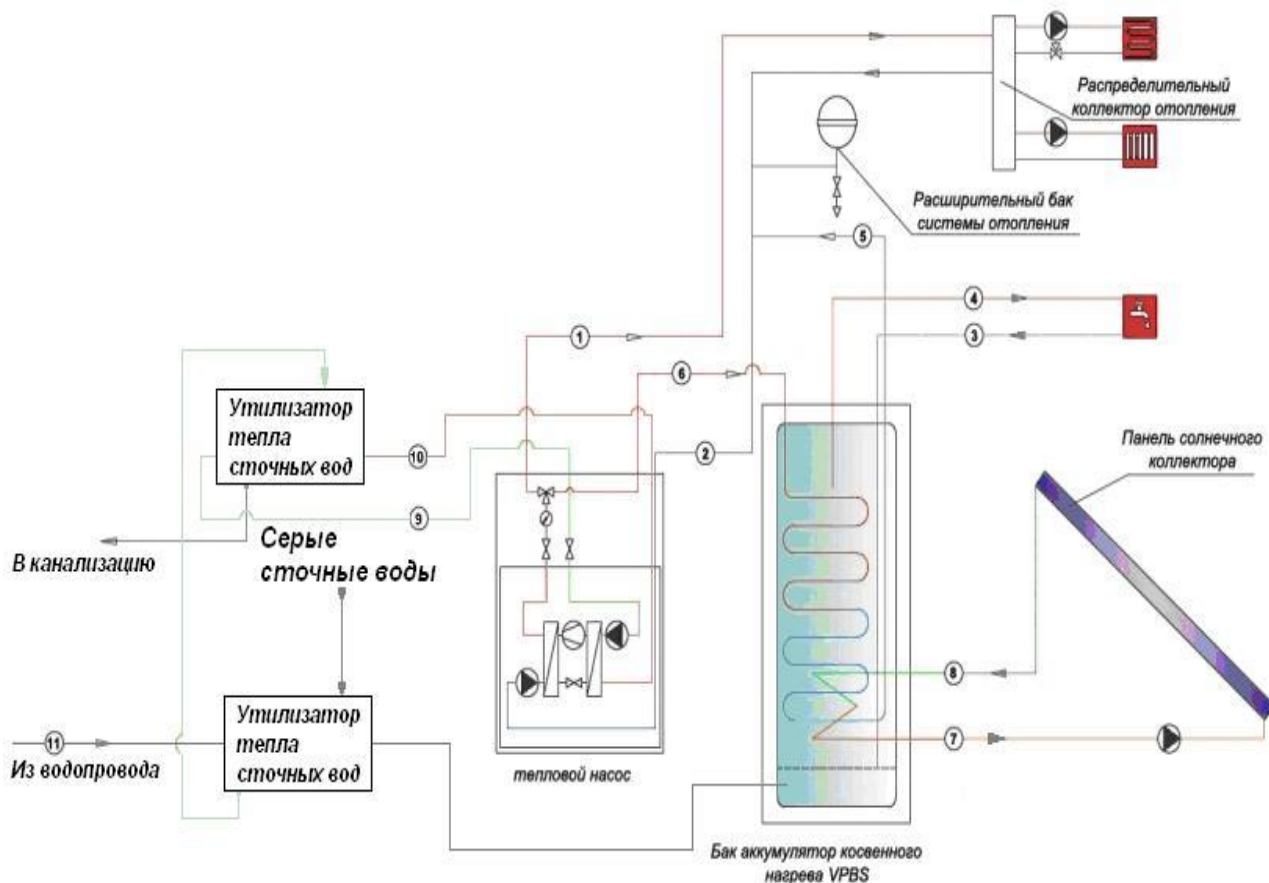


Рисунок 1.8 – Комбинированная схема теплоснабжения жилого здания (вариант 3)

В качестве примера расчеты были выполнены для условий г. Минска. Годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение $Q_{гв} = 179\,261$ МДж·год⁻¹, годовое колебание температуры холодной воды принималось ежемесячно от 3 °С до 18 °С.

Результаты расчетов представлены в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Результаты расчетов параметров варианта

Параметр	Ед. изм.	Значения параметров для варианта			
		1	2	3	4
Годовой объем теплоты, утилизированной утилизатором сточных вод	МДж	53 167	53 167	53 167	53 167
Годовая выработка теплоты солнечным коллектором	МДж		44 728	44 728	
Суммарная площадь солнечного коллектора	м ²		12	12	
Количество теплоты, восполняемое системой «тепловой насос + фотоэлектрический преобразователь» в течение года	МДж			85 685	85 685
Суммарная площадь фотоэлектрического преобразователя	м ²			25	24,5
Доля восполняемой потребности теплоты на горячее водоснабжение		0,3	0,55	1,02	0,77
Годовая экономия условного топлива	т.у.т.	2,27	4,2	7,9	5,9
Годовой доход энергосберегающего мероприятия	дол.	273	502	942	712
Капитальные затраты при сроке окупаемости восемь лет	дол.	3 750	6 900	13 000	9 800

Используемые в варианте 3 вторичные и возобновляемые источники теплоты могут полностью покрыть годовую потребность тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение при нормируемых значениях сопротивления теплопередаче ограждений. В варианте 3 тепловой насос может использовать не только низкопотенциальную теплоту «серых» стоков, охлаждая их до температуры водопроводной воды в зимнее время (около 5

°С) но и тепловую энергию грунта, подключив вертикальные грунтовые теплообменники (см. рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Использование вертикальных грунтовых теплообменников в тепловых насосах

Сравнительный анализ рассмотренных вариантов показывает безусловную экономическую эффективность использования утилизатора тепловой энергии сточных вод. Преимущество этой системы перед солнечным коллектором - в круглогодичном использовании. Второй вариант - комбинация утилизатора теплоты сточных вод и солнечного коллектора - увеличивает экономию энергии, однако растут и капитальные затраты. Третий вариант с включение в систему грунтовых теплообменников обеспечивает полное покрытие затрат тепловой энергии на ГВС.

При проектировании систем энергоснабжения зданий, включающих элементы использующие солнечную энергию необходимо учитывать географическое расположение республики.

Средние суточные и месячные суммы интенсивности радиации имеют правильный годовой ход с максимумом в июне и минимумом в декабре. В марте прямая и суммарная радиация резко увеличивается по сравнению с предыдущими месяцами, поскольку продолжительность дня и высота солнца быстро растут, а количество облачности уменьшается. В отдельные годы из-за облачности максимум радиации смещается на август, июль или май, минимум — на ноябрь, реже — на январь.

Три летних месяца (май, июнь, июль) дают около 45% годового прихода суммарной радиации; а зимние месяцы (ноябрь, декабрь и январь) дают вместе лишь 5% годового прихода.

Доля рассеянной радиации возрастает с уменьшением высоты солнца и увеличением облачности. Приход прямой радиации лишь в мае—июле несколько превышает приход рассеянной. Все остальные месяцы, особенно зимой, рассеянная радиация преобладает. Вклад рассеянной радиации в суммарную для Минска составляет свыше 75% в ноябре-январе, 65-70% в октябре и феврале и около 50% с марта по сентябрь.

В отдельные годы месячные суммы радиации могут испытывать значительные отклонения от средних величин. Абсолютная разность между максимальным и минимальным месячным приходом достигает наибольшей величины в весенне-летние месяцы: 380-420 МДж/м² для прямой радиации и 170-210 МДж/м² для суммарной. Наоборот, относительный разброс, характеризуемый средним квадратичным отклонением от среднего, достигает максимума зимой. При этом суммарная радиация устойчивее прямой радиации: для нее даже в зимние месяцы среднее квадратичное отклонение от среднего составляет около 20%.

Значительно большие колебания испытывают суточные суммы. Средние максимумы и средние минимумы суточных сумм рассеянной радиации отличаются от средних суточных сумм на 40-50% в теплое полугодие и на 70-80% — в холодное. Средние максимумы суточных сумм суммарной радиации превышают средние суммы летом на 40-50%, зимой — в 2-2,5 раза. Абсолютные максимумы суточных сумм D и Q на 20-30% больше средних.

Суточный ход интенсивности радиации обуславливается в первую очередь изменением высоты солнца. Поэтому при ясном небе и постоянной прозрачности максимум солнечной радиации наблюдается в полдень. Облачность и колебания прозрачности атмосферы влияют не только на величину, но и на суточный ход радиации. Изменение суточной радиации в течение года представлено на рисунке 1.10.

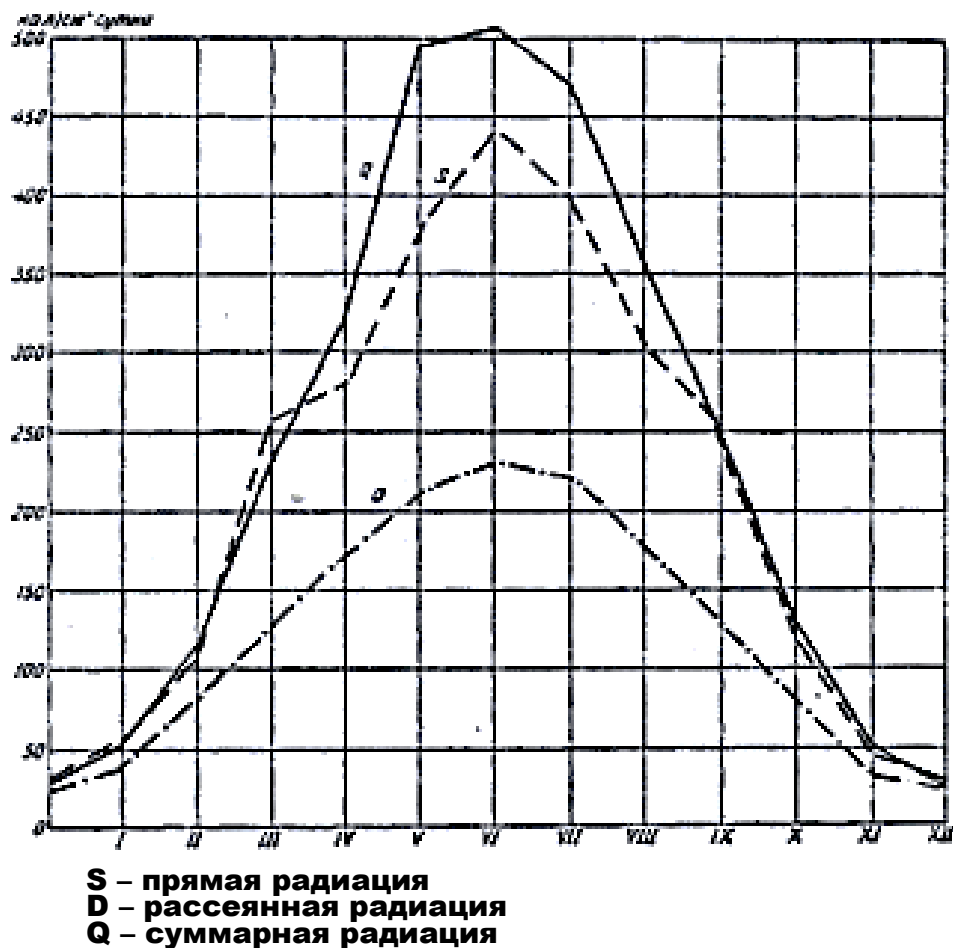


Рисунок 1.10 – Изменение суточной радиации в течение года

С апреля по август интенсивность прямой радиации до истинного полудня значительно больше, чем после полудня, а максимум ее смещается к 9-11ч. (по солнечному времени). Это объясняется наибольшим развитием конвективной облачности в послеполуденные часы. Холодное полугодие характеризуется обратным соотношением — послеполуденные суммы больше дополуденных. Причина этого заключается в преобладании инверсионной нижней облачности (St, Sc), которая достигает максимума в утренние часы, а затем отчасти разрушается дневной конвекцией.

Максимум рассеянной и суммарной радиации приходится на полдень или околополуденные часы. Однако послеполуденные суммы рассеянной радиации большую часть года больше дополуденных. В декабре–феврале это обуславливается уменьшением сплошной нижней облачности после полудня, в апреле–августе — увеличением кучевой облачности.

Максимальная интенсивность рассеянной и суммарной радиации наблюдается летом при хорошо развитой кучевой облачности. Зимой максимальные значения всех видов радиации заметно возрастают с севера на юг, так, например, в Пинске они на 7-10% больше, чем в Минске. В теплое

полугодие максимальные значения радиации на всей территории республики почти одинаковы.

Интенсивность прямой радиации, облучающей наклонную или вертикальную поверхность (склон, стену) зависит от ориентации и наклона поверхности. На рисунке 1.11 приведены месячные суммы радиации для северной, южной и восточной стен. Как видно из рисунка, приход радиации к южной стене имеет два максимума, в марте и сентябре, и характерный «провал» летом. Это объясняется тем, что весной и осенью солнце ниже, чем летом, а поэтому средний угол падения лучей на южную стену меньше. Летний провал имеет место также для южных склонов с углом наклона более 30° .

Радиация на юго-восточную и юго-западную стены на протяжении всего теплого полугодия остается приблизительно постоянной (колебания в пределах 5-7%). Приход радиации к восточным и западным стенам и склонам наибольший в летние месяцы.

В соответствии с дневным ходом S в холодное полугодие интенсивность радиации на западном склоне и стене больше, чем на восточном, а в теплое — наоборот. В результате годовая сумма радиации на восточные, юго-восточные и северо-восточные склоны и стены больше, чем на западные, юго-западные и северо-западные.

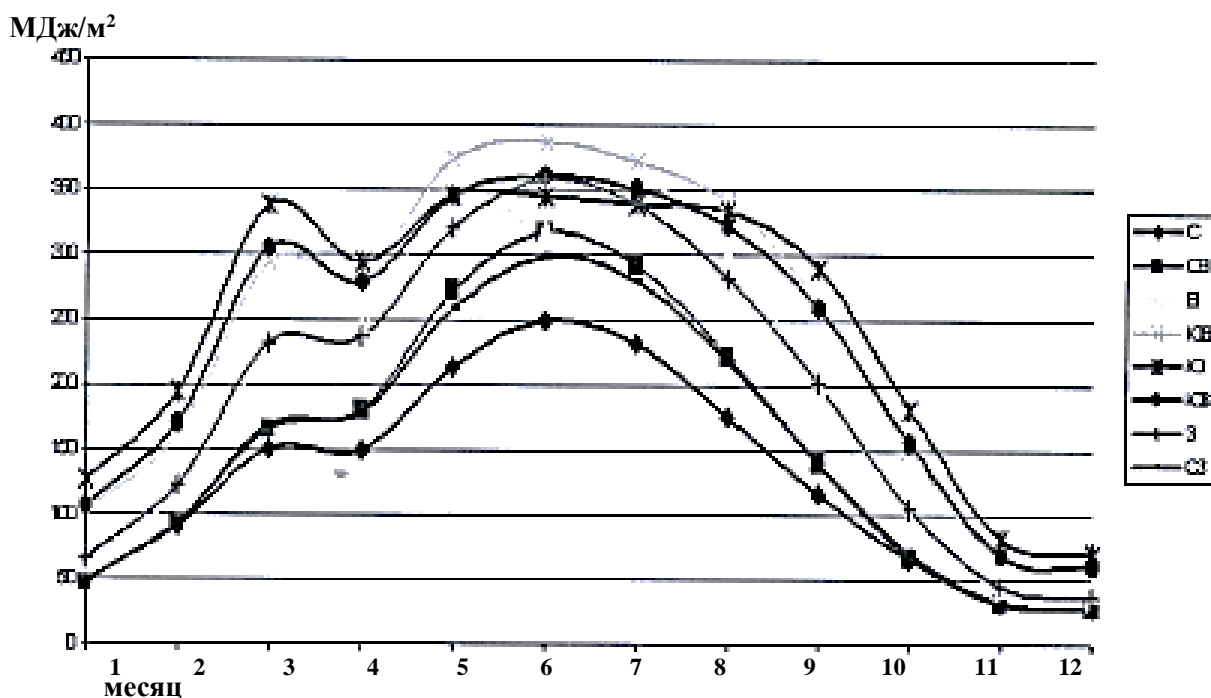


Рисунок 1.11 – Месячные суммы радиации для северной, южной и восточной стен для условий г. Минска

Суточные и месячные суммы прямой радиации на северо-западную, северную и северо-восточную стены имеют максимум в июне. Они всегда

меньше сумм радиации на горизонтальную поверхность. Суточная интенсивность прямой радиации к южным, юго-западным и юго-восточным склонам с увеличением угла наклона сначала увеличивается, при некотором угле достигает максимума, а затем уменьшается.

Интенсивность радиации при ясном небе зависит от высоты солнца (основной фактор) и от прозрачности атмосферы, т. е. от содержания к ней аэрозолей и водяного пара. С увеличением количества аэрозолей прямая радиация уменьшается, рассеянная — обычно увеличивается. Рост количества водяного пара в воздухе ослабляет как прямую, так и рассеянную радиацию. Суммарная радиация при безоблачном небе с уменьшением прозрачности обычно уменьшается интенсивность радиации при ясном небе иллюстрируется рисунками 1.12 и 1.13.

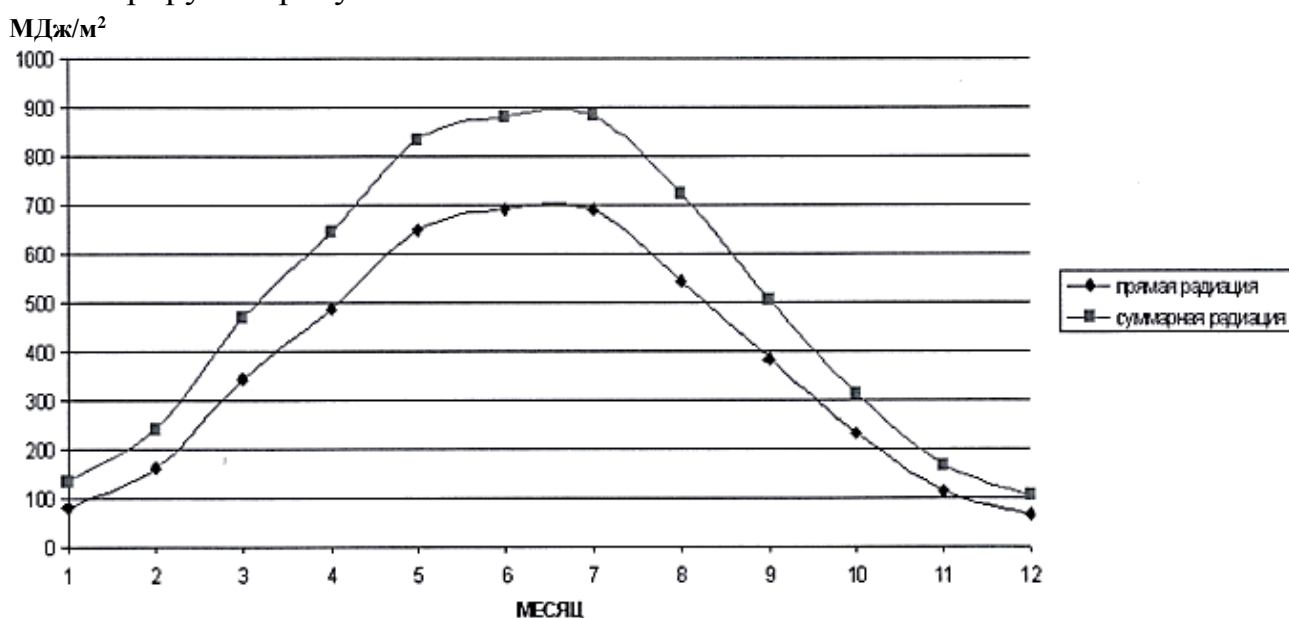


Рисунок 1.12 – Месячная прямая и суммарная радиация при ясном небе
Горизонтальная поверхность

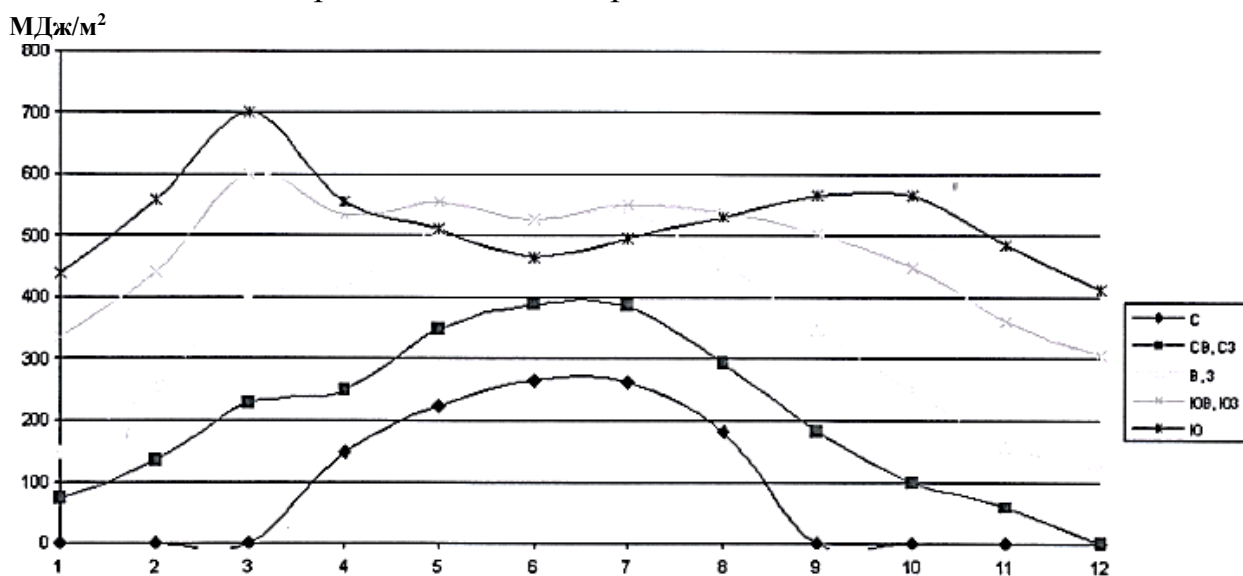


Рисунок 1.13 – Месячная прямая и суммарная радиация при ясном небе
Вертикальная поверхность

Прозрачность атмосферы наименьшая в июне-августе, когда влажность максимальна, а запыленность атмосферы велика из-за развития конвекции. Осенью прозрачность растет и достигает максимума в ноябре-декабре. Выделяется также второй максимум прозрачности, в феврале.

Справочный материал по температуре окружающего воздуха и ветру в условиях Беларуси, приведенный в [7, 8], может быть использован при расчете энергетических характеристик систем солнечного горячего водоснабжения.

В Республике Беларусь нормативное потребление горячей воды на одного человека в сутки в среднем составляет 90 л., - в месяц 2700л., температура воды должна быть 55°C.

В таблице 1.5 приведено количество воды, нагреваемой солнечным коллектором площадью 1,5 м при к. п. д. 0,5 до 55°C, установленным на горизонтальной поверхности и склоне различной крутизны южной ориентации при средних условиях облачности и климатических условиях Минска за день в течение года. При этом температура холодной воды в период с ноября по апрель принималась + 5°C, а с мая по октябрь +15°C.

Как следует из таблицы 1.1, при углах наклона, превышающих широту местности (54° для Минска), увеличивается производительность коллектора в холодное, а при уменьшении углов до 30° - в теплое время года. Но, поскольку месячные суммы солнечной радиации в холодный период в 4-5 раз меньше, при увеличении угла наклона от 54° до 64° производительность коллектора уменьшается от 42,5 до 40,7 л, а при уменьшении от 54° до 34° - увеличивается до 44,7л в день в течение года. В средней полосе РБ солнечный коллектор южной ориентации площадью 1,5 м при КПД=0,5 и угле наклона 54° обеспечивает в среднем за день в течение года подогрев 42,5, а при угле наклона 34° - 44,7 л воды, т. е. половину нормативной потребности на одного человека.

В таблице 1.5 приведены данные о количестве воды, нагреваемой солнечным коллектором, расположенным под углом 54° и 34° южной ориентации при средних условиях облачности и климатических условиях Минска за день в течение года. Коллектор площадью 6 м² при угле наклона 34° в состоянии нагреть в летние месяцы до 360 литров воды с температурой 55°C в день, и обеспечить почти на 100% процентов потребности семьи из 4-х человек в горячей воде. Коллектор площадью 12 м² полностью обеспечит потребности семьи с марта по сентябрь и обеспечит ежедневно дополнительно с апреля по сентябрь соответственно 52, 316, 338, 324, 236 и 88л горячей воды. Т.е. при этом с апреля по сентябрь включительно семья будет обеспечена ежедневно соответственно 3, 16,5, 17,6, 16,9, 12,1 и

4,6кВт·ч. избыточной тепловой энергии, которую очень удачно можно будет использовать, например, для кондиционирования воздуха в помещении.

Таблица 1.5 – Количество воды, нагреваемой солнечным коллектором площадью 1,5 м² до 55°С, расположенным на горизонтальной поверхности и склоне различной крутизны южной ориентации при средних условиях облачности и КПД=0,5 за день в течение года (Минск, 54°С.Ш.), л

Ориентация поверхности	Среднее за день в течение года	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Всего за год
Горизонтальная	40,3	8	16,6	33,6	46,7	81,8	92,9	85,1	69	47	22,9	7	4,7	14603
Ю склон 90°	32	14,8	23,5	39	35	50	51	49	48	43	27	10	8	11591
Ю склон 64°	40,7	14,8	25,4	44	46	71,2	76	71,3	65,4	53,5	31	10,7	8,3	14863
Ю склон 59°	42	14,6	25,2	44,4	47,7	74,3	80	74,7	67,7	54,7	31,2	12,9	8	15303
Ю склон 54°	42,5	14,3	25	44,5	49	73,9	83,6	77,8	69,9	55,6	31,4	10,7	8Д	15520
Ю склон 49°	42,7	13,9	24,6	44,5	50	79,6	86,7	80,5	73,4	56,2	31,4	10,6	7,9	15579
Ю Склон 44°	44,3	13,6	24,2	44	50,8	81,7	89,4	80,4	73	56,5	31,4	10,6	7,9	16168
Ю склон 39°	44,6	13,1	23,6	43,7	51,4	83,4	91,6	84,8	74	76,5	30,8	10,2	7,5	16295
Ю склон 34°	44,7	12,7	23	43	51,6	84,7	93,4	86,5	74,7	56,2	30,4	9,9	7,2	16341

Таблица 1.6 – Количество воды, нагреваемой солнечным коллектором с КПД=0,5, расположенным под углом 54° и 34° южной ориентации при средних условиях облачности за день в течение года (Минск, 54° С.Ш.), л

Ориентация поверхности	Площадь коллектора, м ²	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Среднее за день в течение года
Ю склон 54°	1,5	14,3	25	44,5	49	73,9	83,6	77,8	69,9	55,6	31,4	10,7	8,1	42,5
	6	57,2	100	178	196	320	334	311	280	222	125	43	32	170
	9	85	150	267	294	480	501	466	420	333	186	64	48	256
	12	114	200	356	392	590	668	622	559	444	251	85	64	340
	36	342	600	1068	2356	1770	2004	1866	1677	1332	753	340	192	1020.
Ю склон 34°	1,5	12,7	23	43	51,6	84,7	93,4	86,5	74,7	56,2	30,4	9,9	7,2	44,5
	6	51	92	172	206	338	374	342	298	224	121	40	28	178
	9	76,2	138	258	309	508	560	519	448	337	182	59	43	267
	12	102	184	344	412	676	748	684	596	448	242	80	56	356
	36	306	552	1032	1236	2028	2244	2052	1788	1344	726	240	168	1068

Коллектор площадью 12 м² полностью обеспечит потребности семьи с марта по сентябрь и обеспечит ежедневно дополнительно с апреля по сентябрь соответственно 52, 316, 338, 324, 236 и 88л горячей воды. Т.е. при этом с апреля по сентябрь включительно семья будет обеспечена ежедневно соответственно 3, 16,5, 17,6, 16,9, 12,1 и 4,6 кВт·ч избыточной тепловой энергии.

Затраты на систему горячего водоснабжения состоят из довольно высоких начальных капиталовложений (стоимость проектных работ, солнечных коллекторов, бака-накопителя, конструктивные варианты каждого элемента, интеграция системы ГВС в систему горячего водоснабжения стандартного типа) и ежегодных амортизационных затрат.

Количество теплоты Q, затраченное на нагрев воды на одного человека в месяц (2700 л.) от 5°С до нормативного значения 55°С составляет 565,65 МДж или 157,125 кВт·ч. По данным отдела экономики Комитета Энергоэффективности РБ коэффициент пересчета электрической энергии в условное топливо из расчета сложившегося топливного баланса на 03.01.07 г. составляет 280г/кВтч, а стоимость 1 т.у.т.- 147 долларов. Следовательно, на горячее водоснабжение на человека в месяц затрачивается до 0,044 т.у.т. или 6,47 доллара.

При проектировании систем ГВС температуру холодной воды в холодный период (с ноября по апрель включительно) принимают равной 5°С, а в теплый (с мая по октябрь) - 15°С, в среднем за год вода подогревается на 45° С. При этом на горячее водоснабжение на человека в месяц затрачивается 0,0396 т.у.т. или 5,823 доллара. Затраты на ГВС в течение года на одного человека составят 69,876 , а на семью из четырех человек - 279,5 доллара.

В соответствии с Соглашением от 31.12.2006 г. отпускные цены на газ для РБ будут расти и возрастут еще в 2-2,3 раза. При этом затраты на ГВС в 2009 г. для семьи из четырех человек составляли 420, а в 2011 г. - около 600 долларов.

Общий КПД систем солнечного горячего водоснабжения в 40-50% является типичным и достижимым для большинства систем, построенных в 70-е годы. Стоимость этих систем составляет от 160 до 270 долларов на 1м². При этом за 8 лет солнечная система ГВС с площадью коллектора 6 м² позволит семье из четырех человек сэкономить 1118 долларов. Следовательно затраты на строительство системы солнечного горячего водоснабжения компенсируются в течение 8 лет и далее при 20-летней амортизации системы семья сможет ежегодно экономить по 250 долларов. При стоимости газа равным мировым, то сроки окупаемости системы сократятся, а суммы сэкономленных средств увеличатся в 2-2,3 раза.

Экономическая эффективность использования тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения зданий также зависит от многих факторов.

Во-первых, от соотношения количества тепловой энергии, отданной тепловым насосом в систему отопления здания к электрической энергии COP, затраченной на работу компрессора теплового насоса. Это значение зависит от типа теплового насоса, а также от температуры, до которой нагревается теплоноситель при подаче в систему. На рисунке 1.14 приведена зависимость значения COP ТН типа грунт/жидкость от температуры, до которой нагревают теплоноситель.

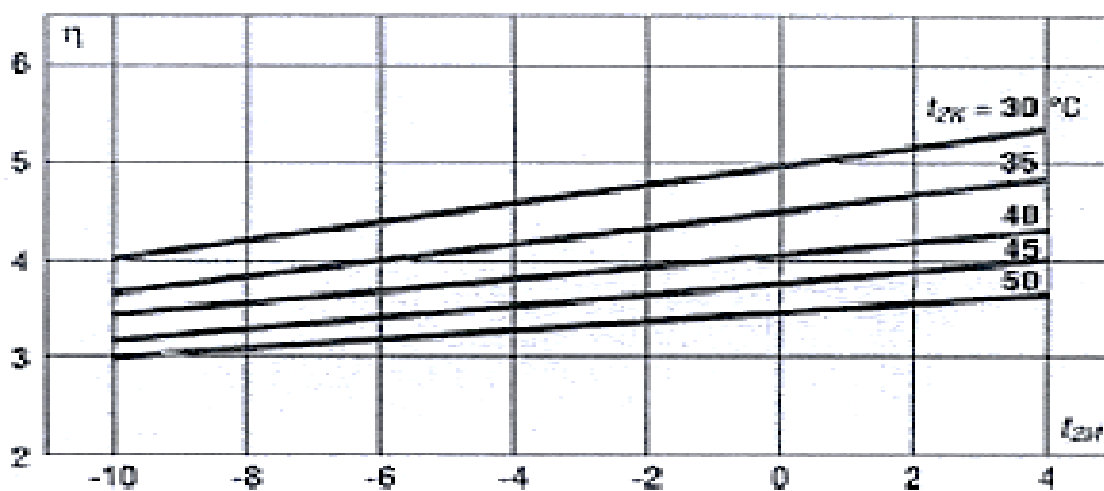


Рисунок 1.14 – Зависимость значения COP ТН типа грунт/жидкость от температуры

Определение среднего значения COP в течение отопительного сезона можно выполнить по формуле

$$COP = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K COP(T_k) \cdot N_k \quad (19)$$

где: T_k - значение температуры наружного воздуха в k - м интервале температур;

N_k - количество дней отопительного периода со значением температуры T_k ;

N - общее количество дней отопительного периода;

K - количество температурных интервалов.

На рисунке 1.15 приведены графики зависимости $COP(T_k)$ от температуры наружного воздуха для трех типов систем отопления: традиционного водяного с отопительными элементами, напольной системы отопления, и воздушного отопления. Средние значения COP, рассчитанные по формуле (19) для указанных типов отопления приведены в таблице 1.7.

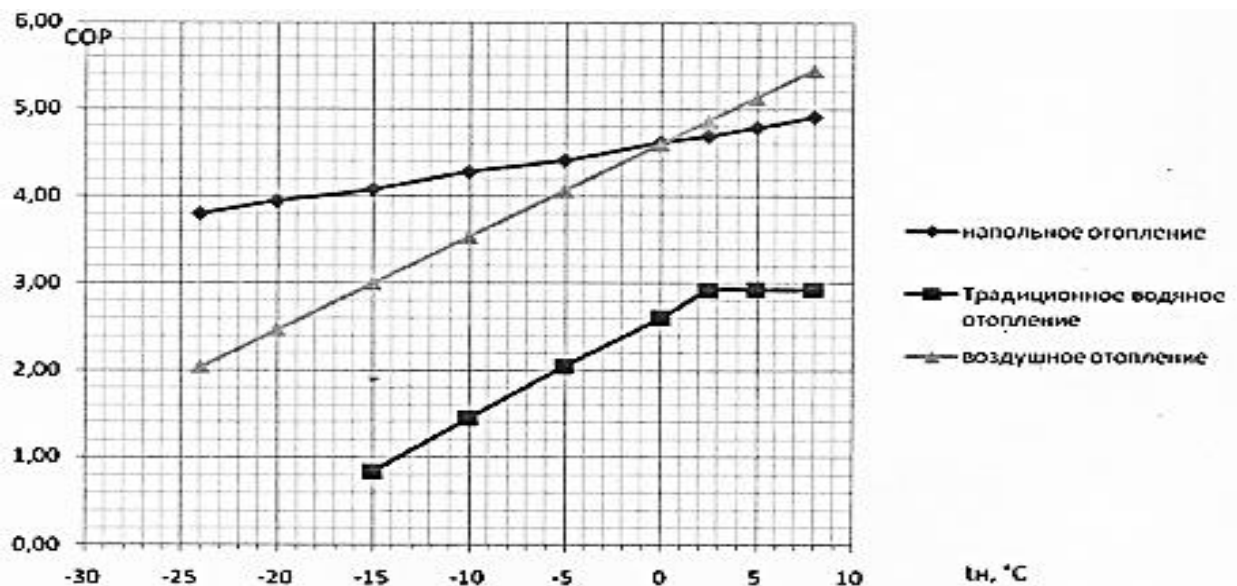


Рисунок 1.15 – Графики зависимости COP(T_k) от температуры наружного воздуха

Таблица 1.7 – Средние значения СЦЗ для различных типов системы отопления

Тип отопления	Традиционное	Напольное	Воздушное
COP	2,29	4,57	4,44

Из графика видно, что наиболее высокое значение COP в диапазоне от 0°C до минус 25°C имеет система напольного отопления с применением тепловых насосов, при этом даже при снижении температуры наружного воздуха до минус 25, значение COP не становится ниже 3,8. Соответственно систему напольного отопления можно использовать без дополнительных источников энергии на протяжении всего отопительного периода.

Эффективность применения систем воздушного отопления с тепловыми насосами приемлема при температуре наружного воздуха до минус 15 °C, при дальнейшем снижении температуры наружного воздуха целесообразно комбинированное применение систем воздушного отопления с другими системами отопления.

Применение систем традиционного водяного отопления не целесообразно.

Из приведенных в таблице и на рисунке данных расчетов можно сделать вывод, что с точки зрения эффективности использования для тепловых насосов в наибольшей степени подходит напольное отопление.

Тепло подземных вод является возобновляемым и экологически чистым источником энергии. Технология получения геотермальной энергии также экологически безопасна. В отличие от традиционных видов топлива, сжигаемых в котельных, использование геотермальной энергии не сопровождается выбросами вредных веществ, дыма и копоти в воздух.

В отдельных районах Беларуси температура воды в недрах составляет 80 градусов по Цельсию и выше. Однако с увеличением глубины ее залегания возрастает и соленость рассолов, которая затрудняет извлечение воды. Для этого необходимы специальные технологические решения. До настоящего времени Беларуси выгоднее использовать энергию воды из скважин глубиной до 100 м с низкой минерализацией.

1.4 Эффективность использования вторичных и возобновляемых источников энергии

Выполненный анализ возможного потенциального использования возобновляемых и вторичных источников тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения массового жилищного фонда Республики Беларусь свидетельствует о том, что менее затратными и в тоже время позволяющими получить значительный эффект являются технические решения позволяющие утилизировать тепло, выделяемое в жилье в процессе жизнедеятельности. Это технические решения по утилизации тепловой энергии вентилируемого воздуха, а также технические решения по утилизации тепловой энергии сточных вод («серых» стоков).

Существенное снижение энергопотребления на отопление и горячее водоснабжение зданий может быть достигнуто при использовании в системах отопления и горячего водоснабжения технических решений, использующих энергию солнца и грунта. Вместе с тем эти технические решения требуют достаточно больших затрат, которые увеличивают себестоимость квадратного метра возводимого жилья. Выполненная в Государственной предприятии «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» оценка возможного увеличения себестоимости м² жилья при внедрении описанных выше технических решений свидетельствует, что внедрение принудительной системы вентиляции с рекуперацией тепловой энергии вентилируемого воздуха увеличивает себестоимость м² жилья в среднем от 6 % до 8 %; применение систем утилизации тепловой энергии сточных вод на 4–5 %; солнечных коллекторов для приготовления горячей воды на 8 %; тепловых насосов скважинного типа более 15 %; тепловых насосов утилизующих тепловую энергию канализационных стоков на 12-15 и более процентов.

При этом снижение энергопотребления на отопление при использовании принудительной системы вентиляции с рекуперацией тепловой энергии вентилируемого воздуха составляет 50-55 %; уровень снижения энергопотребления на подготовку горячей воды при утилизации

тепловой энергии сточных вод также составляет около 50 %; применение солнечных коллекторов при подготовке горячей воды снижает энергопотребление в среднем по году на 10-12 %; использование тепловых насосов скважинного типа позволяет снизить затраты энергии на отопление и горячее водоснабжение до 10 %; тепловых насос утилизирующих тепловую энергию канализационных стоков на 40-44 %.

Приведенные данные о затратах на реализацию энергосберегающих технических решений в массовом жилищном строительстве и полученном энергосберегающем эффекте указывает на необходимость реализации в первую очередь таких решений, которые при меньших капитальных затратах позволяют получить наибольший эффект.

Выполненная технико-экономическая оценка позволяет утверждать, что на данном этапе экономического развития государства наиболее рационально использовать технические решения по утилизации тепловой энергии выделяемой в процессе жизнедеятельности человека (вторичной), а именно, принудительную систему вентиляции с рекуперацией тепловой энергии вентилируемого воздуха, и системы, утилизирующие тепловую энергию сточных вод, в отдельных случаях тепловые насосы и энергию солнечной радиации.

На рис. 1.16 представлен один из возможных вариантов оснащения современных зданий массового строительства инженерными системами использующие вторичные и возобновляемые источники энергии.

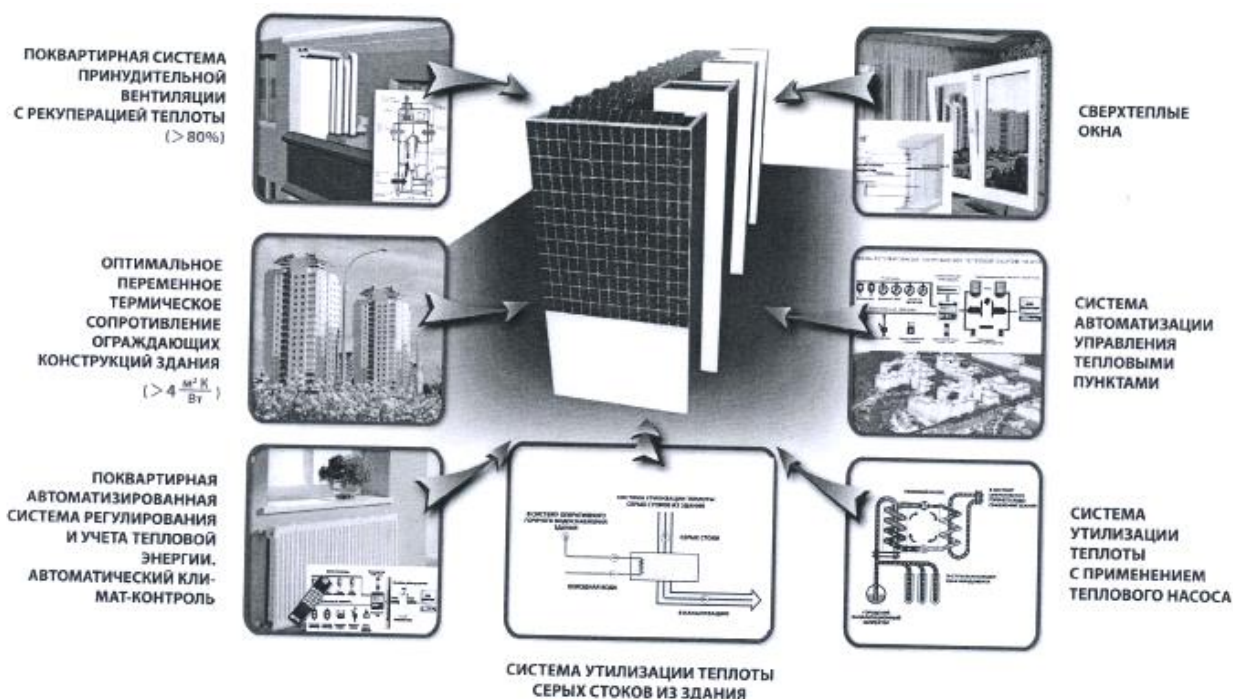


Рисунок 1.16 – Оснащение жилых зданий инженерными системами, использующими вторичные и возобновляемые источники энергии

2 СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Под системой отопления и горячего водоснабжения понимается комплекс технических элементов, назначение которых получение, перенос и передача тепловой энергии в обогреваемые помещения в количестве, необходимом для поддержания температурного режима на заданном уровне и снабжение здания горячей водой.

Системы отопления и горячего водоснабжения применяемые в Республике Беларусь можно разделить на централизованные и децентрализованные.

Централизованные системы предназначены для отопления и горячего водоснабжения многоэтажных или многих зданий от одного теплового пункта, который проектируется, как правило, для группы зданий. При этом в качестве теплоносителя в большинстве случаев применяется вода. Вместе с тем в централизованных системах в качестве теплоносителя может использоваться также пар, воздух и специальный газ. Необходимо отметить, что в республике для теплоснабжения такие системы не применяются. В зависимости от вида теплоносителя централизованные системы отопления подразделяются на водяные, паровые, воздушные и газовые.

Централизованные системы подразделяются на системы с естественной системой циркуляции (редко) и с механическим перекачиванием теплоносителя.

К децентрализованным (местным) системам отопления относятся системы, предназначенные для отопления нескольких жилых домов или помещений. Они могут быть газовые, электрические или с печным отоплением.

Применение децентрализованного теплоснабжения дает дополнительно следующие преимущества:

- возможность самостоятельно регулировать температурный режим в квартирах;
- обеспечить отопление квартир в переходные периоды (осень -зима, зима - весна), когда централизованные системы отключены;
- снизить затраты на устройство теплоцентралей и поквартирных теплосетей;
- исключить потери тепловой энергии в теплоцентралях и теплосетях;

– возможность индивидуального учета потребляемых энергоресурсов и более широкие возможности применения возобновляемых источников энергии (энергии грунта, солнечной и ветровой энергии, биогаза).

На настоящий момент опыт проектирования зданий с децентрализованными системами отопления и горячего водоснабжения имеется во всех регионах Республики Беларусь.

По информации министерства жилищно-коммунального хозяйства в течение 2005 – 2007 годов в ходе реализации мероприятий по децентрализации систем теплоснабжения жилищного фонда переведено около 700 индивидуальных и блокированных жилых домов (квартир) на индивидуальные системы с отключением от систем централизованного теплоснабжения.

Согласно проведенным расчетам затраты технического обслуживания внутридомовых и централизованных систем в жилых домах на один кв. метр общей площади жилого помещения в год существенно выше чем в квартирах (индивидуальных домах) с газовыми отопительными котлами. В соответствии с нормативными правовыми актами техническое обслуживание газового оборудования в жилых помещениях осуществляется за счет средств граждан по договорам с газоснабжающими организациями.

Данные по расходу тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение квартир с централизованным отоплением и индивидуальными системами отопления показывают примерно равные расходы. Вместе с тем при централизованном теплоснабжении добавляются потери тепла в подводящих сетях. По данным эксплуатирующих организаций в старых теплотрассах они достигают в отдельных случаях 30%, при применении предизолированных труб потеря составляет 3-6%.

При определении наиболее эффективных схем теплоснабжения жилых домов учитываются следующие факторы:

- наличие вблизи жилого массива действующих источников тепловой энергии (ТЭЦ);
- удаленность источников тепловой энергии от жилого массива;
- состояние теплоцентралей и уровень потерь тепловой энергии в них;
- физическое состояние оборудования ТЭЦ (оставшийся ресурс), его эффективность (КПД);
- наличие и возможность использования для организации теплоснабжения жилого массива других источников энергии, например, газа, местных видов топлива и пр.;

– возможность строительства энергоэффективного жилья и тепловой модернизации жилых массивов;

– использование вторичных и возобновляемых источников энергии для теплоснабжения жилых массивов (бытовые энерговыделения, энергия солнца, энергия грунта, биогаза и пр.) и др.

– разную стоимость вырабатываемой энергии при использовании различных источников (например, ТЭЦ и районных котельных).

В каждом конкретном случае выполняется подробное технико-экономическое обоснование с рассмотрением различных схем теплоснабжения и выбором наиболее экономичного варианта с прогнозированием ситуации возможного роста стоимости энергоресурсов в ближайшей, среднесрочной и отдаленной перспективе.

В Республике Беларусь применяются следующие варианты отопления и горячего водоснабжения зданий:

– централизованное с использованием тепла ТЭЦ, т. е. электростанций, работающих по теплофикационному циклу;

– с использованием районных котельных агрегатов;

– с использованием блочных отопительных агрегатов типа крышных котельных или отопительных блоков для нескольких зданий;

– индивидуальное, в том числе с использованием индивидуальных газовых котлов.

2.1 Централизованное теплоснабжение

Централизованное теплоснабжение как правило базируется на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), которые являются основным источником тепло- и электроснабжения крупных городов. В частности, в г. Минске за счет ТЭЦ покрывается 85 % потребности города по тепловой нагрузке (см. рис. 2.1).

Централизованное теплоснабжение с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии (с когенерацией) (см. рис. 2.2) значительно уменьшает потребление топлива для энергоснабжения городов. Энергетический эффект от теплофикации проявляется в экономии топлива за счет комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. Комбинированное энергоснабжение за счет паротурбинных ТЭЦ расходует на 25 - 30 % меньше топлива, чем отдельное.

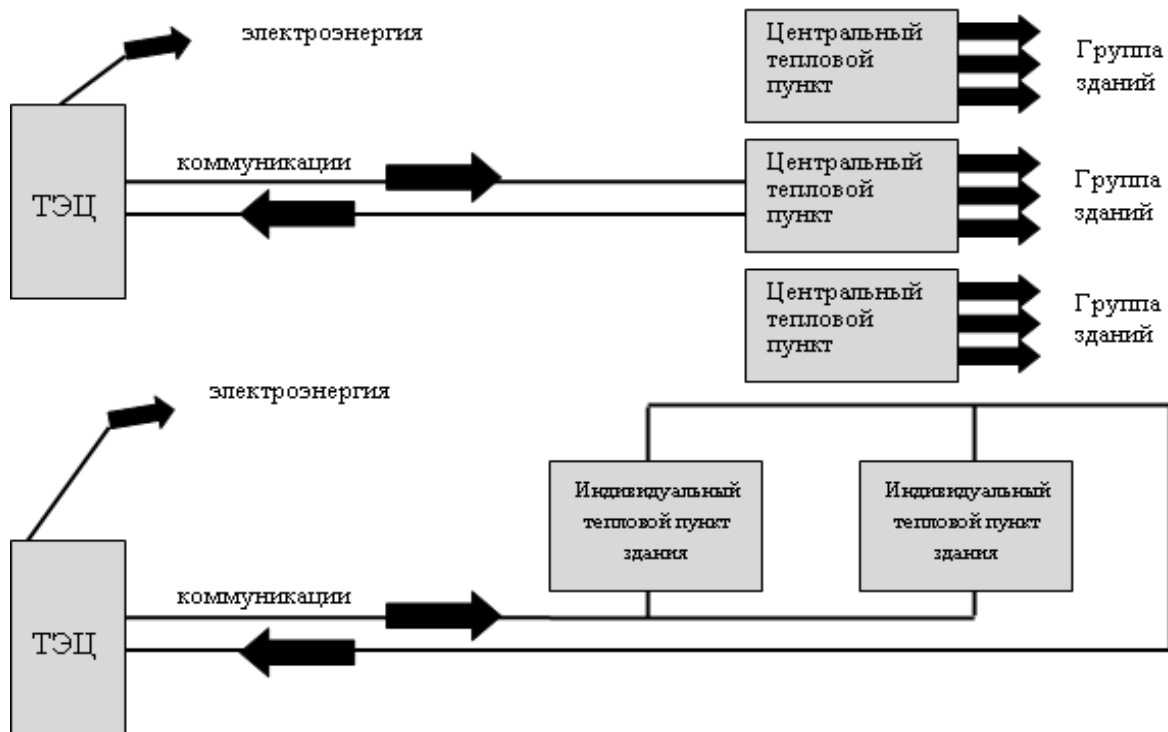


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема теплоснабжения от ТЭЦ

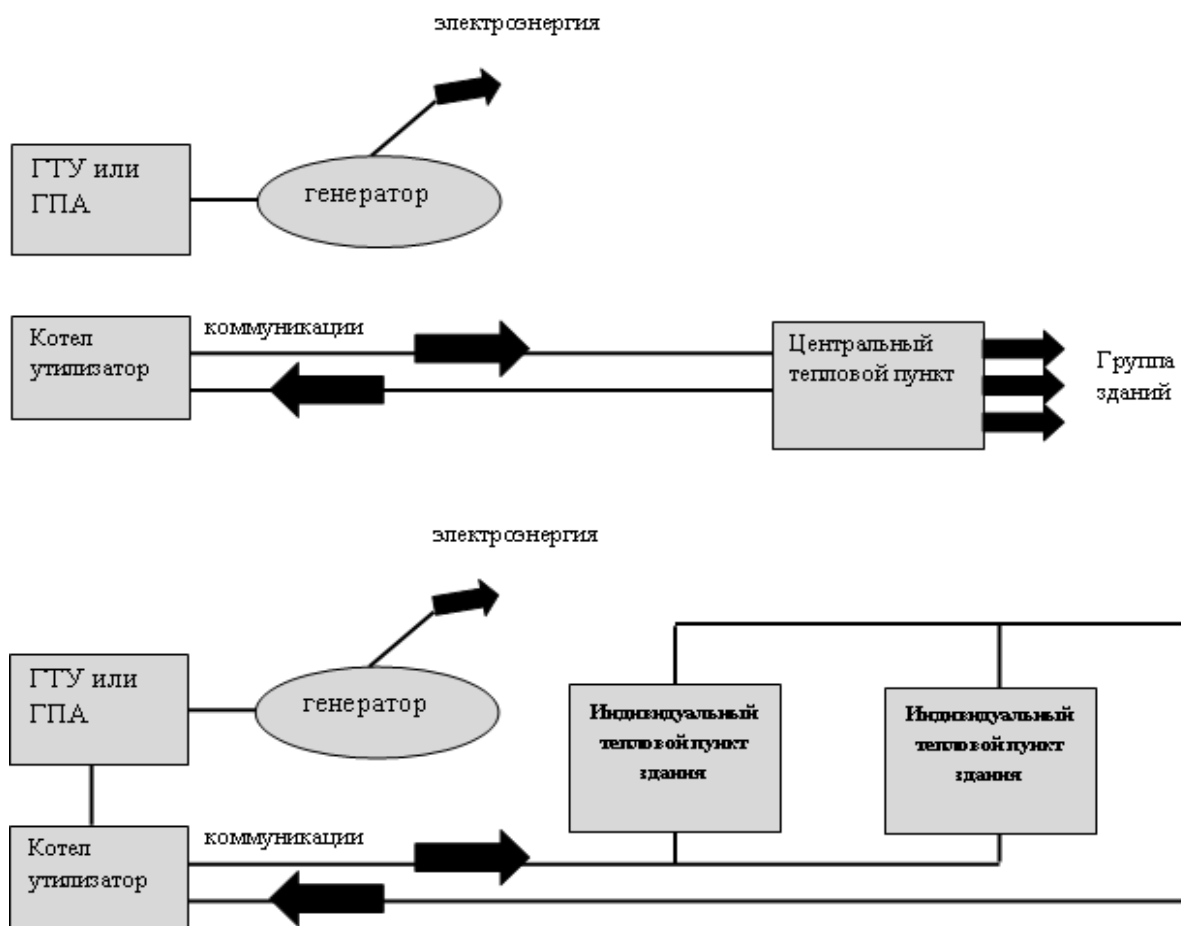


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема теплоснабжения от когенерационных установок на базе тепловых двигателей газотурбинных установок (ГТУ) и газопоршневых агрегатов (ГПА)

Основным недостатком централизованного теплоснабжения является высокий уровень повреждаемости тепловых сетей и потерь тепловой энергии в них (до 15-20 %). Вместе с тем применение предизолированных труб при модернизации теплоцентрали может снизить теплопотери до 6 %.

Сезонность потребления тепловой энергии для отопления порождает второй недостаток ТЭЦ.

В зимний период для обеспечения теплом потребителей приходится вырабатывать больше электрической энергии, чем необходимо.

В летний период остается излишек тепловой энергии, что приводит к неэкономичному режиму выработки электроэнергии.

2.2 Районные системы теплоснабжения

Районные системы теплоснабжения применяются в удаленных от ТЭЦ регионах республики, испытывающих дефицит электрической энергии. Достоинства данной схемы по сравнению с ТЭЦ следующие:

- электрический КПД - 38 - 46% (КПД паротурбинных установок - 25 -30%), суммарный 63 - 76%;

- возможность монтажа оборудования непосредственно в жилом районе, что позволяет уменьшить протяженность тепловых сетей и снизить тепловые потери;

- большой диапазон выпускаемых энергоагрегатов - от 0,25 МВт до 16 МВт для ГПА и от 2,5 МВт до 150 МВт для ГТУ;

- высокий общий коэффициент использования топлива - 87-92%;

- срок окупаемости оборудования по сравнению с котельной в 2 - 2,5 раза короче, так как при сжигании каждого кубометра газа доля генерируемой электроэнергии, которая в 3 - 5 раз дороже тепловой энергии, составляет 35 - 45 %;

- снижение затрат на прокладку подводящих электрических сетей.

Удельный расход топлива на производство энергии составляет:

- электроэнергии - 135 - 165 гу.т./кВт.ч,

- теплоэнергии - 163 - 170 кг у.т./Гкал.

Суммарный 298 - 335 г у.т./кВт.ч.

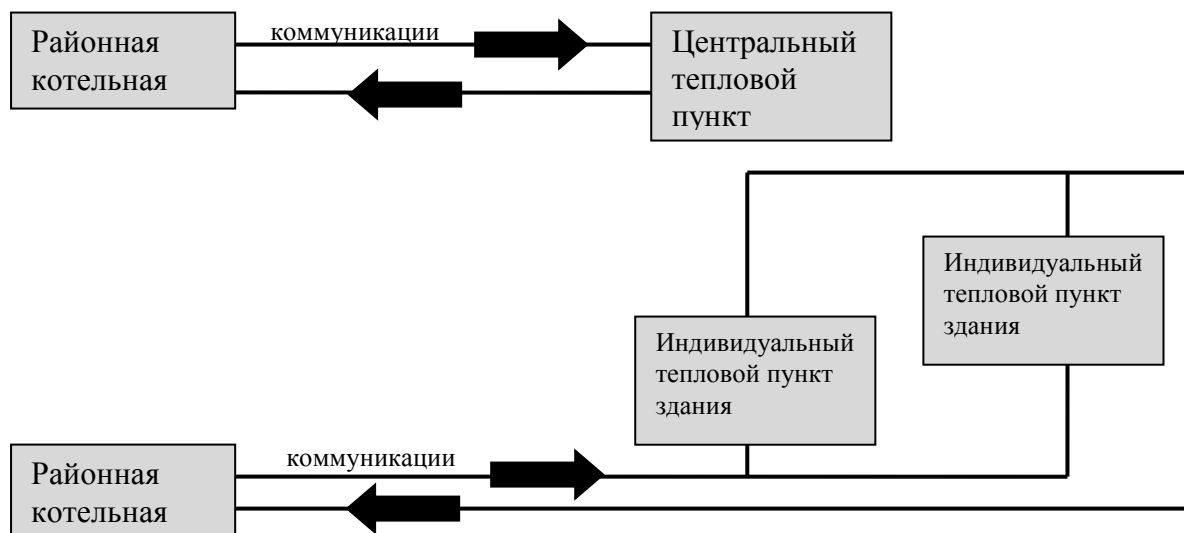


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема теплоснабжения от районной котельной

Средний удельный расход тепла на отпуск тепла районными котельными составляет 160,8 кг/Гкал. При этом их КПД находится в диапазоне от 88 до 92 %.

Преимуществом теплофикации от районных котельных являются:

- близость их к потребителям тепла, что значительно сокращает потери по трассе (потери составляют 5 %);
- возможность быстрого ввода источников тепловой энергии «под ключ»;
- повышение надежности и удешевление транспорта тепловой энергии.

Основным недостатком является низкий коэффициент использования топлива по сравнению с ТЭЦ и когерационными установками на базе ГТУ и ГПА, так как здесь тепло является дополнением к вырабатываемой электрической энергии.

2.3 Модульные, крышные котельные

Современные модульные котельные имеют КПД до 93 - 97 %, а котельные, оборудованные конденсатными газовыми котлами фирм «Viessmann», «Buderus», «Weihaupt», - до 99 % (см. рис. 2.4).

Указанные значения КПД достигаются за счет автоматического регулирования коэффициента избытка воздуха, применения специальных теплообменных установок, позволяющих использовать тепло конденсации паров воды, содержащихся в дымовых газах.

Модульные котельные эксплуатируются в удаленных от ТЭЦ и районных котельных для снабжения теплом отдаленных жилых зданий и групп зданий, агрогородков, объектов социального назначения (санатории, дома отдыха и т.д.).

Диапазон котельных по тепловой мощности - от 30 кВт до 220 кВт.

Преимущества модульных и крышных котельных:

- низкие затраты на строительные-монтажные работы;
- низкий удельный расход топлива на производство теплоэнергии – 133-154 кг у.т./Гкал;
- минимальные тепловые потери при транспортировке - 1 -2,5 %;
- полностью автоматизированный режим работы;
- дистанционный контроль работы и возможность управления при помощи дистанционного пульта и блока модульной связи;
- минимальное количество обслуживающего персонала.

Недостатки модульных и крышных котельных:

- высокая удельная стоимость оборудования на выработку единицы тепловой энергии по сравнению с котельными.

Они уступают когерационным установкам по коэффициенту использования топлива.

Отсутствует инфраструктура обслуживания. Шум и вибрация при работе установки.

2.4 Индивидуальные котельные установки

К индивидуальным котельным установкам относятся отопительные котлы и водонагреватели.

Мощность данных агрегатов находится в диапазоне от 4 кВт до 60 кВт. Исходя из тепловой мощности они применяются в коттеджном строительстве, для учреждений здравоохранения, соцкультбыта площадью от 80 м³ до 600 м⁵.

Преимущества индивидуальных котельных установок:

- автоматический режим работы;
 - низкий расход топлива на производство тепловой энергии 130÷150 кг у.т./Гкал;
 - отсутствие обслуживающего персонала;
 - индивидуальное регулирование микроклимата;
 - отсутствие внешних тепловых сетей, минимальные тепловые потери.
- Недостатки индивидуальных котельных установок:

– высокая удельная стоимость оборудования на выработку единицы тепловой энергии по сравнению с котельными.

Преимущества системы:

– низкая стоимость эксплуатации (20 - 25 тыс. руб./месяц отопительного сезона);

– индивидуальная управляемость системы отопления и горячего водоснабжения, особенно в переходные периоды года.

Недостатки систем отопления с газовыми котлами:

– низкой культурой обслуживания системы;

– дополнительными затратами электроэнергии в зимнее время на работу циркуляционного насоса;

– шум от работы системы;

– в квартирах с открытой камерой сгорания на недостатки, связанные с вентиляцией.

Возникает также вопрос о замене отопительных агрегатов в квартире после окончания срока эксплуатации (около 10 лет). Пенсионерам и лицам с низким доходом затруднительна замена агрегата. При обследовании квартир в жаркую погоду обращает на себя внимание низкое качество воздуха (спертость) во всех квартирах.

При проектировании и комплектации системами отопления и горячего водоснабжения энергоэффективных жилых домов имеет место определенная специфика, заключающаяся в том, что режим работы системы отопления должен быть согласован с режимом функционирования системы вентиляции и эффективностью рекуперации тепловой энергии вентилируемого воздуха.

Количество тепловой энергии поступающей в жилые помещения квартир от системы отопления должно регулироваться общим блоком управления системой отопления и системой вентиляции и обеспечивать заданный температурный уровень в помещениях.

Общий тепловой баланс в этом случае рассчитывается с учетом указанных теплопоступлений.

3 ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Мониторинг энергоэффективных жилых домов проводился с целью определения энергоэффективности реализованных технических решений включая теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий, уровень потребления тепловой энергии на отопление, санитарно-гигиенических условий проживания владельцев квартир. Производился контроль и анализ следующих параметров:

- однородность наружных стен по теплотехническим характеристикам;
- сопротивление теплопередаче наружных стен, окон и балконных дверей;
- качество и температурно-влажностные характеристики воздушной среды внутри квартир;
- интенсивность воздухообмена внутри квартир;
- расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию;
- расход тепловой энергии в системе горячего водоснабжения.

Применяемые в процессе мониторинга средства измерений были проверены и калиброваны в соответствии с СТБ 8003-93 [9] и СТБ 8004-93 [13].

Мониторингу предшествовал анализ проектно-сметной документации жилых домов: принятые конструктивные решения, включая ограждающие конструкции, узлы и сопряжения элементов ограждения, технические характеристики и проектные решения систем вентиляции, отопления, холодного и горячего водоснабжения, санитарно-технических систем.

Учитывались такие факторы как ориентация здания по частям света, особенности прилегающей застройки и пр.

Мониторинг энергоэффективных жилых зданий включал контроль параметров микроклимата в жилых помещениях домов:

- температуру и относительную влажность воздуха;
- скорость движения воздуха, включая места забора и истечения из систем принудительной вентиляции;
- температуру внутренней поверхности наружных стен.

Сопротивление теплопередаче R_0 определялось в соответствии с ГОСТ 26254-84 [10]. Для участков ограждающих конструкций, имеющих неоднородные участки (стыки, притворы, теплопроводящие включения и пр.) определялось приведенное сопротивление теплопередаче $R_o^{пр}$. Показатели микроклимата в жилых помещениях сравнивались с нормативными значениями ГОСТ 30494-96 (табл. 1.2) [11].

Методика определения сопротивления теплопередаче наружных стен жилых зданий включала проведение телевизионной съемки зданий в зимний период, предварительное обследование ограждающих конструкций на их соответствие проекту.

К настоящему времени в стране построено более 2,5 млн. м² зданий с показателем энергопотребления на отопление не более 60 кВт·ч/ м² в год. Первое здание панельного типа серии 111-90 МАПИД с принудительной системой вентиляции и рекуперацией тепловой энергии вентилируемого воздуха было построено в г. Минске по улице Притыцкого, 107 (рис. 3.1). Расчетный уровень удельного годового потребления тепловой энергии на отопление в этом доме планировалось не более 30 кВт·ч/ м² в год. В таблице 3.1 представлены расчетные значения удельного годового потребления тепла в различно расположенных квартирах здания.



Рисунок 3.1 – Энергоэффективное здание в г. Минске

Таблица 3.1 – Расход энергии на отопление квартир на м² отапливаемой площади за отопительный период (202 сут.) при средней наружной температуре воздуха (- 1,6 °С), кВт·ч/ м² в год.

Приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепла вытяжного воздуха ($\eta = 80\%$), R торцовых стен 5,2 и 4,2 м ² °С/Вт; R наружных стен 1 и 9 этажей и выступов = 4,2 м ² °С/Вт; R окон = 1 м ² °С/Вт; R наружных стен 2-8 этажей = 3,2 м ² °С/Вт; R перекрытия пола = 2,5 м ² °С/Вт; R перекрытия последнего этажа = 6 м ² °С/Вт; Средняя температура воздуха под перекрытием первого этажа = + 8 °С/Вт; тепловыделения внутренних источников q = 4 Вт/м ²															
Наименование	Этаж	Блок-секция 1 (торец СВ)				Блок-секция 2				Блок-секция 4 (торец ЮЗ)				По дому	
Квартира №	1	1	2	3	4	45	45	Про-ход	47	116	117	ТС	118		
Количество комнат		2	1	1	5	4	1		4	4	1	2	2		
Расход энергии на отопление, кВт·ч/м ² в год		48,3	47,4	33,7	36,6	38,6	37,0		37,0	38,6	37,0	39,1	47,5		
Квартира №	2	5	6	7	8	9	48	49	50	51	119	120	121	122	31,7
Количество комнат		2	1	1	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	
Расход энергии на отопление, кВт·ч/м ² в год		33,6	31,4	19,8	22,4	26,1	26,1	22,9	22,4	26,1	26,1	22,9	22,4	32,5	
Квартира №	9	40	41	42	43	44	76	77	78	79	147	148	149	150	
Количество комнат		2	1	1	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	
Расход энергии на отопление, кВт·ч/м ² в год		49,7	48,9	34,2	36,9	40,6	40,6	37,3	36,9	40,6	40,6	37,3	36,9	49,0	
Примечание – расход тепла на отопление квартир 3-8 этажей равен расходу тепла квартир 2-го этажа, расход тепла на отопление квартир 3-й блок-секции равен расходу тепла квартир 2-й блок-секции.															

В период эксплуатации дома за отопительный сезон 2007-2008, 2008 - 2009 гг. и 2009 - 2010 гг. получены фактические данные по расходу тепловой энергии на отопление квартир экспериментального энергоэффективного дома. На рисунке 3.2 приведены фактические удельные расходы тепла на отопление квартир в здании по итогам первых двух отопительных сезонов. Средний уровень удельного теплоснабжения, рассчитанный по данным рисунка 2.2, равен $44 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Эта цифра выше расчетного уровня, равного $30 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Разница объясняется тем обстоятельством, что расчет теплопотерь выполнялся на температуру воздуха в жилых помещениях, равную 18°C , в то время как средняя температура в помещениях по данным наблюдения была равна 21°C . Разность температур 3°C дает дополнительно 15% увеличение уровня теплопотерь, т. е. $4,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. К тому следует добавить, что дом сдавался без выполнения отделочных работ и заселение его происходило медленно. Поэтому в теплоснабжении здания отсутствовали внутренние источники тепла. Анализ потребления тепловой энергии зданием в течение отопительных сезонов 2008 – 2011 гг. свидетельствует, что среднее значение удельного расхода тепла на отопление в 2010 – 2011 г. составило $37 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год, то есть уменьшилось до расчетных значений.

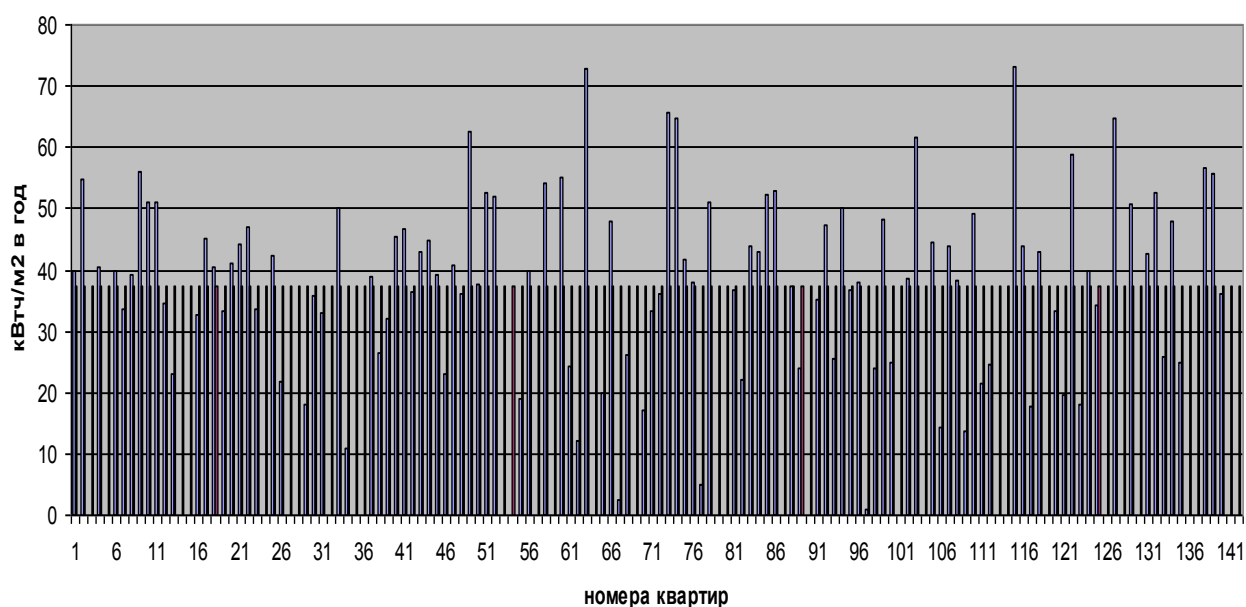


Рисунок 3.2 – Фактические удельные расходы тепла на отопление квартир энергоэффективного дома по результатам отопительных сезонов 2008 – 2009 гг. и 2009 – 2010 гг.

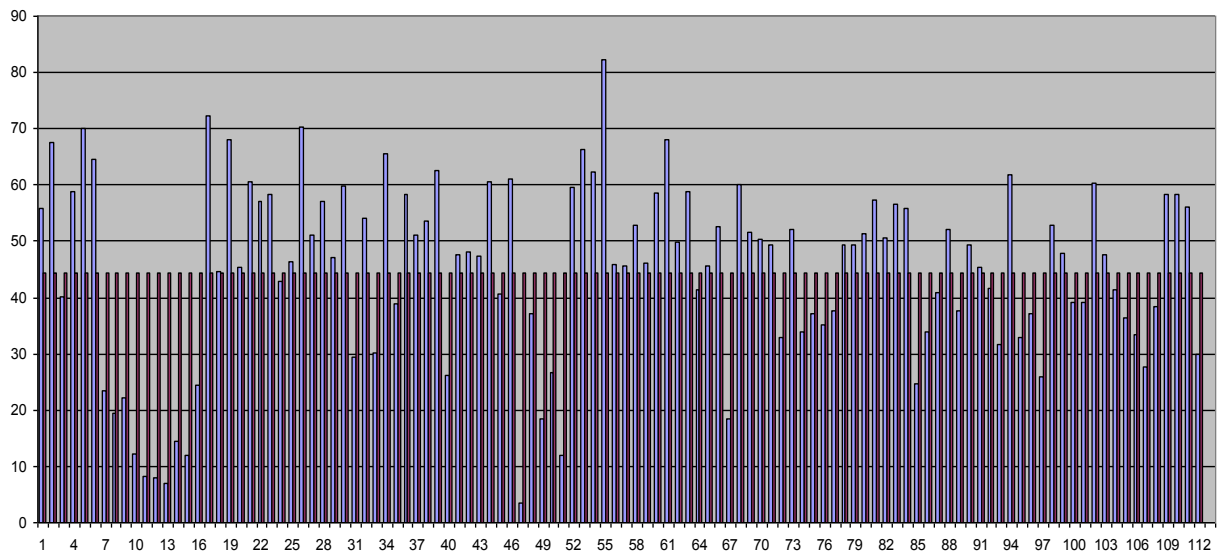


Рисунок 3.3 – Фактические удельные расходы тепла на отопление квартир энергоэффективного дома по результатам отопительного сезона 2010 – 2011 гг.

В октябре 2009 г. введено в эксплуатацию энергоэффективное жилое здание в г. Гродно.

Расчетный удельных расход тепловой энергии на отопление здания с общей площадью квартир 4456,4 м² составляет 30,4 кВт·ч/м².

На рисунке 3.4 приведен общий вид здания.



Рисунок – 3.4 – Общий вид энергоэффективного здания в г. Гродно

По результатам эксплуатации здания в отопительном сезоне 2010 – 2011 гг. получены значения удельного потребления тепла на отопление квартир, которые приведены на рисунке 3.5. Как и в здании в г. Минске, среднее потребление тепловой энергии составило 39,5 кВт·ч/м² в год, выше расчетного значения (30,4 кВт·ч/м² в год), что объясняется повышенной температурой воздуха в квартирах, равной 22 °С, и неполной заселенностью здания. К тому же, при посещении здания выяснилось, что кухонные вытяжки жителю подключили к каналу свободной вентиляции, что увеличивает потери тепла в здании в моменты приготовления пищи и не дает возможности использования выделяемой в процессе приготовления пищи тепловой энергии.

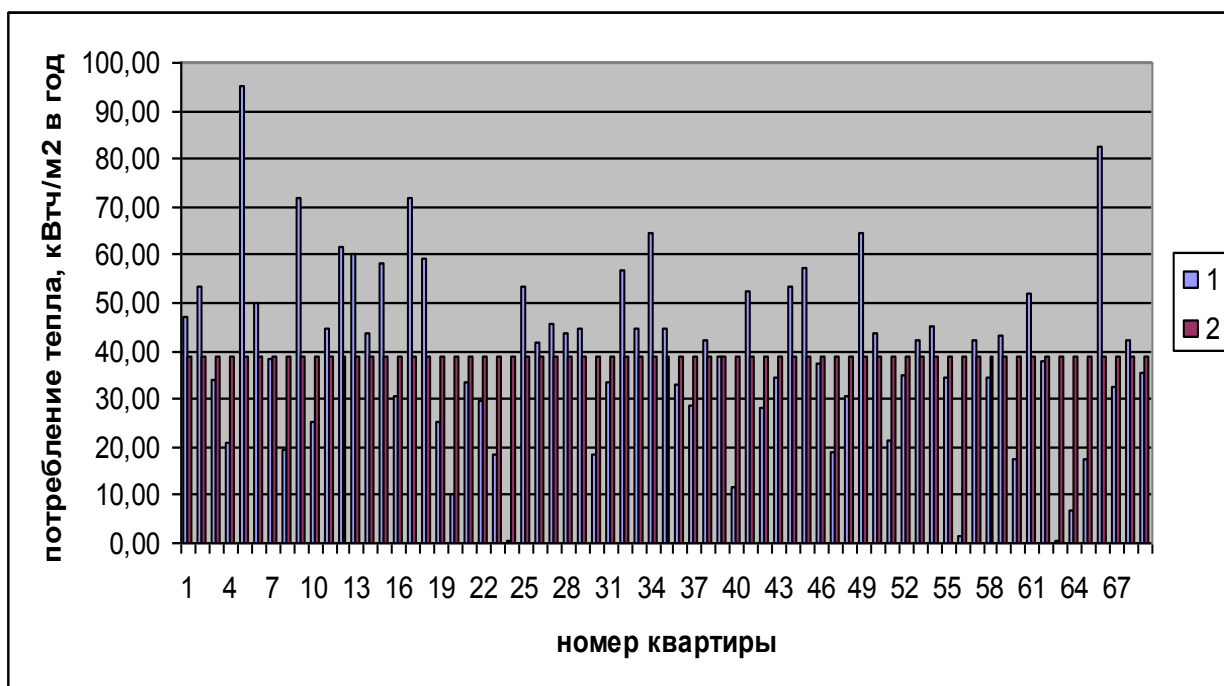


Рисунок 3.5 – Фактические удельные расходы тепла на отопление квартир энергоэффективного дома в г. Гродно по результатам отопительного сезона 2010 – 2011 гг.

Проведенная тепловизионная съемка поверхности ограждающих конструкций жилого дома в целом свидетельствует о ее однородности по теплотехническим характеристикам (см. рис. 3.6, 3.7, 3.8), в углах, местах примыкания крыши к фасаду и стыков межэтажных перекрытий и наружных стен и пр. имеют место повышенные «утечки» тепловой энергии. Эти элементы оболочки здания требуют конструктивной доработки для исключения повышения теплопотерь.

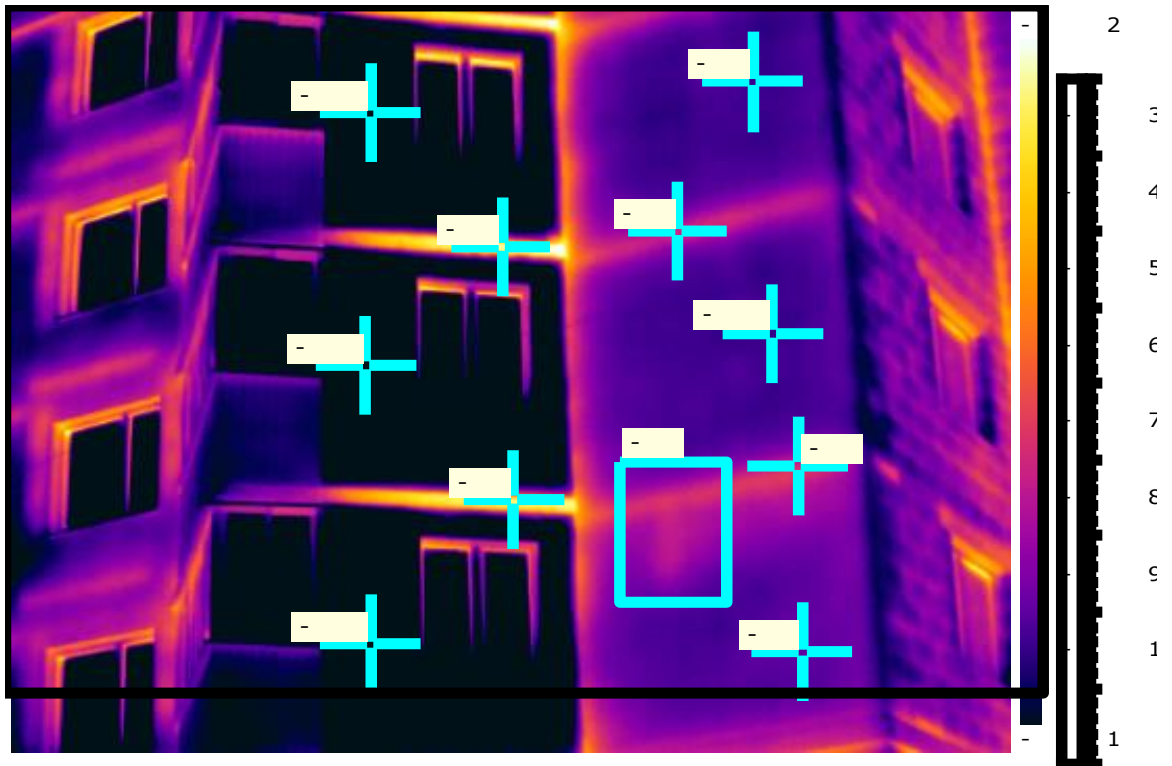


Рисунок 3.6 – Тепловизионный фотоснимок дома по ул. Дзержинского, 23б,
 $T_{нар.} = - 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$

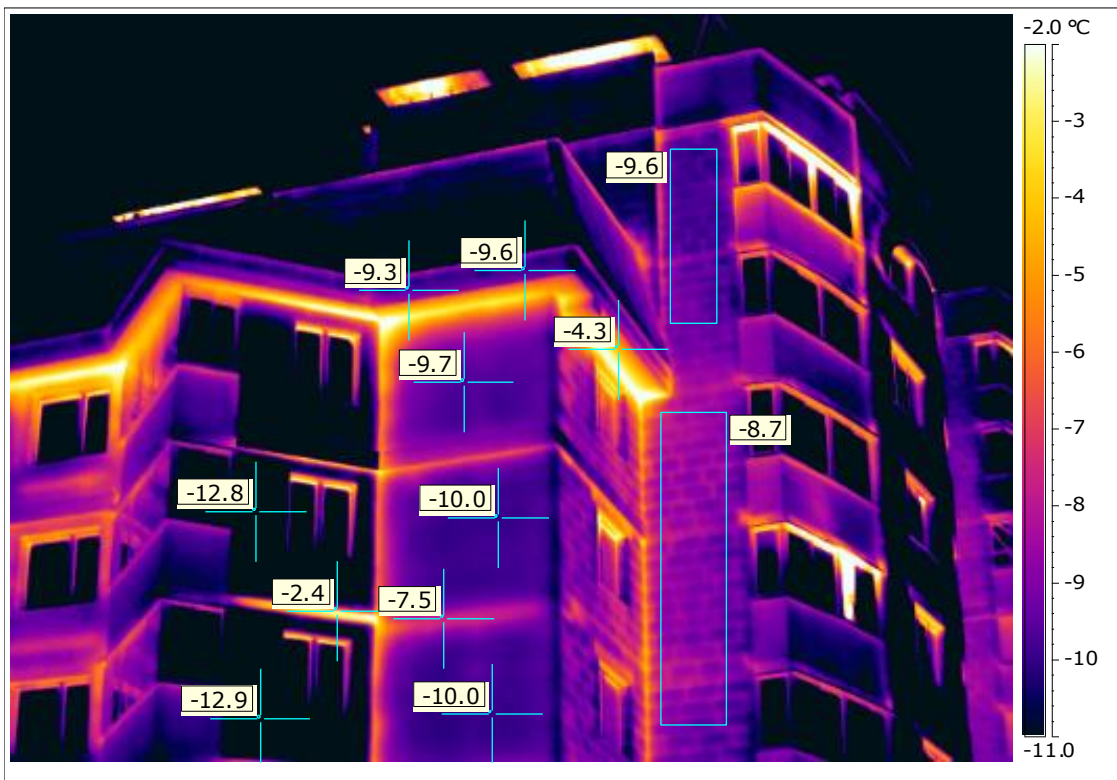


Рисунок 3.7 – Тепловизионный и фотоснимок дома по ул. Дзержинского, 23б,
 $T_{нар.} = -11\text{ °C}$

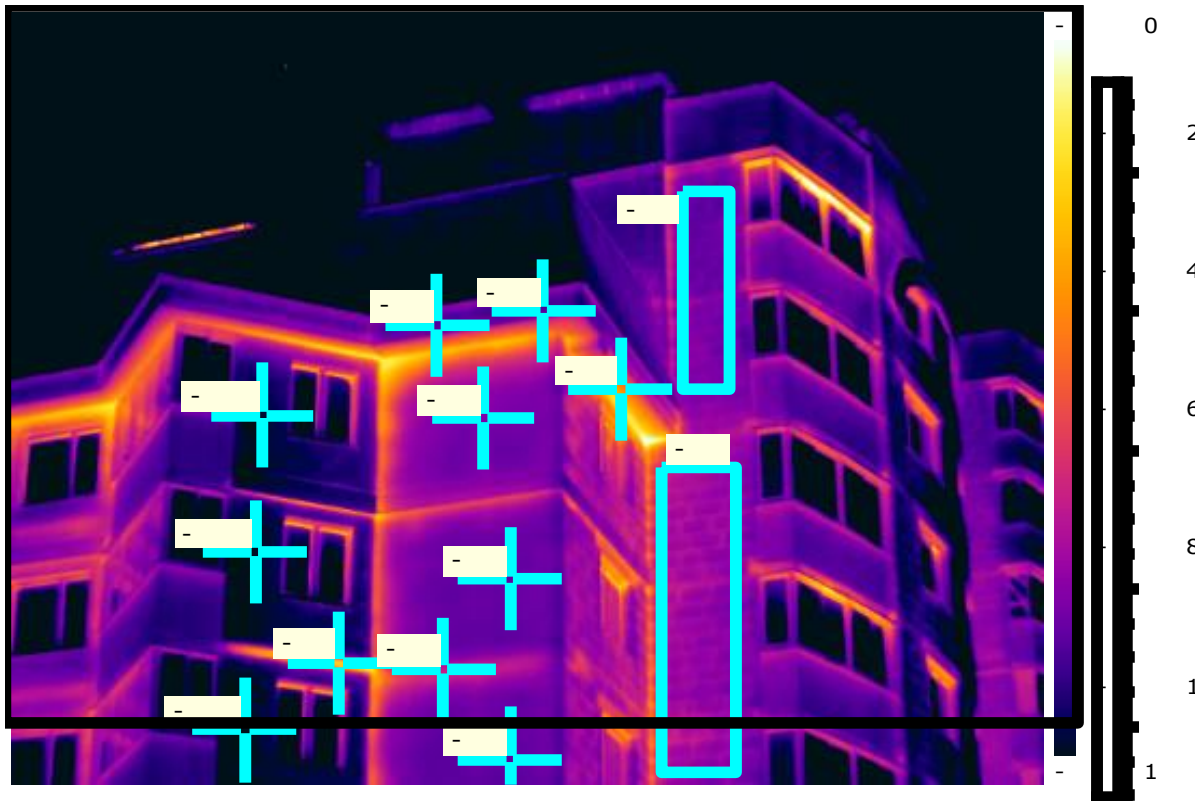


Рисунок 3.8 – Тепловизионный и фотоснимок дома по ул. Дзержинского, 23б,
 $T_{нар.} = -11\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таким образом, наблюдение за построенными зданиями на стадии их эксплуатации подтвердило достижение проектных теплотехнических характеристик и надежность предложенных технических и проектных решений, что служит основой для их дальнейшего массового строительства.

Вместе с тем анализ информации, полученной в период мониторинга жилого дома позволил сделать следующие рекомендации, которые необходимо учитывать при разработке последующих проектов энергоэффективных жилых домов, это:

- в проектах не допускать устройство в кухнях открытых каналов вытяжки с естественным побуждением с целью снижения количества воздуха, попадаемого в теплоутилизационные агрегаты;

- необходимо разработать альбом технических решений элементов ограждений жилых зданий таких как: наружные стены, перекрытия первого и последнего этажей, стены, угловые элементы и пр., исключающих возможность возникновения участков с повышенными теплопотерями;

- в проектах жилых домов предусматривать системы дистанционного сбора информации показателей индивидуальных счетчиков тепловой энергии и сбора информации о работе принудительной вентиляции, обеспечивать отдельный учет тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение;

- необходимо разработать рекомендации и альбом технических решений по трассировке воздуховодов в квартирах, для обеспечения минимально возможного сопротивления воздушным потокам;

- необходима разработка соответствующей нормативной базы по проектированию энергоэффективных жилых домов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт проектирования и строительства энергоэффективных жилых домов в Республике Беларусь показал, что технические решения, базирующиеся на принципах получения максимального эффекта энергосбережения за счет утилизации тепловой энергии образующейся в процессе жизнедеятельности человека в жилых домах позволяет минимизировать капитальные затраты на проектирование, строительство и последующую эксплуатацию энергоэффективных жилых домов классов А⁺, А и В.

Однако значительного опыта по использованию вторичных и особенно возобновляемых источников энергии для энергообеспечения жилых зданий в республике нет.

Зарубежная практика использования вторичных и возобновляемых источников энергии в жилищном строительстве свидетельствует о достижении существенного экономического эффекта в этом направлении практической деятельности.

Отечественный и зарубежный опыт проектирования энергоэффективных жилых домов показал, что при проектировании таких зданий необходима соответствующая методология, основанная на сметном анализе факторов, формирующих энергетические характеристики жилого дома. При этом важно представлять, что жилое здание – это энергетическая система. Поиск оптимальных характеристик энергоэффективного жилого дома требует построения соответствующей физико-математической модели и решения оптимизационной задачи.

В настоящее время в республике использование возобновляемых источников энергии в системах энергоснабжения зданий не нашло широкого применения. Во многом, это объясняется достаточно высокими первичными капитальными затратами.

Технико-экономическая оценка возможного использования различных источников тепловой энергии используемой в системах отопления и горячего водоснабжения жилых зданий свидетельствует, что географическое расположение Республики Беларусь не позволяет круглогодично использовать солнечную энергию в системе горячего водоснабжения зданий, вместе с тем в весенне-летний и осенний периоды потенциал солнечной энергии достаточно высокий и с учетом незначительного увеличения стоимости м² жилой площади при устройстве солнечных коллекторов (8%) такие системы можно признать перспективными.

Применение тепловых насосов в настоящий период в массовом жилищном строительстве в настоящее время достаточно перспективно, учитывая достаточно высокие первичные капитальные затраты. Наиболее перспективным направлением в массовом жилищном строительстве является применение технических систем, использующих вторичные источники энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Провести исследования, разработать физико-математические модели и программы компьютерного моделирования динамики теплового баланса зданий с учетом кондуктивного, конвективного и радиационного нагрева и охлаждения, разработать рекомендации по определению оптимальных конструктивных и эксплуатационных характеристик здания, включая отопительно-вентиляционные системы и поддержанию расчетных параметров в процессе эксплуатации здания: отчет о НИР / УП «Институт НИПТИС»; научн. рук. темы В.М.Пилипенко, Л.Н.Данилевский. – Минск, 1999. – Инв. № 99 ОТ 214НИР. – 79 с.
2. Данилевский, Л. Энергоэффективный панельный дом серии III – МАПИД / Л.Данилевский, В.Пилипенко, В.Потерщук // Архитектура и строительство. – 2007.–2 №2–с.98 – 101.
3. Hans – Dieter Hegner, Ingrid Vogler Energieeinsparverordnung ENEC – für die Praxis Kommentiert. – Berlin. – Sohn, 2002. – 507 с.
4. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования.
5. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. Монография. – М.: Издательства АСВ, 2009 – 296 с.
6. Разработка проектно-технической документации на технологии, установки и оборудование для повышения энергоэффективности двух жилых зданий в Республике Беларусь: отчет о НИР / УП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.». Научн. руководитель темы Л.Н.Данилевский. – Минск, 2014 инв №P0236 2013. – 37 с.
7. Справочник по климату СССР, вып. 7 Белорусская ССР, 4.1 Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Л. Гидрометиозданий, 1996.
8. Строительная климатология и геофизика СНиП 2.01.01. – 82 – М.: Госкомиздат СССР по делам строительства, 1983.
9. СТБ 8.003 – 2011 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Проверка средства измерений. Правила проведения работ.
10. СТБ 8.004 – 2012 Система единства измерений. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ.
11. ГОСТ 26254 – 84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
12. ГОСТ 30494 – 96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
13. Отчет НИР «Института жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.». инв. № 447, Минск 2012.