

ПОВЫШЕНИЕ КЛАССА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЯ



Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Международный государственный
экологический институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета
Кафедра энергоэффективных технологий

Повышение класса энергоэффективности здания

Методические указания к выполнению
курсовой работы по дисциплине
«Эффективность энергетических систем»

Минск
ИВЦ Минфина
2023

УДК 699.8(075.8)

ББК 38.71я73

П42

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

Составители: кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры энергоэффективных технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» БГУ *В. А. Пашинский*; старший преподаватель кафедры энергоэффективных технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» БГУ *А. А. Бутько*; старший преподаватель кафедры энергоэффективных технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» БГУ *С. Г. Басько*.

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергетики учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» *П. В. Кардашов*; кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий в экологии и медицине МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ *В. А. Иванюкович*.

П42 Повышение класса энергоэффективности здания: методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Эффективность энергетических систем» / сост. В. А. Пашинский, А. А. Бутько, С. Г. Басько. – Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – 92 с.
ISBN 978-985-880-543-2.

В пособии рассматриваются вопросы жизнеобеспечения зданий, использование современных автоматизированных систем, разработка узлов энергопотребления зданий и сооружений, взаимоотношения участников процесса, их возможности в эффективности принимаемых решений. Методические указания составлены в соответствии с образовательными стандартами и учебными планами.

Предназначается студентам, обучающимся по специальностям 1-43 01 06 Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент, 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника» профилизации «Возобновляемые источники энергии и экотехнологии в энергетике», при написании курсовых работ и при выполнении дипломного проектирования.

УДК 699.8(075.8)

ББК 38.71я73

ISBN 978-985-880-543-2

© Пашинский В. А., Бутько А. А., Басько С. Г., 2023
© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Общие указания по выполнению курсовой работы	6
2. Состав и содержание курсовой работы	9
3. Геометрические и теплоэнергетические характеристики здания	10
4. Удельный расход тепловой энергии на отопление здания.....	19
4.1. Исходные данные для расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление здания.....	19
4.2. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление вентиляцию жилых и общественных зданий за отопительный период	19
4.2.1. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий без утилизации теплоты вытяжного воздуха	19
4.2.2. Расчет энергии вторичных и возобновляемых источников на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	30
4.2.3. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий с учетом утилизации тепла вытяжного воздуха.....	31
4.3. Нормативный удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.....	32
4.4. Расчет удельного расхода энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения.....	34
5. Показатели энергетической эффективности зданий	37
5.1. Классы зданий по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период	39
5.2. Порядок определения нормативных значений энергетического показателя.....	41
5.3. Повышение энергетической эффективности зданий	43
6. Основные направления снижения тепловых потерь в зданиях.....	45
6.1. Технико-экономическое обоснование термореновации ограждающих конструкций зданий	48
6.2. Технико-экономическое обоснование установки теплоотражающих экранов за радиаторами отопления	56
6.3. Технико-экономическое обоснование внедрения регуляторов расхода тепловой энергии.....	58
6.4. Технико-экономическое обоснование внедрения солнечных гелиоколлекторов для нужд горячего водоснабжения.....	64

7. Основные направления снижения потребления электроэнергии в зданиях	67
7.1. Технико-экономическое обоснование внедрения фотоэлектрических солнечных модулей	67
7.2. Технико-экономическое обоснование внедрения регулируемого электропривода насоса	69
7.3. Технико-экономическое обоснование внедрения частотного преобразователя для технологического оборудования	72
7.4. Технико-экономическое обоснование внедрения автоматических систем компенсации реактивной мощности.....	73
8. Свидетельство об энергетической эффективности здания	75
Рекомендуемая литература.....	76
Приложение А – Титульный лист пояснительной записки	77
Приложение Б – Задание на курсовое проектирование.....	78
Приложение В – Варианты курсового проектирования.....	81
Приложение Г – Форма свидетельства об энергетической эффективности здания	84
Приложение Д – Коэффициент $k_{\text{квар}}$, в соответствии со значениями текущего коэффициента мощности $\cos \varphi_1$ и требуемого $\cos \varphi_2$, квар/кВт.....	90

Введение

Ввод в действие строительных правил СП 2.04.02-2020 [1] и строительных норм СН 2.04.02-2020 привели к совершенно новым для Республики Беларусь задачам, связанным с определением теплоэнергетических характеристик тепловой защиты вновь строящихся и реконструируемых (модернизируемых) зданий различного назначения (далее – здания). Энергетическая эффективность зданий устанавливается по разным показателям энергетической эффективности:

- по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период имеется 8 классов (A_{h+} ; A_h ; B_h ; C_h ; D_h ; E_h ; F_h ; G_h);

- по показателю удельного расхода энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения имеется 8 классов (A_{hw+} ; A_{hw} ; B_{hw} ; C_{hw} ; D_{hw} ; E_{hw} ; F_{hw} ; G_{hw});

- по общему показателю энергетической эффективности многоквартирных жилых зданий имеется 8 классов ($A_{h,hw+}$; $A_{h,hw}$; $B_{h,hw}$; $C_{h,hw}$; $D_{h,hw}$; $E_{h,hw}$; $F_{h,hw}$; $G_{h,hw}$).

Переход к массовому строительству энергоэффективного жилья в Республике Беларусь ставит перед проектировщиками, строителями и эксплуатационниками возникла необходимость поиска новых конструктивно-технологических решений, строительных материалов направленных на повышение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций от 3,2 до 6 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. В глобальном масштабе – это один из способов оптимизации топливно-энергетического баланса страны, поскольку на отопление и горячее водоснабжение расходуется 1/3 потребляемых энергоресурсов. Движение по этому пути, который параллельно с энергоэффективным строительством предполагает процесс термореновации (изменение тепловой защиты) зданий старой постройки, рекуперации и автоматизации теплопунктов и отопительных приборов будет способствовать более эффективному функционированию экономики государства.

Проектирование и возведение инженерных систем и строительных конструкций зданий и сооружений следует осуществлять с учетом эффективного и экономного потребления энергетических ресурсов в течение всего периода эксплуатации с целью обеспечения:

- заданных параметров микроклимата, необходимых для жизнедеятельности людей и выполнения технологических процессов;

- защиты от переувлажнения материалов ограждающих конструкций;

- сохранения долговечности и теплозащитных свойств ограждающих конструкций;

- нормативных показателей энергетической эффективности зданий.

1. Общие указания по выполнению курсовой работы

Умение выполнить проект заданной к исполнению работы является важнейшим показателем квалификации инженера. Задания на курсовое проектирование определяют задачи выполнения проекта жилого дома в объеме, близком к реальному проекту. Выполнение курсового проекта предполагает практическое воплощение теоретических знаний в реальное строительство, а также практическую подготовку к выполнению дипломного проекта.

В процессе изучения дисциплины «Эффективность энергетических систем» студентам предлагается выполнить курсовую работу с расчетно-пояснительной запиской на 25–30 страницах печатного текста, включающей в указанной последовательности структурные элементы: титульный лист; задание; содержание; введение; основная расчетная часть; заключение (выводы); список использованных источников; приложения (при необходимости).

Титульный лист расчетно-пояснительной записки представлен в приложении А. Форма задания на курсовое проектирование приведено в приложении Б. Вариант задания на проектирование выбирается студентами в соответствии с заданием на проектирование по дисциплине «Энергопотребление в зданиях и сооружениях» и является продолжением работы по этой дисциплине. Работа, выполненная не по своему варианту, к рассмотрению не принимается.

Повышение класса энергоэффективности здания осуществляется за счет проектирования теплозащиты здания. Расчетный годовой удельный расход тепловой энергии на отопление может быть уменьшен за счет:

а) рациональных объемно-планировочных решений, обеспечивающих наименьшую площадь наружных ограждающих конструкций, уменьшение количества наружных углов, увеличение ширины зданий, а также за счет рациональной компоновки многосекционных зданий;

б) изменения тепловой защиты зданий старой постройки путем устройства термореновации ограждающих конструкций здания;

в) снижения площади световых проемов до минимально необходимой согласно требованиям естественной освещенности;

г) применения в системах отопления жилых зданий индивидуальных автоматических терморегуляторов для отопительных приборов или автоматического регулирования температуры в здании.

Расчетный годовой удельный расход тепловой энергии на отопление может быть также уменьшен за счет рекуперации тепла вентиляционных

выбросов при применении приточно-вытяжных систем вентиляции с механическим побуждением.

Расчетно-пояснительная записка (далее – Записка) должна быть написана чернилами либо набрана на ПЭВМ в соответствии с СТИ МГЭУ 01.09.19 «Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ)» [2] и распечатана. Записка должна иллюстрироваться расчетными схемами и графиками.

При ограниченном сроке и большом объеме проектирования настоятельно рекомендуется, особенно в начале проектирования, использовать консультации руководителя для разрешения и согласования принципиальных вопросов.

В «Заключении» приводятся полученные данные по расчетам и сравниваются с нормативными данными потребления тепловой энергии.

Список источников должен содержать только литературу, которая непосредственно использована студентом и на которую имеются ссылки в тексте курсовой работы. Список должен быть составлен по правилам библиографии [2].

Графическая часть должна быть оформлена в соответствии с правилами, изложенными в [2] и содержать: а) план подвала (технического подполья) с размещением теплового пункта, теплопроводов и оборудования отопительной системы, б) характерные разрезы с нанесением элементов системы отопления; в) аксонометрические схемы системы отопления.

Графическая часть выполняется, как правило, в масштабе 1:100. Допускается в масштабе 1:50 или 1:200. Чертежи отдельных узлов и деталей – в масштабе 1:20, 1:50.. На планы, разрезы и узлы наносят разбивочные оси здания и расстояния между ними; размер здания по периметру; отметки чистых полов этажей и основных площадок; диаметры теплопроводов систем отопления; обозначения стояков систем отопления; привязку к разбивочным осям здания отопительно-вентиляционных установок; диаметры (сечения) воздуховодов и каналов и их привязку к разбивочным осям здания.

Примечание. Состав курсовой работы может изменяться в зависимости от задания.

Чертеж может быть выполнен как в карандаше, так и в графическом редакторе на ПЭВМ. Пользуясь современными компьютерными программами типа «AutoCAD», «Компас», студенты приобретают навыки работы с ними, что демонстрируют в работе.

Объектом исследования является жилое здание старой постройки городского квартала. Характеристики здания приводятся в задании.

Целью курсовой работы является повышение класса энергоэффективности здания для последующей разработки комплекса типовых энергосберегающих мероприятий в рамках тепловой модернизации жилого здания с повышением энергоэффективности здания до класса A_h+ или A_h .

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1 Оценить энергоэффективность типового проекта жилого здания путем теплотехнического и теплоэнергетического расчета.

2. Провести анализ возможности повышения энергоэффективности жилого здания с применением оборудования автоматизации системы отопления и рекуперации тепла вытяжного воздуха системы вентиляции.

3. Сделать сравнительные теплоэнергетические расчеты жилого здания с применением оборудования и устройств автоматизации системы отопления и системы вентиляции с рекуперацией тепла и выявить наиболее подходящий метод снижения потребления тепловой энергии.

3. Сделать технико-экономическое обоснование предложенных решений.

С целью систематизации материал пособия изложен в сжатой форме и не ограничивает студентов в самостоятельной работе с литературой при выполнении курсовой работы и подготовке к сдаче экзамена по дисциплине. Теоретический материал пособия сопровождается решением типового варианта.

Курсовая работа выполняется в строгом соответствии с заданием.

Изменение в задание может вносить только руководитель работы. Выданное задание прилагается к курсовой работе, являясь его неотъемлемой частью.

Состав и объем курсовой работы:

а) расчетно-пояснительная записка на 20–25 листах писчей бумаги формата А4;

б) графическая часть: план здания, разрезы ограждающих конструкций (стен, пола, перекрытий) в принятом масштабе, аксонометрические схемы системы отопления с заполнением листа графической части формата А1 не менее 75 %.

2. Состав и содержание курсовой работы

I. Расчетно-пояснительная записка

Введение

1. Геометрические и теплоэнергетические характеристики здания.
2. Удельный расход тепловой энергии на отопление здания.
 - 2.1. Исходные данные для расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление здания.
 - 2.2. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление жилых и общественных зданий за отопительный период.
 - 2.3. Нормативный удельный расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период.
3. Показатели энергетической эффективности зданий.
4. Основные направления снижения тепловых потерь в зданиях.
5. Основные направления снижения потребления электроэнергии в зданиях.

Литература

Заключение

Список использованных источников

Приложения

II. Графическая часть

1. Комплект чертежей марки ТС, ЭС.
 - 1.1. План здания на отм. 0.000.
 - 1.2. Разрезы ограждающих конструкций с элементами термореновации.
2. Прилагаемые документы.
 - 2.1. Спецификация оборудования и материалов (ТС, ЭС).

3. Геометрические и теплоэнергетические характеристики здания

Общая площадь наружных стен (с учетом оконных и дверных проемов) определяется как произведение периметра здания по внутренней поверхности наружных стен на внутреннюю высоту здания, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка верхнего этажа.

Площадь окон и балконных дверей A_F и площадь наружных дверей (ворот) A_{ed} определяются по размерам проемов в свету.

Площадь наружных стен (без учета окон и дверей) A_w определяется как разность общей площади наружных стен и суммарной площади окон и балконных дверей A_F , и наружных дверей A_{ed} .

Площадь горизонтальных наружных ограждающих конструкций (покрытия, чердачного и цокольного перекрытий) определяется как площадь этажа здания (в пределах внутренних поверхностей наружных стен). При наклонных поверхностях потолков последнего этажа площадь покрытия (чердачного перекрытия) определяется как площадь внутренней поверхности потолка.

Отапливаемую площадь здания следует определять как площадь этажей (в том числе отапливаемых цокольного, подвального и мансардного) здания, измеряемую в пределах внутренних поверхностей наружных стен, включая площадь, занимаемую перегородками и внутренними стенами. При этом площадь отапливаемых лестничных клеток и лифтовых шахт включается в площадь этажа.

В отапливаемую площадь здания не включается площадь теплых чердаков, неотапливаемых технических этажей, подвалов (подполий), холодных неотапливаемых веранд, неотапливаемых лестничных клеток, а также холодного чердака или его части, не занятой под мансарду.

При определении отапливаемой площади мансардного этажа учитывается площадь, ограниченная высотой до наклонного потолка: 1,2 м – при наклоне 30° к горизонту; 0,8 м – при наклоне от 45° до 60° ; при наклоне 60° и более – площадь измеряется до наружной стены.

Площадь жилых комнат здания определяется как суммарная площадь всех жилых комнат (общей комнаты, спален).

Отапливаемый объем здания определяется как произведение отапливаемой площади типового этажа на внутреннюю высоту здания, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка верхнего этажа.

При сложных формах внутреннего объема здания отапливаемый объем определяется как объем пространства, ограниченного внутренними поверхностями наружных ограждающих конструкций (стен, покрытия (чердачного перекрытия), перекрытия подвала, цокольного этажа или пола по грунту).

Коэффициент остекленности f (отношение площади вертикального остекления к общей площади наружных стен) определяется по формуле

$$f = \frac{A_f}{A_w + A_f + A_{ed}}, \quad (3.1)$$

где A_f – площадь вертикального остекления, м²;

A_w – площадь наружных стен, м²;

A_{ed} – площадь наружных дверей и ворот, м².

Приведенный коэффициент теплопередачи здания k_m^{tr} , приведенный условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери здания за счет инфильтрации и вентиляции k_m^{inf} , общий приведенный коэффициент теплопередачи здания k_m , среднюю кратность воздухообмена здания n_a , общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции за отопительный период Q_h , бытовые теплопоступления в течение отопительного периода Q_{int} , требуемое количество тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода Q_h^y , расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания g_h^{des} , определяются согласно разделу 4.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций является важнейшей теплоэнергетической характеристикой здания и должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{т.норм.}$, указанного в таблице 3.1.

Данное требование не распространяется:

- на ограждающие конструкции помещений с избытками явной теплоты;
- на здания, представляющие собой историко-культурную ценность.

Нормирование приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций помещений с избытками явной теплоты производится в соответствии с пунктами 7.1.4 и 7.1.6. В зданиях, представляющих собой историко-культурную ценность, приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций устанавливается в задании на проектирование.

**Таблица 3.1 – Нормативные значения приведенного
сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий**

Ограждающие конструкции	Нормативное приведенное со- противление теплопередаче $R_{т.норм}$, м ² °C/Вт
1. Жилые и общественные здания, бытовые и административные здания производственных предприятий	
А. Строительство, реконструкция, модернизация	
Наружные стены зданий	3,2
Совмещенные покрытия, чердачные пе- рекрытия и перекрытия над проездами	6,0
Перекрытия над техническими подполь- ями, неотапливаемыми подвальными и цокольными этажами, ограждающие конструкции технических подполий, пе- рекрытия встроенных и встроенно-при- строенных тамбуров	По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой пола и темпера- турой воздуха помещений пер- вого этажа не более 0,8 °C и от- сутствия конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций
Перекрытия между теплым чердаком и помещениями последнего этажа, ограждающие конструкции теплых чер- даков	По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой потолка и темпе- ратурой воздуха помещений последнего этажа не более 0,8 °C и отсутствия конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций
Заполнения световых проемов	1,0
Стены вытяжных вентиляционных кана- лов и шахт, расположенные за пределами отапливаемого объема здания (за исклю- чением расположенных в теплых черда- ках)	1,5
Стены между неотапливаемой лестнич- ной клеткой и отапливаемыми помеще- ниями	2,0
Внутренние стены между встроенными и встроенно-пристроенными тамбурами и отапливаемыми помещениями	2,0

Ограждающие конструкции	Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{т, норм}$, м ² °C/Вт
Покрытия встроенных и встроенно-пристроенных тамбуров	3,0
Б. Ремонт и реставрация	
Ограждающие конструкции зданий, построенных в соответствии с требованиями строительных норм по строительной теплотехнике, действовавших с 1993 г.: – наружные стены крупнопанельных, каркасно-панельных и объемно-блочных зданий; 2,5 – наружные стены монолитных зданий; 2,2 – наружные стены из штучных материалов (кирпич, шлакоблоки и т. п.); 2,0 – совмещенные покрытия, чердачные перекрытия (кроме теплых чердаков) и перекрытия над проездами; 3,0 – покрытия теплых чердаков; – перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями; – заполнения световых проемов	По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой потолка и температурой воздуха помещения последнего этажа, не более 2 °C По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой пола и температурой воздуха помещения первого этажа, не более 2 °C 0,6
Ограждающие конструкции зданий, построенных в соответствии с требованиями строительных норм по строительной теплотехнике, действовавших до 1993 г.: – наружные ограждающие конструкции (за исключением заполнений световых проемов) – заполнения световых проемов	Не ниже минимального, рассчитываемого по СП 2.04.01 0,6

Ограждающие конструкции	Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм}, \text{м}^2 \text{°C/Вт}$
2. Производственные здания	
А. Строительство, реконструкция, модернизация	
Наружные стены зданий	2,0
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	3,0
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой пола и температурой воздуха помещения первого этажа, не более 2 °С
Заполнения световых проемов	0,6
Б. Ремонт	
Ограждающие конструкции зданий, построенных в соответствии с требованиями строительных норм по строительной теплотехнике, действовавших с 1993 г.: – наружные стены зданий; теплых чердаков) и перекрытия над проездами – покрытия теплых чердаков;	2,0 3,0 По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой потолка и температурой воздуха помещения последнего этажа не более 2 °С
– перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями; – заполнения световых проемов	По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой пола и температурой воздуха помещения первого этажа, не более 2 °С 0,6
Ограждающие конструкции зданий производственного назначения, построенных в соответствии с требованиями строительных норм по строительной теплотехнике, действовавших до 1993 г.:	

Ограждающие конструкции	Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм}$, м ² °С/Вт
– ограждающие конструкции зданий (помещений) с расчетной температурой внутреннего воздуха выше 12 °С; – заполнения световых проемов; – ограждающие конструкции зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха 12 °С и ниже (за исключением заполнений световых проемов); – заполнения световых проемов (окна, балконные двери); – фонари	Не ниже минимального, рассчитываемого по СП 2.04.01 0,6 Не ниже минимального, рассчитываемого по СП 2.04.01 0,31 0,15

Примечания

1. Полы по грунту в помещениях с нормируемой температурой внутреннего воздуха, расположенные ниже отмстки здания не более чем на 0,5 м или расположенные выше ее, должны быть утеплены в зоне примыкания пола к наружным стенам путем укладки по грунту слоя утеплителя шириной 0,8 м и толщиной, определяемой из условия обеспечения термического сопротивления этого слоя не менее термического сопротивления наружной стены.

2. При проектировании капитального ремонта жилых зданий замена заполнений световых проемов с сопротивлением теплопередаче менее установленного нормативного значения предусматривается в соответствии с заданием на проектирование.

3. При замене технологического оборудования в зданиях производственного назначения решение о необходимости выполнения тепловой модернизации здания (помещения) принимается заказчиком на основании результатов обследования здания (помещения) и с учетом характеристик оборудования и рекомендаций его изготовителя.

4. Температуру воздуха в неотапливаемом подвальном этаже, техническом подполье (далее – техподполье) и в теплом чердаке следует определять на основании расчета теплового баланса по СП 2.04.01. При этом температура воздуха в техподполье зданий при расчетных условиях должна быть не ниже 5 °С. Для жилых зданий с поквартирной установкой отопительных котлов, а также использующих электрическую энергию на цели поквартирного отопления, температура воздуха в техподполье допускается ниже 5 °С. При этом, если температура воздуха в техподполье при расчетных условиях ниже 2 °С, следует предусмотреть мероприятия по обеспечению требуемой температуры эксплуатации инженерных систем и предупреждению отрицательных последствий замораживания основания.

5. Нормативные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для пристроенных бытовых и административных зданий производственных предприятий следует определять в соответствии с разделом 1 настоящей таблицы

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей (кроме балконных) и ворот должно быть не менее 0,6 значения минимального сопротивления теплопередаче наружных стен R_{min} , определяемого по СП 2.04.01 при расчетной температуре наружного воздуха холодного периода года, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Приведенное сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов в помещениях с избытками явной теплоты $R_{пр}$ должно быть не ниже нормативного сопротивления теплопередаче $R_{Т.норм}$ в соответствии с таблицей 3.2.

Таблица 3.2 – Нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче заполнений наружных световых проемов в помещениях с избытками явной теплоты

Здания и помещения	Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов $R_{Т.норм}$, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$			
	Разность температуры внутреннего воздуха и средней температуры наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, $^\circ C$	окон и балконных дверей	фонарей	
			П-образных	зенитных
1. Жилые здания, здания больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, общеобразовательных детских школ, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов), детских домов и детских приемников-распределителей	от 25 до 44 включ. от 45 до 49 включ. свыше 50	0,39 0,42 0,53	— — —	0,31 0,31 0,48
2. Общественные здания, кроме указанных в поз. 1, производственные здания и помещения промышленных предприятий, за исключением помещений с влажным и мокрым режимами	до 30 включ. от 31 до 49 включ. свыше 50	0,15 0,31 0,48	— — —	0,15 0,31 0,48

Здания и помещения	Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов $R_{Т.норм.}, м^2 \cdot ^\circ C/Вт$			
	Разность температуры внутреннего воздуха и средней температуры наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, $^\circ C$	окон и балконных дверей	фонарей	
			П-образных	зенитных
3. Производственные здания с сухим или нормальным режимом	до 30 включ. от 31 до 49 включ. свыше 50	0,15 0,31 0,34	0,15 0,15 0,15	0,15 0,31 0,48
4. Производственные здания и помещения общественных зданий с влажным или мокрым режимом	до 30 включ. свыше 30	0,15 0,34	0,15 —	— —
5. Производственные здания с расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 50 % и с избытком явной теплоты, $Вт/м^3$: от 23 до 50 включ. свыше 50	до 49 включ. свыше 49 любая	0,15 0,31 0,15	0,15 0,15 0,15	— — —

Приведенное сопротивление теплопередаче внутренних ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий) между помещениями с нормируемой температурой воздуха, при разности значений температуры воздуха в этих помещениях более $6\text{ }^\circ C$, кроме перечисленных в таблице 3.1, должно быть не ниже минимального сопротивления теплопередаче R_{min} , определяемого по СП 2.04.01.

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций (за исключением заполнений проемов) помещений с избытками явной теплоты должно быть не ниже минимального сопротивления теплопередаче, определяемого по СП 2.04.01.

Температура внутренней поверхности ограждающих конструкций в зонах теплотехнических неоднородностей (углов, примыканий смежных конструкций, откосов, стыков панелей и пр.) в расчетных условиях эксплуатации должна быть не ниже точки росы t_p внутреннего воздуха при расчетных температуре и относительной влажности внутреннего воздуха. Значения точки росы приведены в СП 2.04.01.

Для зданий, предназначенных для сезонной эксплуатации (осенью или весной), и зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций (за исключением светопрозрачных конструкций) следует принимать не ниже минимального сопротивления теплопередаче R_{min} , определяемого по СП 2.04.01.

Амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха в течение суток A_v , $^{\circ}\text{C}$, помещений, оборудованных системой отопления без автоматического регулирования теплового потока согласно СН 4.02.03, не должна превышать $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (отклонение $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ от расчетного значения, определяемого по СП 2.04.01).

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений должно быть не менее нормативного значения $R_{a.норм.}$, $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{кг}$, определяемого по СП 2.04.01.

Для заполнений световых проемов допускается отклонение сопротивления воздухопроницанию от нормируемого не более $+20\%$.

Сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации R_n , $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{кг}$, должно быть не менее нормативного значения $R_{п.норм.}$, определяемого по СП 2.04.01.

4. Удельный расход тепловой энергии на отопление здания

4.1. Исходные данные для расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление здания

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) D_d , °С·сут, определяют по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot Z_{ht}, \quad (4.1)$$

где t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

t_{ht} , Z_{ht} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С, и продолжительность отопительного периода, сут, определяемые по СП 2.04.01-2020 «Строительная теплотехника».

Площадь наружных стен A_w , заполнений световых проемов (окон, балконных дверей, фонарей), наружных дверей и ворот A_F , покрытия (чердачного перекрытия) A_c , цокольного перекрытия A_f , общую площадь наружных ограждающих конструкций A_e^{sum} , отапливаемую площадь здания A_h или объем здания V_h определяют в соответствии с разделом 3.

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен R_w^f , заполнений световых проемов R_F^f , покрытия (чердачного перекрытия) R_c^f , цокольного перекрытия R_f^f определяют в соответствии с СП 2.04.01.2020.

4.2. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление вентиляции жилых и общественных зданий за отопительный период

4.2.1. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий без утилизации теплоты вытяжного воздуха

Расчетный показатель компактности жилых зданий k_e^{des} рекомендуется принимать, как правило, не выше следующих значений:

0,25 – для шестнадцатиэтажных зданий и выше;

0,29 – для зданий от десяти до пятнадцати этажей включ.;

0,32 – для зданий от шести до девяти этажей включ.;

0,36 – для пятиэтажных зданий;

0,43 – для четырехэтажных зданий;

0,54 – для трехэтажных зданий;

0,61; 0,54; 0,46 – для двух, трех и четырех блокированных и секционных домов соответственно;

0,9 – для двух и одноэтажных домов с мансардой;

1,1 – для одноэтажных домов.

Расчетный показатель компактности здания k_e^{des} следует определять по формуле

$$k_e^{des} = \frac{A_e^{sum}}{V_h}, \quad (4.2)$$

где A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и пола нижнего отапливаемого помещения, м²;

V_h – отапливаемый объем здания, принимаемый равным объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждающих конструкций, м³.

Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период, q_h^{des} , МДж/(м²·г) или МДж/(м³·г), следует определять по формуле

$$q_h^{des} = \frac{Q_h^y}{A_h} \text{ или } q_h^{des} = \frac{Q_h^y}{V_h}, \quad (4.3)$$

где Q_h^y – расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода, МДж, определяют по (4.4);

A_h – отапливаемая площадь здания, м²;

V_h – отапливаемый объем здания, принимаемый равным объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждающих конструкций, м³.

Требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода, Q_h^y , МДж, рассчитывается по формуле

$$Q_h^y = Q_h \cdot \beta_h - (Q_{int} + Q_s) \cdot v \cdot \zeta - Q_{h,rva}^y - Q_{h,ren}^y + Q_{h,aux}^y, \quad (4.4)$$

где Q_h – общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, МДж, определяемые по формуле 4.5;

Q_{int} – бытовые теплопоступления в течение отопительного периода, МДж, определяемые по формуле 4.14;

v – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение $v = 0,9$;

ζ – коэффициент, зависящий от способа регулирования подачи теплоты в системах отопления, принимаемый в соответствии с таблицей 4.1;

β_h – коэффициент, учитывающий дополнительные теплопотери, связанные с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждающих конструкций, повышенной

температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения, принимается равным:

1,13 – для многосекционных и других протяженных зданий;

1,11 – для зданий башенного типа;

1,07 – то же с отапливаемыми подвалами;

1,05 – то же с отапливаемыми чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты.

Таблица 4.1 – Коэффициент, зависящий от способа регулирования подачи теплоты в системах отопления

Система отопления и способ регулирования	Значение коэффициента ζ
1. Однотрубная система отопления с терморегуляторами и пофасадным авторегулированием на вводе или система поквартирного отопления однотрубная, или двухтрубная с горизонтальной разводкой	1,00
2. Двухтрубная система отопления с терморегуляторами и центральным авторегулированием на вводе	0,95
3. Однотрубная система отопления с терморегуляторами и с центральным авторегулированием на вводе или однотрубная система отопления без терморегуляторов и с пофасадным авторегулированием на вводе, а также двухтрубная система отопления с терморегуляторами и без авторегулирования на вводе	0,90
4. Однотрубная система отопления с терморегуляторами и без авторегулирования на вводе	0,85
5. Система отопления без терморегуляторов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха	0,70
6. Система отопления без терморегуляторов и без авторегулирования на вводе — центральное регулирование в центральном тепловом пункте (ЦТП) или котельной	0,50
7. Водяное отопление без регулирования	0,20

Примечания

1. Приведенные значения применимы к водяным системам отопления независимо от источника энергии на нагрев.

2. Для систем электрического отопления с прямым нагревом воздуха (электроконвекторов, инфракрасных обогревателей, напольного электрического отопления и т. д.) с терморегуляторами принимается $\zeta=1,00$

Общие теплопотери здания через наружные ограждения Q_h , МДж, за отопительный период следует определять по формуле

$$Q_h = 0,0864 K_m D_d A_e^{sum}, \quad (4.5)$$

где K_m – общий приведенный коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле

$$K_m = K_m^{tr} + K_m^{inf}, \quad (4.6)$$

где K_m^{tr} – приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле

$$K_m^{tr} = \frac{\frac{A_w}{R_w^r} + \frac{A_f}{R_f^r} + \frac{A_{ed}}{R_{ed}^r} + \frac{n_1 \cdot A_c}{R_c^r} + \frac{n_2 \cdot A_f}{R_f^r} + \frac{n_3 \cdot A_{f1}}{R_{f1}^r} + \frac{n_i \cdot A_{fi}}{R_{fi}^r}}{A_e^{sum}} \quad (4.7)$$

где A_w – площадь наружных стен (за исключением проёмов), м²;

R_w^r – приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен, м²·°C/Вт;

A_f – площадь заполнений световых проёмов (окон, витражей, фонарей), м²;

R_f^r – приведенное сопротивление теплопередаче заполнений световых проёмов (окон, витражей, фонарей), м²·°C/Вт;

A_{ed} – площадь наружных дверей и ворот, м²;

R_{ed}^r – приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей и ворот, фонарей), м²·°C/Вт;

A_c – площадь совмещённых покрытий (в том числе над эркерами), м²;

R_c^r – приведенное сопротивление теплопередаче совмещённых покрытий (в том числе над эркерами), м²·°C/Вт;

A_f – площадь цокольных перекрытий, м²;

R_f^r – приведенное сопротивление теплопередаче цокольных перекрытий, м²·°C/Вт;

A_{f1} – площадь перекрытий над проездами и под эркерами, м²;

R_{f1}^r – приведенное сопротивление теплопередаче перекрытий над проездами и под эркерами, м²·°C/Вт;

A_{fi} – площадь i -х конструкций между отопляемым и неотапливаемым объёмами здания, температура в которых выше, чем температура наружного воздуха, м²;

R_{fi}^r – приведенное сопротивление теплопередаче i -х конструкций между отопляемым и неотапливаемым объёмами здания, температура в которых выше, чем температура наружного воздуха, м²·°C/Вт;

n_1, n_2, n_i – коэффициенты, принимаемые в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху. Определяется по формуле 4.8;

k_m^{inf} – условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплотери за счет инфильтрации и вентиляции, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле

$$k_m^{inf} = \frac{0,28cn_a\beta_vV_hp_a^{ht}}{A_e^{sum}}, \quad (4.8)$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°C);

n_a – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный сезон, ч⁻¹, определяется по (4.11);

β_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций, при отсутствии данных принимают $\beta_v = 0,85$;

A_e^{sum} – см. формулу (4.2);

D_d – см. формулу (4.1);

p_a^{ht} – средняя плотность приточного воздуха за отопительный сезон, кг/м³, равная

$$p_a^{ht} = \frac{353}{273+0,5(t_{int}+t_{ht})}, \quad (4.9)$$

где t_{int}, t_{ht} – то же что в формуле (4.1).

При проектировании полов по грунту или отапливаемых подвалов вместо A_f и R_f^r цокольных в формулу 4.7 подставляют площадь A_f и приведенное сопротивление теплопередаче R_f^r стен, контактирующих с грунтом, а полы по грунту разделяют по зонам (с учетом СП 2.04.01 или СН 4.02.03) и определяют соответствующие значения A_f и R_f^r .

Для чердачных перекрытий теплых чердаков и цокольных перекрытий над техническими подпольями, стен между неотапливаемым объемом здания с температурой воздуха в них $t_{ext} < t_c < t_{int}$ коэффициент n следует определять по формуле

$$n = \frac{t_{int}-t_c}{t_{int}-t_{ext}}, \quad (4.10)$$

где t_{int} – см. формулу (4.1);

t_c – температура воздуха теплого чердака (технического подполья, неотапливаемой лестничной клетки и пр.), °C; определяется по СП 2.04.01;

t_{ext} – температура наружного воздуха; °C; определяется по СП 2.04.01.

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период n_a , ч⁻¹, рассчитывается по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле

$$n_a = \frac{\frac{L_v n_v}{168} + \frac{G_{inf}(168 - n_v)}{168 \rho_e^{ht}}}{\beta_v V_h}, \quad (4.11)$$

где L_v – количество приточного воздуха в здание при естественном воздухообмене или нормативное значение при механической вентиляции, м³/ч, равное:

а) для жилых зданий – $3A_l$;

б) для общественных и административных зданий условно принимают равным:

для офисов и объектов сервисного обслуживания – $4A_l$;

для учреждений здравоохранения и образования – $5 A_l$;

для спортивных, зрелищных и детских дошкольных учреждений – $6A_l$,

где A_l – для жилых зданий – площадь жилых помещений;

Для общественных зданий – расчетная площадь, определяемая как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей, м²;

n_v – количество часов работы механической вентиляции в течение недели; для естественной вентиляции $n_v = 168$ ч;

168 – количество часов в неделе;

G_{inf} – количество инфильтрующегося в здание воздуха, поступающего через неплотности светопрозрачных конструкций и дверей; допускается принимать для общественных зданий в нерабочее время $G_{inf} = 0,5\beta_v V_h$.

Для жилых зданий с естественной системой вентиляции средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период n_a , ч⁻¹, определяется по формуле

$$n_a = \frac{3A_l + \frac{G_{inf}}{\rho_e^{ht}}}{\beta_v V_h}. \quad (4.12)$$

Количество инфильтрующегося воздуха в лестничные клетки жилого здания через неплотности заполнения проемов G_{inf}^1 м³/ч, определяется по формуле

$$G_{inf}^1 = \frac{A_F + A_{ed}}{R_{a,F}}, \quad (4.13)$$

где A_F – суммарная площадь окон лестничных клеток, м²;

A_{ed} – суммарная площадь входных наружных дверей лестничных клеток, м²; $R_{a,F}$ – требуемое сопротивление воздухопроницанию окон

и входных наружных дверей, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$, определяемое по формуле (9.5) по СП 2.04.01, при этом расчетная высота H принимается с коэффициентом 0,5.

Для бытовых зданий с механической системой вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха среднюю кратность воздухообмена здания за отопительный сезон n_a , ч^{-1} , определяют по формуле

$$n_a = \frac{\frac{L_v n_v + n_{ainf} (168 - n_v)}{168}}{\beta_v V_h}, \quad (4.14)$$

где n_{ainf} – кратность инфильтрующего воздуха через неплотности ограждающих конструкций, ч^{-1} ;

n_{ainf} принимают по результатам испытаний при стандартном перепаде давления. При отсутствии данных испытаний принимают равным 0,1 ч^{-1} .

Бытовые теплопоступления в течение отопительного периода Q_{int} , МДж, следует определять по формуле

$$Q_{int} = 0,0864 g_{int} Z_{ht} (A_l + A_k), \quad (4.15)$$

где g_{int} – удельные бытовые теплопоступления на 1 м^2 площади жилых помещений и кухонь или расчетной площади общественного здания, $\text{Вт} / \text{м}^2$, принимаемая для:

а) жилых зданий:

– при обеспеченности жильем 20 м^2 общей площади квартир и менее на 1 чел. – 9 $\text{Вт} / \text{м}^2$;

– то же 45 м^2 общей площади квартир и более на 1 чел. – 3 $\text{Вт} / \text{м}^2$;

– для других значений обеспеченностью жильем – интерполяцией по значениям от 3 до 9 $\text{Вт} / \text{м}^2$;

A_k – площадь кухонь, м^2 ;

б) общественных и административных зданий – по расчетному количеству людей, находящихся в здании (90 $\text{Вт} / \text{чел.}$), от освещения (по установочной мощности) и оргтехники (10 $\text{Вт} / \text{м}^2$) с учетом количества рабочих часов в неделю.

Удельные бытовые теплопоступления $g_{int pub}$, $\text{Вт} / \text{м}^2$, в общем случае определяют по формуле

$$g_{int pub} = \frac{Q_{peop} + Q_{ligh} + Q_{eg}}{A_{l, pub}}, \quad (4.16)$$

где Q_{peop} – теплопоступления от людей, Вт ;

Q_{ligh} – теплопоступления от освещения, Вт ;

Q_{eg} – теплопоступления от электрических приборов

и технологического оборудования, Вт;

$A_{l, pub}$ – расчетная площадь для общественных помещений, м².

Теплопоступления от людей Q_{peop} , Вт, определяют по их количеству с учетом времени работы

$$Q_{peop} = \frac{g_{int.peop} N_{peop} z_{peop}}{168}, \quad (4.17)$$

где $g_{int.peop}$ – внутренние теплопоступления в общественном здании от одного человека, Вт/чел.; рекомендуется принимать равными:

– для взрослого – 90 Вт/чел.;

– от ребенка – 70 Вт/чел.;

N_{peop} – среднее количество людей, находящихся в здании в течение рабочего дня, чел.;

z_{peop} – продолжительность нахождения людей в здании в течение недели, ч;

168 – продолжительность недели, ч.

Теплопоступления от одного человека в –том помещении определенного функционального назначения, Вт/чел., определяют по табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Теплопоступления от взрослого человека при различных уровнях активности

Уровень активности	Теплопоступления от взрослого человека (мужчины) $g_{int.peop}$, Вт/чел., при температуре окружающего воздуха, °С											
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Покой	120	114	108	102	96	90	84	78	72	66	60	56
Легкая работа	120	116	112	108	104	100	93	86	79	72	65	60
Работа средней тяжести	135	129	123	117	111	105	98	91	84	77	70	64
Тяжелая работа	165	158	151	144	137	130	123	116	109	102	95	86

Примечание. Для женщин указанные значения умножают на понижающий коэффициент 0,85, для детей – 0,75.

Для общественных зданий с переменным количеством людей в течение рабочего времени количество людей определяют как сумму количества персонала и среднего числа посетителей.

Теплопоступления от освещения Q_{ligh} , Вт, определяют с учетом мощности освещения и времени работы по формуле

$$Q_{ligh} = \frac{g_{int.ligh} z_{w.ligh} A_{ligh}}{168}, \quad (4.18)$$

где $g_{int.ligh}$ – удельные тепlopоступления от освещения, Вт/м², принимают в зависимости от установленной мощности в соответствии с проектной документацией. При отсутствии данных установленную мощность определяют по табл. 4.3

$z_{w.ligh}$ – продолжительность работы освещения в течение недели, ч;

A_{ligh} – освещаемая площадь, м².

Таблица 4.3 – Установленная мощность
осветительных установок в общественных зданиях

Наименование помещений	Максимальная нормируемая освещенность, лк	Максимально допустимая удельная установленная мощность, Вт/м ² , не более*
Здания управления, конструкторских и проектных организаций, научно-исследовательских учреждений, библиотек		
Кабинеты и рабочие комнаты, офисы	400	25
Проектные комнаты и залы, конструкторские и чертежные бюро	500	35
Помещения для ксерокопирования, электрофотографирования и т. п.	400	25
Помещения для работы с дисплеями, видеотерминалами, мониторами	400	25
Читальные залы	400	25
Лаборатории	500	35
Банковские и страховые учреждения		
Операционные залы, кассовые залы	500	35
Общеобразовательные школы, школы-интернаты, профессионально-технические, средние специальные и высшие учебные заведения		
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории, кабинеты информатики	400	25
Детские дошкольные учреждения		
Групповые, игральные, столовые комнаты	400	25
Предприятия общественного питания		
Обеденные залы	200	14
Помещения приготовления пищи	400	25

Наименование помещений	Максимальная нормируемая освещенность, лк	Максимально допустимая удельная установленная мощность. Вт/м ² , не более*
Магазины		
Торговые залы супермаркетов	500	35
Торговые залы магазинов	400	25
Предприятия бытового обслуживания		
Парикмахерские	400	25
Ателье пошива и ремонта одежды	750	52

* Значения приведены для среднего значения индекса помещения в соответствии с СН 2.04.03.

Теплопоступления от электрических приборов и технологического оборудования Q_{eg} , Вт, определяют на основании их установленной мощности, продолжительности работы и загрузки оборудования в течение недели, по формуле

$$Q_{eg} = \sum W_{eg.i} N_{eg.i} k_{eg.i} \frac{z_{eg.i}}{168}, \quad (4.19)$$

где $W_{eg.i}$ – установленная мощность оборудования i -го типа, Вт;

$N_{eg.i}$ – количество оборудования i -го типа;

$k_{eg.i}$ – коэффициент загрузки оборудования i -го типа;

$z_{eg.i}$ – продолжительность работы оборудования i -го типа в течение недели, ч.

Значения установленной мощности и коэффициента загрузки оборудования приведены в табл. 4.4. Установленная мощность и коэффициент загрузки оборудования для предприятий общественного питания приведены в [7]. В остальных случаях указанные показатели определяют в разделе проектной документации «Технологические решения».

Таблица 4.4 – Установленная мощность и коэффициент загрузки оборудования для оргтехники

Наименование оборудования	Установленная мощность $W_{eg.i}$, кВт	Коэффициент загрузки оборудования $k_{eg.i}$
Компьютер	0,4	0,5
Принтер	0,2	0,3
Ксерокс	1,5	0,3

Теплопоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна и фонари) в течение отопительного периода Q_s , МДж, для зданий, ориентированным по четырем сторонам света, определяют по формуле

$$Q_s = \tau_F k_F (A_{F1} l_1 + A_{F2} l_2 + A_{F3} l_3 + A_{F4} l_4) + \tau_c k_c A_c l_c, \quad (4.20)$$

где τ_F , τ_c – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема окон, балконных дверей и зенитных фонарей соответственно непрозрачными элементами их конструкции, принимают по проектным данным или по табл. 4.5.

k_F , k_c – коэффициенты относительного пропускания солнечной радиации окон, балконных дверей и зенитных фонарей соответственно, принимают по паспортным данным изделия, а при их отсутствии – по табл. 4.6. При этом мансардные окна с углом наклона к горизонту 45° и более рассчитывают как вертикальные, с углом наклона менее 45° – как зенитные фонари;

A_{Fi} , A_c – площадь заполнений световых проемов (окон, балконных дверей, зенитных фонарей) по сторонам света соответственно, m^2 ;

l_i – суммарная солнечная радиация на горизонтальную и вертикальную поверхности различной ориентации при средних условиях облачности за отопительный период, МДж/ m^2 , принимают по табл. 4.7. Для населенных пунктов, не указанных в таблице, следует принимать значения по ближайшим приведенным областным центрам.

Таблица 4.5 – Значения коэффициентов τ_F и τ_c , учитывающих затенение светового проема соответственно окон, балконных дверей и зенитных фонарей

Тип переплета	Значения τ_F , τ_c
Одинарный	0,8
Спаренный	0,7
Раздельный	0,6
Раздельно-спаренный	0,5

Таблица 4.6 – Значения коэффициентов относительного пропускания солнечной радиации окон и балконных дверей k_F и зенитных фонарей k_c

Количество рядов остекления (в том	Значения k_F и k_c остекления		
	из обычного стекла	с низкоэмиссионным покрытием	
		твердым	мягким

числе в стек- лопакетах)			
Два	0,76	0,75	0,54
Три	0,74	0,68	0,48
Четыре	0,54	—	

Таблица 4.7 – Суммарная солнечная радиация на горизонтальную и вертикальные поверхности различной ориентации при средних условиях облачности за отопительный период

Ориентация поверхности	Значение I, МДж/м ² , за отопительный период, сут, по об- ластным центрам					
	Витебск	Минск	Гродно	Могилев	Брест	Гомель
Горизонталь- ная	820	873	855	882	837	873
С	437	461	454	465	453	468
СВ	469	495	487	499	482	497
В	626	655	644	661	622	644
ЮВ	875	911	893	920	851	885
Ю	1024	1066	1045	1077	1001	1042
ЮЗ	899	938	920	947	885	920
З	638	675	663	681	645	668
СЗ	473	499	491	503	485	500

Примечание. Суммарную солнечную радиацию на поверхности, при целесообразности ее определения по [1], принимают: для Витебска — по данным о солнечной радиации г. Полоцка; для Гродно и Могилева — по данным г. Минска; для Бреста и Гомеля — по данным г. Василевичи.

4.2.2. Расчет энергии вторичных и возобновляемых источников на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период

Тепловую энергию, передаваемую теплоутилизатором за отопительный период $Q_{h.rvd}^y$, МДж, определяют по формуле

$$Q_{h.rvd}^y = 0,024 c_p L_v \eta_k D_d, \quad (4.21)$$

где 0,024 – коэффициент перевода единиц измерения (МДж в кДж и сутки в ч);

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°C);

L_v – то же, что в формуле (4.14);

η_k – коэффициент эффективности теплоутилизатора, учитывающий влияние встречного теплового потока, передаваемого от вытяжного воздуха

приточному воздуху, принимают по паспортным данным на теплоутилизатор или по табл. 4.8;

D_d – то же что в формуле (4.1).

Таблица 4.8 – Типы и эффективность теплоутилизаторов вытяжного воздуха

Тип теплоутилизатора	Коэффициент эффективности
С промежуточным теплоносителем	0,45
На тепловых трубах	От 0,50 до 0,60
Регенеративный	От 0,70 до 0,85
Перекрестноточный рекуперативный	От 0,50 до 0,65
Противоточный рекуперативный	Св. 0,90

Суммарную энергию, вырабатываемую из возобновляемых источников для отопления и вентиляции здания за отопительный период $Q_{h,ren}^y$, МДЖ, определяют формулой

$$Q_{h,ren}^y = Q_{h,hp.pv}^y + Q_{h,hp}^y, \quad (4.22)$$

Где $Q_{h,hp.pv}^y$ – количество тепловой энергии, поставляемой в систему отопления и вентиляции гелиоколлектором за отопительный период за вычетом электрической энергии от электрической сети, затрачиваемой на работу привода теплового насоса, определяется по проекту;

$Q_{h,hp}^y$ – количество тепловой энергии, поставляемой в систему отопления и вентиляции тепловым насосом за отопительный период за вычетом электрической энергии от электрической сети, затрачиваемой на работу привода теплового насоса, определяется по проекту.

4.2.3. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий с учетом утилизации тепла вытяжного воздуха

Расчетный показатель компактности здания k_e^{des} и приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания k_m^{tr} , Вт/(м²·°С), определяются согласно табл. 4.2–4.5.

Условный коэффициент теплопередачи здания k_m^{tr} , Вт/(м²·°С), учитывающий теплопотери за счет механической системы вентиляции с утилизацией тепла вытяжного воздуха и инфильтрации, определяется по формуле

$$k_m^{inf} = \frac{0,28cn_a\beta_vV_h\rho_e^{hf}}{A_e^{sum}}. \quad (4.23)$$

Для жилых зданий с механической системой вентиляции с утилизацией тепла вытяжного воздуха средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период n_a , ч⁻¹, определяется по формуле

$$n_a = \frac{L_v \cdot n_v + \frac{n_{a_{inf}}}{168}}{\beta_v \cdot V_h}, \quad (4.24)$$

где $n_{a_{inf}}$ – кратность инфильтрующего воздуха через неплотности ограждающих конструкций, ч⁻¹; принимают по результатам испытаний при стандартном перепаде давления согласно СТБ EN ISO 9972, при отсутствии данных испытаний – равным 0,1 ч⁻¹.

L_v , n_v , β_v , V_h – то же, что в формуле 4.11.

4.3. Нормативный удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания g_h^{des} , МДж/м² или МДж/м³ (на 1 м² отапливаемой площади или на 1 м³ отапливаемого объема здания), определяемый по табл. 4.2 с учетом теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, объемно-планировочных решений, эффективности и метода регулирования используемой системы отопления, должен удовлетворять условию

$$g_h^{des} < g_h^{reg}, \quad (4.25)$$

где g_h^{reg} – нормативный (базовый) удельный расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период, МДж/м² или МДж/м³.

Базовые значения удельного расхода тепловой энергии на отопление за отопительный период для различных типов жилых и общественных зданий следует принимать по табл. 4.2 и 4.3.

В табл. 4.2 приведены базовые значения удельного расхода тепловой энергии за отопительный период на отопление различных типов жилых зданий с системами вентиляции без рекуперации тепла вытяжного воздуха.

В табл. 4.3 приведены базовые значения удельного расхода тепловой энергии за отопительный период на отопление различных типов энергоэффективных жилых зданий с приточновытяжной вентиляцией с механическим побуждением и рекуперацией тепла вытяжного воздуха.

Базовые значения общего показателя энергетической эффективности многоквартирных жилых зданий приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.2 – Базовые значения удельного за отопительный период расхода энергии на отопление и вентиляцию для жилых зданий

Тип здания	Базовое значение q_h^{req} , кВт·ч/м ² (МДж/м ²)
Многоквартирные жилые здания этажностью:	
1-3	112(403)
4-6	66 (238)
7 и более	60 (216)
Одноквартирные и блокированные жилые здания с отапливаемой площадью A_h , м ² :	
1-этажные:	
от 50 до 99 включительно	159 (572)
от 100 до 149 включительно	140 (504)
от 150 до 199 включительно	132 (475)
от 200 до 249 включительно	125 (450)
свыше 250	122 (439)
2-этажные:	
от 100 до 149 включительно	129 (464)
2–3-этажные:	
от 150 до 199 включительно	120 (432)
от 200 до 249 включительно	112(403)
Свыше 250	107 (385)

Таблица 4.3 – Базовые значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период для общественных зданий

Тип здания	Базовое значение q_h^{req} , кВт·ч/м ³ (МДж/м ³)
Здания общеобразовательных учреждений этажностью: 2	41 (148)
3-4	34(122)
Здания дошкольных учреждений этажностью: 2	47(169)
3	39(140)
Здания учреждений здравоохранения этажностью: 7	35(126)
Здания научно-исследовательских учреждений, проектных, общественных организаций и управления этажностью: 5	36(130)

Таблица 4.4 – Базовые значения общего показателя энергетической эффективности для многоквартирных жилых зданий

Тип здания	Базовое значение $q_{h,hw}^{req}$, кВт·ч/м ² (МДж/м ²)
Многоквартирные жилые здания этажностью:	
1–3	208 (745)
4–6	162 (583)
7 и более	156 (562)

4.4. Расчет удельного расхода энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения

Исходными данными для расчета удельного расхода энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения являются:

- средняя годовая расчетная температура холодной воды, °С;
- расчетная температура горячей воды в системе горячего водоснабжения, принимаемая равной 55 °С.

Среднюю годовую расчетную температуру воды принимают равной среднему арифметическому значению температуры холодной воды месяцев года согласно ГОСТ EN 15316-3-1, равной 8 °С.

Удельный расход энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения g_0 , кВт·ч/м³, определяют по формуле

$$g_0 = g_1 + g_2 + g_3, \quad (4.26)$$

где g_1 – удельный расход энергии на подогрев 1 м³ воды, кВт·ч/м³;

g_2 – расход энергии вторичных и возобновляемых источников на подогрев 1 м³ воды, кВт·ч/м³;

g_3 – вспомогательная энергия на подогрев 1 м³ воды, кВт·ч/м³.

Удельный расход энергии на подогрев 1 м³ воды равен:

$$g_1 = 0,278 \cdot 10^{-3} cp(t_1 - t_2)/\eta, \quad (4.27)$$

где $0,278 \cdot 10^{-3}$ – коэффициент перевода единиц измерения, кДж в кВт·ч;

c – удельная теплоемкость воды, равная 4,174 кДж/(кг·°С) при среднем значении температуры воды 31,5 °С;

ρ – плотность воды, равная 999,74 кг/м³ при средней температуре 8 °С;

t_1 – расчетная температура горячей воды, °С;

t_2 – расчетная температура холодной воды, °С;

η – КПД оборудования системы горячего водоснабжения. Для централизованной системы горячего водоснабжения $\eta=1$, а для

децентрализованной системы теплоснабжения – в соответствии с паспортными данными котла

Расход энергии вторичных и возобновляемых источников на подогрев 1 м³ воды, кВт·ч/м³, равен

$$g_2 = g_{21} + g_{22} + g_{23} + g_{24}, \quad (4.28)$$

где g_{21} , g_{22} , g_{23} , g_{24} – энергия получаемая при использовании соответственно системы утилизации тепловой энергии сточных вод, систем солнечного гелиоколлектора, теплового насоса при получении электрической энергии от фотоэлектрической батареи, теплового насоса при получении электрической энергии от электрической сети в расчете на 1 м³ горячей воды, кВт·ч/м³.

Энергия, получаемая при использовании системы утилизации тепловой энергии сточных вод, кВт·ч/м³, определяют по формуле:

$$g_{21} = k\eta_1 g_1, \quad (4.29)$$

где k – коэффициент, выражающий часть горячей воды, направляемой в систему утилизации сточных вод, принимается $k < 1$, а для жилых зданий при утилизации сточных вод из ванной комнаты $k=0,6$;

η_1 – коэффициент эффективности системы утилизации тепловой энергии сточных вод, принимают по паспортным данным оборудования.

Энергия, получаемая при использовании системы солнечных гелиоколлекторов, кВт·ч/м³, равна

$$g_{22} = \frac{Q_{22}}{V}, \quad (4.30)$$

где Q_{22} – годовое количество тепловой энергии, произведенной системой солнечных гелиоколлекторов, кВт;

V – расчетный годовой объем потребления горячей воды, м³, равный

$$V = 365V_1M, \quad (4.31)$$

где 365 – количество дней в году;

V_1 – среднесуточный расход горячей воды на одного человека, принимаемый 0,07 м³/(чел·сут) [8];

M – количество потребителей горячей воды в жилом здании, определяют исходя из условий заселенности квартир по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^k n_i(i + 1), \quad (4.32)$$

где i – количество комнат в квартире;

k – максимальное количество комнат в квартире жилого здания;

n_i – количество i -комнатных квартир в жилом здании.

Энергию получаемую при использовании теплового насоса при получении электрической энергии от фотоэлектрической батареи, в расчете на 1 м³, определяют по формуле

$$g_{23} = \frac{Q_{23}}{V}, \quad (4.33)$$

где Q_{23} – годовое количество произведенной тепловым насосом тепловой энергии при использовании фотоэлектрической батареи, принимается согласно проекта.

Энергию получаемую при использовании теплового насоса при получении электрической энергии от электрической сети, в расчете на 1 м³, определяют по формуле:

$$g_{24} = \frac{Q_{24}}{V}, \quad (4.33)$$

где Q_{23} – годовое количество произведенной тепловым насосом тепловой энергии за вычетом электрической энергии потребленной от электрической сети. Затрачиваемой на работу привода теплового насоса, принимается согласно проекта.

5. Показатели энергетической эффективности зданий

Энергетическая эффективность здания – характеристика соответствия энергопотребления здания нормативным значениям, выраженная в классах по нормируемым показателям.

Класс здания по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию – характеристика здания по уровню потребления поставляемой энергии нетто, определяемая интервалом значений удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.

Показатели энергетической эффективности зданий – нормируемые энергетические показатели, отражающие энергопотребление зданий на различные нужды, и теплотехнические показатели, оказывающие существенное влияние на энергопотребление зданий.

Энергоэффективное здание – здание, соответствующее по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период классу A_{h+} , A_h или B_h .

Удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период – это один из энергетических показателей энергетической эффективности зданий.

Строительные нормы [4] устанавливают нормативные значения теплотехнических показателей ограждающих конструкций, энергетических показателей зданий, показателей энергетической эффективности, а также классификацию зданий по нормируемым показателям энергетической эффективности.

Нормативные значения теплотехнических показателей ограждающих конструкций распространяются на все виды зданий независимо от их функционального назначения.

Нормативные значения энергетических показателей не распространяются на:

- здания, представляющие собой историко-культурную ценность;
- культовые здания и здания, используемые для религиозных целей;
- временные здания;
- дачи и садовые домики;
- общественные здания с общей площадью менее 50 м², размещаемые вне населенных пунктов;

- объекты индивидуального жилищного строительства, застройщиком которых являются физические лица;
- производственные здания.

Алгоритм реализации требований строительных норм на стадии проектирования и строительства зданий осуществляется по схеме, указанной на рис. 5.1.

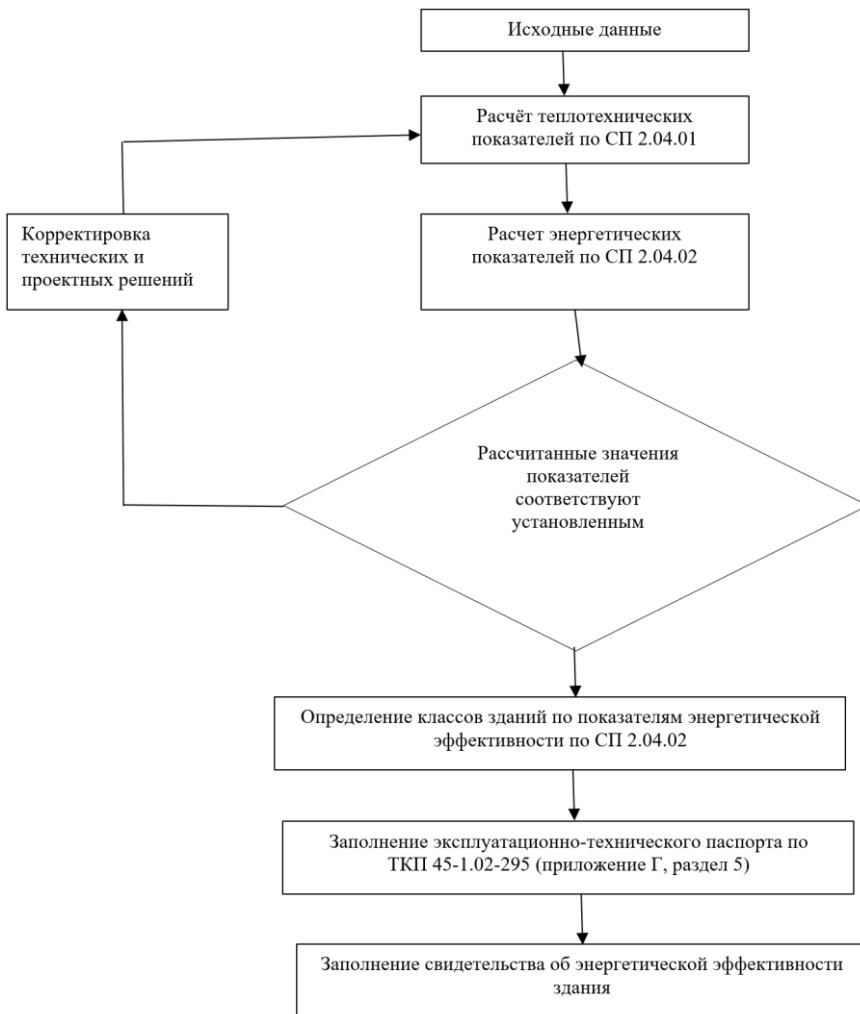


Рисунок 5.1. Алгоритм реализации требований к показателям энергетической эффективности здания на стадии проектирования

5.1. Классы зданий по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период

Устанавливаются следующие нормируемые показатели энергетической эффективности жилых и общественных зданий, бытовых и административных зданий производственных предприятий:

а) теплотехнические показатели:

– приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций;

– воздухопроницаемость при стандартном перепаде давления.

Примечание. Для производственных зданий нормируется только приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций;

б) энергетические показатели:

– удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период;

– удельный расход энергии на охлаждение и вентиляцию здания за период охлаждения;

– удельный расход энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения.

С целью оценки поставляемой энергии нетто для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения установлен общий показатель энергетической эффективности (для многоквартирных жилых зданий).

Энергетические показатели нормируются с учетом энергии, получаемой из вторичных и возобновляемых источников энергии, а также с учетом затрат вспомогательной энергии.

Классы зданий устанавливаются по следующим показателям энергетической эффективности:

– удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период (нормируемый). Этот показатель определяется в рамках выполнения работы;

– удельный расход энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения (нормируемый);

– общий показатель энергетической эффективности для многоквартирных жилых зданий.

При разработке проектной документации на вновь возводимые и реконструируемые жилые здания устанавливают классы A_h^+ , A_h или B_h по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период. Проектирование вновь возводимых и реконструируемых

жилых зданий классов C_h ; D_h ; E_h ; F_h ; G_h , по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, не допускается.

Классы зданий определяется как диапазон отклонений от базовых значений показателей (табл. 5.1 и 5.2).

Таблица 5.1 – Базовые значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период для жилых зданий

Тип здания	Базовое значение, q_h^{reg} , кВт·ч/м ² (МДж/м ²)
Многоквартирные жилые здания этажностью:	
1–3	112 (403)
4–6	66 (238)
7 и более	60 (216)
Одноквартирные и блокированные жилые здания с отапливаемой площадью A_h , м ² :	
1-этажные:	
от 50 до 99 включ.	159 (572)
от 100 до 149 включ.	140 (504)
от 150 до 199 включ.	213 (475)
от 200 до 249 включ.	125 (450)
св. 250	122 (439)
2-этажные:	
от 100 до 149 включ.	129 (464)
2–3-этажные	
от 150 до 199 включ.	120 (432)
от 200 до 249 включ.	112 (403)
св. 250	107 (385)

Таблица 5.2 – Базовые значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период для общественных зданий

Тип здания	Базовое значение, q_h^{reg} , кВтч/м ² (МДж/м ²)
Здания общеобразовательных учреждений этажностью:	
2	41 (148)
3–4	34 (122)
Здания дошкольных учреждений этажностью:	

Тип здания	Базовое значение, q_h^{reg} , кВтч/м ² (МДж/м ²)
2	47(169)
3	39 (140)
Здания учреждений здравоохранения этажностью:	
7	35 (126)
Здания научно-исследовательских учреждений, проектных, общественных организаций и управления этажностью:	125 (450)
5	36 (130)

Классы жилых и общественных зданий по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период приведены в табл. 5.3

Таблица 5.3 – Классы жилых и общественных зданий по показателю удельного расхода на отопление и вентиляцию за отопительный период

Обозначение класса	Наименование класса	Отклонение значений общего показателя q_h^{des} от базовых значений, %
A_h^+	Очень высокий	Св. -60
A_h		От -46 до -60 включ.
B_h	Высокий	От -18 до -45 включ.
C_h	Нормальный	От +10 до -17 включ.
D_h	Пониженный	Св.+10 до +37 включ.
E_h	Низкий	От +38 до +70 включ.
F_h	Очень низкий	От +71 до 100 включ.
G_h	Чрезвычайно низкий	Св. 100

5.2. Порядок определения нормативных значений энергетического показателя

Нормативные значения энергетических показателей устанавливается в виде диапазона их отклонений от базовых значений соответственно установленному классу по показателям удельного расхода энергии.

На рис. 5.2 приведена схема определения диапазона нормативных значений энергетического показателя энергетической эффективности здания.



Рисунок 5.2. Схема определения диапазона нормативных значений энергетического показателя энергетической эффективности здания

Базовые значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период для жилых, общественных и административных зданий принимают по табл. 5.1 и 5.2.

Примеры по определению диапазона нормативного значения энергетического показателя

Пример 1. Определить диапазон нормативных значений удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период 9-этажного многоквартирного жилого здания:

1. По табл. 5.1 определяют базовое значение показателя для 9-этажного многоквартирного жилого дома – $60 \text{ (216) кВт} \cdot \text{ч/м}^2 \text{ (МДж/м}^2\text{)}$.

2. Минимальный класс энергоэффективности по рассматриваемому показателю – «В_н» (см. табл. 5.1). Следовательно, диапазон нормативных значений согласно табл. 5.3 составляет -18 % до -41 %. При определении нормативные значения показателя округляются до целых значений.

3. Искомый диапазон нормативных значений показателя с округлением до целого значения составляет $35\text{--}49 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2 \text{ (126--176 МДж/м}^2\text{)}$, где $60 \cdot (100-41)/100 = 35,4 \approx 35 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2 \text{ (126 МДж/м}^2\text{)}$ – минимальное значение; $60 \cdot (100-18)/100 = 49,2 \approx 49 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2 \text{ (176 МДж/м}^2\text{)}$ – минимальное значение.

Пример 2. Определить диапазон нормативных значений удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период трехэтажного здания общеобразовательной школы.

1. По таблице 5.2 определяют базовое значение показателя для здания общеобразовательных учреждений этажностью 3–4 – $34 \text{ (122) кВт} \cdot \text{ч/м}^3 \text{ (МДж/м}^3\text{)}$.

2. При отсутствии более высоких требований в задании на проектирование минимальный класс энергетической эффективности по

указанному показателю – «С» (см. 5.1). Следовательно, диапазон нормативных значений согласно табл. 10.1 составляет от +10 % до -17 %.

3. Искомый диапазон нормативных значений показателя с округлением до целого значения составляет 27–37 кВт·ч/м³ (101-133 МДж/м³), где $34 (100-17)/100 = 28,2 \approx 28$ кВт·ч/м³ (101 МДж/м³) – минимальное значение;

$34 (100+10)/100 = 37,4 \approx 37$ кВт·ч/м³ (133 МДж/м³) – максимальное значение.

5.3. Повышение энергетической эффективности зданий

Снижение энергопотребления зданий для целей отопления и вентиляции и повышения энергетической эффективности (при проектировании) должно осуществляться за счет следующих мероприятий:

- оптимизации объемно-планировочных решений и повышения компактности здания;
- оптимизация остекления фасада здания;
- уменьшения воздухопроницаемости ограждающих конструкций зданий;
- повышения уровня тепловой защиты ограждающих конструкций;
- повышения уровня автоматизации систем регулирования;
- применении в инженерных системах здания теплоутилизирующих установок;
- использования в инженерных системах здания возобновляемых источников энергии.

Снижение энергопотребления зданий для целей горячего водоснабжения должно осуществляться за счет следующих мероприятий:

- снижения тепловпотерь в циркуляционном контуре системы;
- повышения эффективности теплообменника системы;
- повышения уровня автоматизации систем регулирования;
- применения в инженерных системах здания теплоутилизирующих установок;
- использования в инженерных системах здания возобновляемых источников энергии.

Снижение энергопотребления зданий для электроснабжения должно осуществляться за счет следующих мероприятий:

- компенсация реактивной мощности;

- регулирование производительности машин путем установки частотных преобразователей для электроприводов;
- анализ технологических требований к уровню освещенности с учетом восприятия приемником излучения в зависимости от его вида и других факторов;
- обеспечение необходимого уровня освещенности для данной задачи в проектных решениях;
- выбор наиболее экономичных источников оптического излучения;
- выбор эффективных световых приборов, обладающих необходимыми характеристиками распределения потока излучения и нужным конструктивным исполнением;
- увеличение коэффициентов отражения поверхностей помещения для повышения коэффициента использования установки;
- обеспечение гибкости управления, позволяющего изменять освещенность в случае необходимости;
- совместное использование систем естественного и искусственного освещения;
- организацию соответствующих режимов обслуживания, включающую периодическую чистку светильников и поверхностей помещения, а также замену источников излучения.

6. Основные направления снижения тепловых потерь в зданиях

В последние годы в Республике Беларусь интенсивно развиваются конструктивно-технологические системы жилых зданий, обеспечивающие гибкость объемно-планировочных решений, снижение материалоемкости, уменьшение энергозатрат при их последующей эксплуатации путем повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и использования воздухонепроницаемых окон с повышенным сопротивлением теплопередаче. Увеличение стоимости энергии потребовало принятия определенных мер по утеплению оболочки зданий. Остальные системы зданий, влияющие на их энергетические характеристики, система вентиляции, горячего водоснабжения, электроснабжения зданий остались на прежнем уровне. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, установленные нормативными документами разных стран колеблется в пределах от 2 до 4 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт в зависимости от национальных или региональных требований. При решении задачи экономии энергии остаются, как правило, в стороне вопросы, связанные с горячим водоснабжением зданий [3].

Можно сказать, что строительная отрасль в нашей стране, как и в странах СНГ переживает сегодня системный кризис, связанный с неоднородностью развития строительных технологий, относящихся к оболочке здания и его инженерным системам. Недостатком существующих подходов к проектированию является то, что каждый элемент здания рассматривается в отрыве от остальных, что не позволяет оптимизировать конструкцию здания в виде единой энергетической системы. Основной акцент делается на решение проблем, связанных с разработкой конструктивно-технологических и объемно – планировочных решений зданий. Снижение уровня эксплуатационных теплопотерь достигается только путем утепления ограждающих конструкций. Остается в стороне инженерное обеспечение.

Сохранение в зданиях вентиляционной системы без механического побуждения, привело к негативным явлениям, связанным с ухудшением качества воздушной среды, нарушением температурного и влажностного режимов помещений. К этому можно добавить, что в зданиях, строящихся по существующим нормативам, на вентиляционные выбросы приходится до 60 % теплопотерь [3]. Эта проблема носит системный характер, так как не может быть решена в рамках существующих технических и проектных решений естественной вентиляции. Логика развития современного строительства приводит к необходимости перехода к проектированию зданий

с механической, контролируемой системе приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла уходящего из помещений воздуха. К этому имеется несколько причин, которые не могут быть устранены иным путем.

1. Новые нормативные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций приводят к тому, что максимальное значение теплотерь зданий относится к воздухообмену, достигая более 50 % от общего уровня, то есть дальнейшие перспективы энергосбережения в зданиях связаны, прежде всего, с возвратом тепла, уходящего с теплым воздухом из помещений.

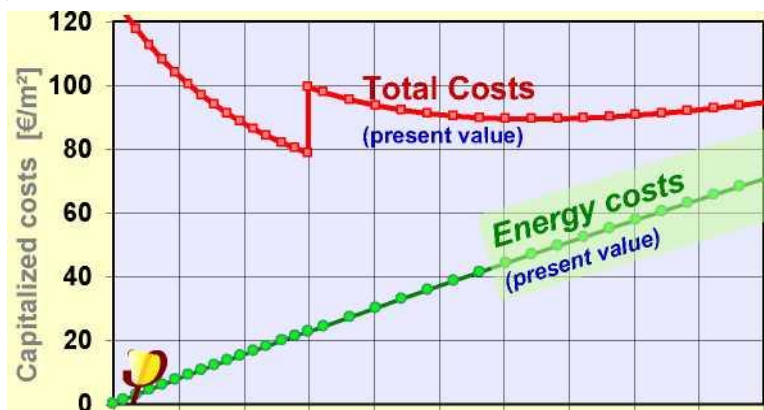
2. При утепленной стене, герметичных оконных конструкциях и герметизации примыканий окон к стеновой конструкции не остается щелей, которые могли бы поддерживать нормативный уровень воздухообмена. Остается единственная возможность поддержания необходимого уровня воздухообмена путем открывания окон. Однако почти теряется смысл производства окон нового поколения и, тем более, освоения окон с еще более высоким термическим сопротивлением. Устройство клапанов или сознательная разгерметизация окон не укладывается в логику развития современных оконных технологий, так как окно, прежде всего, обеспечивает инсоляцию помещений [3]. Задачу вентиляции необходимо решать другими, проблемно ориентированными средствами. Существующая схема вентиляции путем открывания окон или форточек приводит к тому, что качество воздуха в квартирах нижних этажей зданий не соответствует существующим санитарным нормам вследствие сильного загрязнения наружного воздуха в городе, а также к повышению уровня шума в помещениях, часто выше установленных пределов.

3. Решив все-таки, какими-то техническими средствами задачу притока воздуха и сохранив систему свободного воздухообмена, мы не решим задачу поддержания его нормативного значения. Уровень воздухообмена будет зависеть от многих причин [3]:

- уровня ветровой нагрузки;
- высоты расположения квартиры в многоэтажном здании;
- открытия окон и степени их уплотнения;
- состояние вытяжных вентиляционных шахт.

4. Сохранение свободного воздухообмена не позволяет решить задачу использования внутренних источников тепла и поступающей в помещение солнечной энергии в общей системе энергоснабжения здания. Как правило, избыток тепла в одной из комнат, например, на кухне или в комнате на освещенном фасаде, уносится с вентиляционными выбросами. В то же время

Путем анализа теплового баланса зданий можно определить систему энергосберегающих мероприятий, снижающих затраты на их теплоснабжение. На рис. 1.3 приведен тепловой баланс жилых зданий старого жилого фонда и строящихся по действующим в республике нормативам с учетом распределения теплопотерь по различным путям и затрат энергии на приготовление горячей воды. Данные приведены для условий Республики Беларусь [3]. Уровень тепловых потерь через ограждающие конструкции и внутренних и технологических тепловыделений в новых зданиях существенно снизился. Это обусловлено изменением нормативных требований и увеличением общей площади помещений, приходящейся на одного жителя, которая составляет в настоящее время в Республике Беларусь около 21 м^2 на одного жителя. Из приведенных на рисунке диаграмм видно, что наибольшие резервы для экономии энергии – снижение затрат энергии на вентиляцию и приготовление горячей воды, а существенного снижения теплопотерь можно достигнуть только путем утилизации тепла уходящего из помещений воздуха.



Следует обратить особое внимание на наличие внутренних источников тепла в помещениях. Если поставить задачу проектирования здания так, что средняя мощность теплопотерь за отопительный сезон равна мощности внутренних и бытовых тепловыделений, мы приходим к идее пассивного дома.

В Западной Европе 90-х годов оказалась чрезвычайно плодотворной идея пассивного дома. Она позволила устранить основные противоречия, присущие массовому строительству жилья как с точки зрения экономии энергии, так и обеспечения комфортных условий проживания.

При постановке задачи массового строительства пассивных зданий были сформулированы следующие требования [3]:

1) стоимость строительства, несущественно отличающуюся от обычного;

2) использование при строительстве уже известных и освоенных технологий и технологических приемов.

Задаваемый уровень теплоснабжения пассивных зданий составляет 15 и менее кВт·ч/м² в год. Строительство зданий с указанным уровнем теплоснабжения продвигается на восток.

Встает вопрос о целесообразности и экономической оправданности строительства пассивных зданий в климатических и урбанистских условиях стран СНГ. В [3] была исследована возможность и перспективы развития этого направления строительства в условиях Республики Беларусь. Возможной альтернативой пассивному дому в условиях Республики Беларусь и стран СНГ может стать строительство энергоэффективных зданий, в которых системный комплекс теплотехнических мероприятий выполняется с учетом региональных особенностей строительства, климатических и экономических условий.

6.1. Техничко-экономическое обоснование термореновации ограждающих конструкций зданий

Теплозащитные свойства совокупности наружных и внутренних ограждающих конструкций здания, обеспечивающие нормативный уровень расхода тепловой энергии здания с учетом необходимого воздухообмена помещений, а также не менее требуемого сопротивления воздухо- и паропроницаемости и защиту от переувлажнения наружных ограждающих конструкций при оптимальных параметрах микроклимата помещений.

Термореновация зданий является энергосберегающим мероприятием и достигается за счет увеличения термического сопротивления ограждающих конструкций, что позволяет уменьшить тепловые потери.

Первым на решение данной проблемы откликнулся строительный рынок, на котором появились теплоизоляционные материалы используемые для тепловой защиты ограждающих конструкций зданий. В Республике

Беларусь производятся такие теплоизоляционные материалы как минеральная (базальтовая) вата БЕЛТЕП марки ПТМ, пенополистирол (пенопласт) марки ППТ и плиты теплоизоляционные «Термопир».

Минеральная (базальтовая) вата состоит из чрезвычайно тонких, хаотично переплетенных волокон толщиной 0,04 мм, между которыми присутствует воздух, что обеспечивает их незначительную плотность от 30 до 210 кг/м³ и низкую теплопроводность. Минеральная вата безопасна при установке и эксплуатации, не содержит примесей асбеста, обладает очень низкой эмиссией пылевых частиц и химических веществ, прошла соответствующий гигиенический контроль и сертификацию. Плиты изготавливаются толщиной от 50 до 200 мм, шириной 600 и 1000 мм, длиной от 1000 до 2500 мм. Технические характеристики минеральной (базальтовой) ваты БЕЛТЕП представлены в табл. 6.1.

Пенополистирол (пенопласт) – изоляционный материал белого цвета на 98 % состоящий из воздуха, заключенного в миллиарды микроскопических тонкостенных клеток из вспененного полистирола. Изделия из пенополистирола (пенопласта) биологически безопасны и используются для упаковки продуктов питания, промышленных товаров и тепловой защиты зданий. Пенополистирол устойчив к воздействию влаги, к старению, не подвержен воздействию микроорганизмов, обладает высокой теплоизоляционной способностью и хорошими механическими характеристиками. Изоляционные материалы из пенополистирола более 30 лет применяются для теплоизоляции кровли, стен, потолков и полов в жилых и административных зданиях. Легкость обработки при помощи ручной пилы или ножа, малая плотность, возможность склеивания с различными строительными материалами, простота механического крепления – несомненные достоинства пенополистирола (пенопласта). Плиты изготавливаются толщиной от 10 до 100 мм и более, шириной 500 и 1000 мм, длиной 1000 и 2000 мм. Плотность материала может варьироваться в пределах от 10 до 35 кг/м³. Технические характеристики пенополистирола представлены в табл. 6.1.

Плиты теплоизоляционные «Термопир» – это новый в технологии производства и сфере применения материал из пенополиизоцианурата. Пенополиизоцианурат – химически модифицированный полиуретан, обладающий достаточной прочностью, превосходными термоизоляционными свойствами, а также повышенной огнестойкостью. Плиты изготавливаются толщиной от 20 до 400 мм, шириной от 600 до 1250 мм и длиной от 1000 до 6000 мм. Плотность материала может варьироваться в пределах от 30 до 200 кг/м³. Срок эксплуатации не менее 50 лет. Плиты «Термопир»

экологически чисты, не токсичны, не выделяют в атмосферу вредных выбросов и не являются аллергеном. Легко обрабатывается при помощи ручной пилы, клеится с различными строительными материалами, простое механическое крепление к конструкции здания.

Область применения – тепловая изоляция наружных ограждений зданий, теплоизолирующий слой строительных сэндвич-панелей. Технические характеристики теплоизоляционного материала «Термопир» представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Техническая характеристика теплоизоляционных материалов

№ п/п	Показатели	Теплоизоляционный материал		
		Минеральная вата (М)	Пенополистирол (П)	«Термопир» (Т)
1	Плотность, кг/м ³	80–150	10–35	30–200
2	Теплопроводность при t = 25 °С, Вт/м·°С	0,04–0,041	0,036–0,044	≤ 0,023
3	Класс горючести	НГ	Г4	Г1
4	Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации (МПа)	10–50	0,04-0,25	0,29
5	Водопоглощение по объему за 24 ч, %	0,5	0,5–4	0,22
6	Паропроницаемость, мг/м·ч·Па	0,47–0,56	0,05	0,071
7	Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,18–0,25	0,25–0,40	0,29
8	Термостойкость, °С	НГ	110	150
9	Срок эксплуатации, лет	> 50	50	50

Оценка эффективности использования средств, направляемых на реализацию энергосберегающих мероприятий, производится на основании системы показателей [3]: T_{II} – простого срока окупаемости; T_{ϕ} – динамического срока окупаемости; $ЧДД$ – чистого дисконтированного дохода; $E_{вн}$ – внутренней нормы доходности; $\Pi_{и}$ – индекса прибыльности.

Простой срок окупаемости капитальных вложений применяется для предварительной оценки на стадии составления технико-экономического

обоснования термореновации ограждающих конструкций зданий. Он не должен превышать 5 лет и определяется по формуле [3]:

$$T_n = \frac{K}{\mathcal{E}_{\text{год}}}, \quad (6.1)$$

где K – капитальные вложения (или инвестиции) в реализацию данного мероприятия (из всех источников финансирования), млн руб.;

$\mathcal{E}_{\text{год}}$ – годовая экономия топливно-энергетических ресурсов, получаемая от реализации данного мероприятия (в денежном выражении), млн руб.

Капитальные вложения в реализацию энергосберегающих мероприятий включают в себя объемы расходов стоимости проектно-изыскательских работ, материалов, строительно-монтажных работ.

Расчет капитальных вложений и годовой экономии производится в соответствии с Инструкцией по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий [3].

Капиталовложения на термореновацию ограждающих конструкций зданий по укрупненным показателям включают стоимость проектных работ, материалов, приспособлений, строительно-монтажные работы и определяются по формуле [3]:

$$K = C_m + 0,1 \cdot C_{\text{смп}} + 0,5 \cdot C_m, \quad (6.2)$$

где C_m – стоимость материалов и приспособлений, млн руб.;

$C_{\text{смп}}$ – стоимость строительно-монтажных работ, принимаются 50 % от стоимости материалов и приспособлений, млн руб.

Годовая экономия топливно-энергетических ресурсов, получаемая от реализации данного мероприятия (в денежном выражении) равна [3]:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \Delta B \cdot C_m, \quad (6.3)$$

где ΔB – суммарная экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

C_m – стоимость одной тонны условного топлива,

$$C_m = 228 \cdot 9040 = 2,061 \text{ млн. руб.}$$

Суммарная экономия топлива определяется по формуле [3]:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{те}} + \Delta B_{\text{э}}, \quad (6.4)$$

где $\Delta B_{\text{те}}$ – экономия топлива от снижения потребления тепловой энергии, т у.т.;

$\Delta B_{\text{э}}$ – экономия топлива на источнике электроснабжения, т у.т.

Экономия топлива от снижения потребления тепловой энергии равна [3]:

$$\Delta B_{m\text{э}} = \Delta Q \cdot (1 + k_{\text{ном}} / 100) \cdot b_{m\text{э}} \cdot 10^{-3}, \quad (6.5)$$

где ΔQ – годовое снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономия тепловой энергии), Гкал;

$b_{m\text{э}}$ – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике;

$k_{\text{ном}}$ – коэффициент потерь в существующих тепловых сетях. Для расчетов принят равным 9,6 %.

В целях соблюдения сопоставимости в расчетах средний удельный расход принимается равным коэффициенту пересчета тепловой энергии в условное топливо 167,8 кг у.т./Гкал по Министерству энергетики Республики Беларусь за 2012 г.

Экономия топлива на источнике электроснабжения определяется по формуле [3]:

$$\Delta B_{\text{э}} = \Delta \mathcal{E} \cdot (1 + k_{\text{ном}}^{\text{э}} / 100) \cdot b_{\text{ээ}} \cdot 10^{-6}, \quad (6.6)$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – снижение потребления электроэнергии на теплоисточнике на производство тепловой энергии, кВт·ч;

$k_{\text{ном}}^{\text{э}}$ – коэффициент потерь электроэнергии в электрических сетях, принят 9,9 %;

$b_{\text{ээ}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива в энергосистеме Республики Беларусь за год, предшествующий расчету, $b_{\text{ээ}} = 254,6$ г у.т./кВт·ч.

Снижение потребления электроэнергии на теплоисточнике на производство тепловой энергии равно [3]:

$$\Delta \mathcal{E} = \varepsilon_{\text{сн}} \cdot \Delta Q, \quad (6.7)$$

где $\varepsilon_{\text{сн}}$ – удельный расход электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии для теплоисточника, $\varepsilon_{\text{сн}} = 12,4$ кВт·ч/Гкал [4].

Годовая экономия тепловой энергии, Гкал, за счет снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции равна [3]:

$$\Delta Q = 24 \cdot n \cdot 0,86 \cdot F_{\text{зд}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 / R_{\text{м.факт}} - 1 / R_{\text{м.досм}}) \tau_{\text{он}} \cdot 10^{-6}, \quad (6.8)$$

где $F_{зо}$ – площадь ограждающих конструкций, подвергнутых термореновации, м²;

$t_{вн}$, t_n – температура воздуха внутри помещения и снаружи соответственно, °C;

$R_{т.факт}$, $R_{т.дост}$ – фактическое и достигнутое термическое сопротивление ограждающих конструкций здания до выполнения и после выполнения мероприятия, м²·°C/Вт;

$\tau_{он}$ – продолжительность отопительного периода, суток;

24 – число часов в сутках, ч;

n – поправочный коэффициент на разность температур, принимается по климатологическим данным для региона, где внедряется мероприятие (0,4–1,2);

0,86 – переводной коэффициент кВт·ч в Гкал.

Динамический срок окупаемости – часть инвестиционного периода, в течение которого окупается вложенный капитал. В отличие от простого срока окупаемости динамический срок является критерием, который в определенной степени оценивает риск инвестора. Неуверенность в достоверности прогнозов растет с удалением во времени от настоящего момента, что увеличивает предпринимательский риск. Очевидно, что существует верхняя граница срока окупаемости, при переходе которой риск вложения возрастает до такой степени, что считается уже невыгодным вложение инвестиций.

Для определения динамического срока окупаемости определяется чистая текущая стоимость (NPV) нарастающим итогом и последовательно по годам сравниваются с учетом знаков, то есть если [4]:

$$NPV_t = \sum_{i=0}^T \frac{R_i}{(1+E)^i} < 0; \quad \text{или} \quad NPV_{(t+1)} = \sum_{i=0}^T \frac{R_{(t+1)}}{(1+E)^{(t+1)}} > 0, \quad (6.9)$$

где R_t – чистый годовой денежный поток или рента (аннуитет) в год t ;

E – ставка дисконтирования;

t – год платежа (любой год инвестиционного периода);

T – период, в течение которого осуществляются инвестиции и эксплуатация оборудования, а также извлекается доход от реализации мероприятия, лет.

Рента по годам t инвестиционного периода определяется:

R_t = чистая прибыль + амортизационные отчисления.

В зависимости от величин доходов и расходов ренты по годам могут принимать знак «плюс», когда доходы больше расходов, или «минус», когда расходы больше доходов.

Выражение (9) означает, что вложенный капитал окупается в диапазоне лет от t до $t + I$, а динамический срок окупаемости T_o определится из $t < T_o < (t + I)$.

Между временными датами существует точка, для которой чистая текущая стоимость равна нулю. При этом динамический срок окупаемости определяется линейной интерполяцией [4]:

$$T_o = t - \frac{NPV_t}{NPT_{(t+I)} - NPV_t}. \quad (6.10)$$

Расчетный срок окупаемости сравнивается с периодом окупаемости, который устраивает инвестора.

Чистый дисконтированный доход (превышение дохода над затратами с нарастающим итогом за расчетный период T с учетом дисконтирования) рассчитывается по формуле [3]:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t - K_t)(1 + E)^{-t}, \quad (6.11)$$

где Z_t – эксплуатационные расходы по реализации мероприятия и другие платежи (налоги, пошлины и т.д.) в t -м году, млн руб.;

K_t – инвестиции (капитальные вложения) в t -м году, млн руб.

Ставка дисконтирования учитывает ставку рефинансирования Национального банка Республики Беларусь или фактическую ставку процента по долгосрочным кредитам банка, индекс цен (в необходимых случаях может учитываться надбавка за риск, которая добавляется к ставке дисконтирования для безрисковых вложений) и принята для расчета равной 0,25. Эксплуатационные затраты на первые 10 лет эксплуатации равны 0.

Положительное значение чистого дисконтированного дохода свидетельствует об экономической целесообразности реализации энергосберегающего мероприятия.

В год осуществления первоначальных капитальных вложений ($t = 0$) чистый дисконтированный доход равен $- ЧДД_0$.

Внутренняя норма доходности ($E_{вн}$) (значение ставки дисконтирования, при которой чистый дисконтированный доход равен нулю) находится путем решения следующего уравнения [3]:

$$\sum_{t=0}^T (D_t - Z_t)(1 + E_{вн})^{-t} = \sum_{t=0}^T K_t(1 + E_{вн})^{-t}. \quad (6.12)$$

Показатель внутренней нормы доходности имеет ряд важных характеристик:

- объективен и не зависит от требований и условий предъявляемых инвестором;

- не зависит от размера инвестиций.

Показатель внутренней нормы доходности является исключительно привлекательным инструментом измерения и управления эффективностью проекта.

Если рассчитанная внутренняя норма доходности оказывается выше нормативной ставки дисконтирования 0,25, то энергосберегающее мероприятие экономически эффективно.

При необходимости выбора энергосберегающего мероприятия из нескольких более эффективным является мероприятие с более высокой внутренней нормой доходности.

Индекс прибыльности определяется как отношение разности дохода и затрат при реализации мероприятия к величине капитальных вложений с нарастающим итогом за расчетный период T [3]:

$$\Pi_u = \frac{\sum_{t=1}^T (D_t - Z_t)(1 + E)^{-t}}{ЧДД_0 + \sum_{t=1}^T K_t(1 + E)^{-t}}. \quad (6.13)$$

Индекс прибыльности тесно связан с чистым дисконтированным доходом. Если $ЧДД$ положителен, то $\Pi_u > 1$, и наоборот. Мероприятие считается экономически эффективным, если $\Pi_u > 1$.

Оценка и сравнение различных энергосберегающих мероприятий и решение о финансировании энергосберегающего мероприятия принимается на основании расчета динамического срока окупаемости, чистого дисконтированного дохода, внутренней нормы доходности и индекса прибыльности. При этом эти показатели должны быть:

$$T_o \leq 8 \text{ лет}; \quad ЧДД > 0; \quad E_{вн} > E; \quad \Pi_u > 1, \quad (6.14)$$

где E – нормативная ставка дисконтирования.

При необходимости выбора энергосберегающего мероприятия из нескольких более эффективным является мероприятие с более высоким индексом прибыльности.

6.2. Техничко-экономическое обоснование установки теплоотражающих экранов за радиаторами отопления

Отопительные приборы в обычной практике устанавливают у внутренних стен помещения. Работающий прибор активно нагревает участок стены, расположенный непосредственно за ним. Таким образом, температура этого участка значительно выше, чем остальная область стены, и может достигать 50 °С. Вместо того, чтобы использовать все тепло для обогрева воздуха внутри помещения, радиатор усердно расходует тепло на обогрев холодных кирпичей или бетонных плит наружной стены здания. Это является причиной увеличенных тепловых потерь. Если батарея установлена в нише, тепловые потери будут еще больше, поскольку тонкая задняя стенка ниши обладает еще более низким сопротивлением теплопередаче, чем целая стена.

Существенно снизить тепловые потери в данной ситуации позволяет установка теплоотражающих экранов, изолирующих участки стен, расположенные непосредственно за отопительными приборами. В качестве таких экранов используются материалы с низким коэффициентом теплопроводности (около 0,05 Вт/м²·°С), например, пенофол – вспененная основа с односторонним фольгированием. Но в принципе, теплоотражающим экраном может служить даже обычная фольга. Рекомендуемая толщина изоляции 3–5 мм. Отражающий слой должен быть обращен в сторону источника тепла.

Определение экономии топлива и тепловой энергии (теплоты) за счет внедрения мероприятия.

Определение количества теплоты, уходящей на нагрев участка стены, расположенного непосредственно за отопительным прибором:

$$Q_n = (t_{\text{бат}} - t_{\text{нар}}) \times F_{\text{бат}} / R_{\text{ст}}, \text{ Вт}; \quad (6.15)$$

где $t_{\text{бат}}$ – средняя температура воздуха между стеной и отопительным прибором, принимается равной 55 °С;

$t_{\text{нар}}$ – температура наружного воздуха, °С;

$F_{\text{бат}}$ – площадь проекции отопительного прибора на стену, м²;

$R_{\text{ст}}$ – фактическое сопротивление теплопередачи стены, расположенной непосредственно за отопительным прибором, м²°С/Вт

$$R_{\text{ст}} = 1 / \alpha_{\text{вн}} + 1 / \alpha_{\text{нар}} + \sum (\delta_{\text{ст}} / \lambda_{\text{ст}}), \text{ м}^2 \text{°С/Вт}; \quad (6.16)$$

где $\alpha_{\text{вн}}$, $\alpha_{\text{нар}}$ – коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к ограждению и от ограждения к наружному воздуху (принимается согласно табл. 5.4 и 5.7 ТКП 45-2.04-43-2006 с изменениями и дополнениями), Вт/м² °С;

$\sum (\delta_{\text{ст}} / \lambda_{\text{ст}})$ – рассчитывается суммарно для всех материалов, входящих в состав участка стены;

$\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности материала (принимается по таблице А1 ТКП 45-2.04-43-2006), Вт/м °С;

$\delta_{\text{ст}}$ – толщина слоя стены, выполненного из данного материала, м;

Определение количества теплоты, уходящей на нагрев участка стены, расположенного непосредственно за отопительным прибором после установки теплоотражающего экрана:

$$Q_3 = k \times (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \times F_3, \text{ Вт}; \quad (6.17)$$

где k – коэффициент теплопроводности материала, из которого выполнен теплоотражающий экран, 0,05 Вт/м² °С;

$t_{\text{вн}}$, $t_{\text{нар}}$ – температура воздуха внутри помещения и наружного воздуха соответственно, °С;

F_3 – площадь поверхности теплоотражающего экрана, которая должна соответствовать площади проекции отопительного прибора на стену, м²

Определение экономии тепловой энергии от выполнения мероприятия по утеплению подоконных ниш.

Определение годовой экономии тепловой энергии от снижения количества теплоты, уходящей на нагрев участка стены, расположенного непосредственно за отопительным прибором:

$$\Delta Q = (Q_{\text{н}} - Q_3) \times T_{\text{от}} \times 0,86 \times 10^{-6}, \text{ Гкал}; \quad (6.18)$$

где $Q_{\text{н}}$, Q_3 – количества теплоты, уходящей на нагрев участка стены, расположенного непосредственно за отопительным прибором до и после установки теплоотражающего экрана соответственно, Вт;

$T_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, суток;

$0,86 \times 10^{-6}$ – переводной коэффициент Вт в Гкал ч.

18.3.2. Определение экономии топлива от снижения потребления тепловой энергии:

$$\Delta B = \Delta Q \times b_{\text{тэ}} \times (1 + k_{\text{пот}}/100) \times 10^{-3}, \text{ т у.т.} \quad (6.19)$$

где ΔQ – годовая экономии тепловой энергии от снижения количества теплоты, уходящей на нагрев участка стены, расположенной непосредственно за отопительным прибором (экономии тепловой энергии), Гкал;

$b_{тз}$ – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике, кг у.т./Гкал;

$k_{пот}$ – коэффициент потерь в существующих тепловых сетях.

Определение укрупненных капиталовложений:

Стоимость теплоизоляционного материала и приспособлений принимается согласно договорным ценам, определяемым на основании тендера;

Капиталовложения в мероприятие:

$K_{ток} = C_m$, руб.

Определение срока окупаемости мероприятия за счет экономии топлива:

$$C_{рок} = K_{ток} / (\Delta B * C_{топл}), \text{ лет}, \quad (6.20)$$

где $K_{ток}$ – капиталовложения в мероприятие, руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$ – стоимость 1 т у.т. (руб.), уточняется на момент составления расчета.

6.3. Технико-экономическое обоснование внедрения регуляторов расхода тепловой энергии

Экономический эффект от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии имеет следующие составляющие:

- поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха;

- ликвидация весенне-осенних перетопов зданий;

- автоматическое снижение потребления тепловой энергии системой отопления здания в нерабочее время, в выходные и праздничные дни;

- поддержание требуемой температуры горячей воды в системе ГВС;

- автоматическое снижение температуры горячей воды в ночное время, в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС;

- поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем автоматического изменения расхода теплоносителя, поступающего на калорифер вентиляционной установки;

- автоматическое включение вентиляционной установки в рабочее время и отключение в нерабочее время, в выходные и праздничные дни;

– ограничение температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть.

Расчет экономии топлива от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии

Расчет годового расхода тепловой энергии.

Годовой расход теплоты жилыми и общественными зданиями определяется по формулам:

а) на отопление жилых и общественных зданий:

$$Q_o^{\text{год}} = 24 \cdot Q_{o.\text{ср.}} \cdot n_o, \text{ ккал}, \quad (6.21)$$

где $Q_{o.\text{ср.}}$ – среднечасовой расход тепла за отопительный период, ккал/ч;

n_o – продолжительность отопительного периода в сутках по числу дней с устойчивой средней суточной температурой воздуха 8 °С и ниже (Брестская обл. – 187 сут, Витебская обл. – 207 сут, Гомельская обл. – 194 сут, Гродненская обл. – 194 сут, Минская обл. – 202 сут, Могилевская обл. – 204 сут);

24 – количество ч в сутках.

$$Q_{o.\text{ср.}} = Q_o \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}}, \quad (6.22)$$

где Q_o – максимальный часовой расход тепла на отопление, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение);

$t_{\text{вн}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, °С (18°С – для жилых, общественных и административных зданий, 21°С – для дошкольных и детских лечебных учреждений, для производственных зданий принимается температура в зданиях характерная для конкретного производства);

$t_{\text{ср.о.}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С (0,2 °С – Брестская обл., –2 °С – Витебская обл., –1,6 °С – Гомельская обл., –0,5 °С – Гродненская обл., –1,6 °С – Минская обл., –1,9 °С – Могилевская обл.);

$t_{\text{р.о.}}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления принимаемая, как средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С (–21 °С – Брестская обл., –25 °С – Витебская обл., –24 °С – Гомельская обл., –22 °С – Гродненская обл., –24 °С – Минская обл., –25 °С – Могилевская обл.);

б) на вентиляцию общественных зданий:

$$Q_{\text{в}}^{\text{зод}} = z \cdot Q_{\text{в.ср.}} \cdot n_o; \text{ ккал}, \quad (6.23)$$

где $Q_{\text{в.ср.}}$ – среднечасовой расход тепла на вентиляцию за отопительный период, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение);

n_o – продолжительность отопительного периода в сутках по числу дней с устойчивой средней суточной температурой воздуха 8°C и ниже;

z – усредненное за отопительный период число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течении суток, ч (при отсутствии данных допускается принимать $z = 16$ ч.).

$$Q_{\text{в.ср.}} = Q_{\text{в}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.в}}}, \quad (6.24)$$

где $Q_{\text{в.}}$ – максимальный часовой расход тепла на вентиляцию, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение);

$t_{\text{вн}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{ср. о.}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{р.в.}}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, принята как средняя температура воздуха наиболее холодного периода, $^\circ\text{C}$ (-21°C – Брестская обл., -25°C – Витебская обл., -24°C – Гомельская обл., -22°C – Гродненская обл., -24°C – Минская обл., -25°C – Могилевская обл.);

с) на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий:

$$Q_{\text{г.в.}}^{\text{зод}} = 24 \cdot Q_{\text{г.в.ср.}} \cdot n_o + 24 \cdot Q_{\text{г.в.ср.}}^{\text{л}} \cdot (350 - n_o), \text{ ккал}, \quad (6.25)$$

где $Q_{\text{г.в.ср.}}$ – среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение за отопительный период, ккал/ч;

$Q_{\text{г.в.ср.}}^{\text{л}}$ – среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение в летний период, ккал/ч;

n_o – продолжительность отопительного периода в сутках по числу дней с устойчивой средней суточной температурой воздуха 8°C и ниже;

350 – число суток в году работы системы горячего водоснабжения;

24 – количество часов в сутках.

$$Q_{\text{г.в.ср.}} = Q_{\text{г.в.}} \cdot k; \text{ ккал/ч}, \quad (6.26)$$

где $Q_{г.в.}$ – максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение);

k – коэффициент часовой неравномерности пользования горячей водой (допускается принимать $k = 0,5$).

$$Q_{г.в.ср.}^п = Q_{г.в.ср.} \frac{55 - t_{х.л}\beta}{55 - t_{х.з}}, \text{ ккал/ч}, \quad (6.27)$$

где $t_{х.л.}$ – температура холодной (водопроводной) воды в летний период, °С (допускается принимать $t_{х.л.} = 15$ °С);

$t_{х.з.}$ – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период, °С (допускается принимать $t_{х.з.} = 5$ °С);

β – коэффициент, учитывающий снижение среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение в летний период по отношению к отопительному (допускается принимать $\beta = 0,8$);

55 – температура горячей воды, °С.

Годовые расходы теплоты предприятиями определяются исходя из числа дней работы предприятия в году, количества смен работы в сутки с учетом режима теплопотребления предприятия. Для действующих предприятий годовые расходы теплоты допускается определять по эксплуатационным данным или ведомственным нормам.

Расчет годовой экономии тепловой энергии. Экономия тепловой энергии за счет поддержания комфортной температуры воздуха в помещениях жилых, общественных и производственных зданий путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta_1 Q_o^{год} = 0,02 \cdot Q_o^{год}, \text{ ккал}. \quad (6.28)$$

Экономия тепловой энергии за счет ликвидации весенне-осенних пелетопов в помещениях жилых, общественных и производственных зданий составляет 12 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta_2 Q_o^{год} = 0,12 \cdot Q_o^{год}, \text{ ккал}. \quad (6.29)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения потребления тепловой энергии системой отопления общественных и производственных зданий в нерабочее время, в выходные и праздничные дни

составляет 23 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta_3 Q_o^{zod} = 0,23 \cdot Q_o^{zod}, \text{ ккал.} \quad (6.30)$$

Для систем отопления жилых зданий не практикуется автоматическое снижение потребления тепловой энергии.

Экономия тепловой энергии за счет поддержания требуемой температуры горячей воды в системе ГВС жилых, общественных и производственных зданий составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение:

$$\Delta_1 Q_{c.g.}^{zod} = 0,02 \cdot Q_{c.g.}^{zod}, \text{ ккал.} \quad (6.31)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения температуры горячей воды в ночное время в жилых зданиях составляет 13% (принимается на основании практических наработок) от годовой расхода теплоты на горячее водоснабжение. Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения температуры горячей воды в ночное время, в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС, общественных и производственных зданий составляет 21 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение:

$$\Delta_2 Q_{c.g.}^{zod} = (0,13 \text{ или } 0,21) \cdot Q_{c.g.}^{zod}, \text{ ккал.} \quad (6.32)$$

Экономия тепловой энергии за счет поддержания комфортной температуры воздуха в помещениях путем автоматического изменения расхода теплоносителя, поступающего на калорифер вентиляционной установки, составляет 9 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на вентиляцию:

$$\Delta_1 Q_v^{zod} = 0,09 \cdot Q_v^{zod}, \text{ ккал.} \quad (6.33)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического включения вентиляционной установки в рабочее время и отключение в нерабочее время, в выходные и праздничные дни составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годовой расхода теплоты на вентиляцию:

$$\Delta_2 Q_v^{zod} = 0,02 \cdot Q_v^{zod}, \text{ ккал.} \quad (6.34)$$

Годовая экономия тепловой энергии ΔQ^{zod} составит:

$$\Delta Q^{zod} = \Delta_1 Q_o^{zod} + \Delta_2 Q_o^{zod} + \Delta_3 Q_o^{zod} + \Delta_1 Q_{c.g.}^{zod} + \Delta_2 Q_{c.g.}^{zod} + \Delta_1 Q_v^{zod} + \Delta_2 Q_v^{zod}, \text{ ккал.} \quad (6.35)$$

Годовая экономия условного топлива ΔB^{zod} составит:

$$\Delta B^{zod} = \Delta Q^{zod} \cdot b_{m3} \cdot 10^{-3}, \text{ т у.т.,} \quad (6.36)$$

где $b_{тз}$ – удельный расход условного топлива на выработку одной Гкал тепловой энергии, кг у.т./Гкал.

Расчет капиталовложений. Стоимость проектных работ по внедрению регуляторов расхода тепловой энергии на объекте $C_{п.р.}$ определяется по СНБ 1.02.06-98 «Порядок определения стоимости проектной документации в строительстве».

Стоимость регуляторов расхода $C_{рег.}$ тепловой энергии для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения определяется на момент выполнения расчета по счет-фактурам предприятия-изготовителя или поставщика оборудования, выбранного на основании тендера, и составляет:

$$C_{рег.} = C_{рег. о.} + C_{рег. в.} + C_{рег. г. в.}, \text{ руб.}, \quad (6.37)$$

где $C_{рег. о.}$ – стоимость регулятора для системы отопления, руб.;

$C_{рег. в.}$ – стоимость регулятора для системы вентиляции, руб.;

$C_{рег. г. в.}$ – стоимость регулятора для системы горячего водоснабжения, руб.

Стоимость оборудования и материалов $C_{об. рег.}$, необходимых для монтажа регуляторов расхода тепловой энергии на объекте, определяется на момент выполнения расчета предприятия-изготовителя или поставщика оборудования и материалов, выбранного на основании тендера, и составляет:

$$C_{об. рег.} = C_{об. рег. о.} + C_{об. рег. в.} + C_{об. рег. г. в.}, \text{ руб.}, \quad (6.38)$$

где $C_{об. рег. о.}$ – стоимость оборудования и материалов для монтажа регулятора системы отопления, руб.;

$C_{об. рег. в.}$ – стоимость оборудования и материалов для монтажа регулятора системы вентиляции, руб.;

$C_{об. рег. г. в.}$ – стоимость оборудования и материалов для монтажа регулятора системы горячего водоснабжения, руб.

Стоимость сантехнических и электротехнических монтажных работ по установке регуляторов расхода тепловой энергии на объекте $C_{м.р.}$ определяется по СНБ 8.03.101-2000...СНБ 8.03.147-2000 «Ресурсно-сметные нормы на строительные конструкции и работы», СНБ 8.03.201-2000...СНБ 8.03.236-2000 «Ресурсно-сметные нормы на монтажные работы.», РСД 8.01.101-2000 «Методические указания по определению стоимости строительства предприятий, зданий и сооружений и составлению сметной документации» и составляет:

$$C_{м.р.} = C_{м.р. о.} + C_{м.р. в.} + C_{м.р. г. в.}, \text{ руб.}, \quad (6.39)$$

где $C_{м.р. о.}$ – стоимость монтажных работ по установке регулятора для системы отопления, руб.;

$C_{м.р.в}$ – стоимость монтажных работ по установке регулятора для системы вентиляции, руб.;

$C_{м.р.г.в.}$ – стоимость монтажных работ по установке регулятора для системы горячего водоснабжения, руб.

Стоимость работ по наладке $C_{н.р.}$ установленных регуляторов расхода тепловой энергии определяется по ЦПНР-91 «Ценник на пусконаладочные работы» и составляет:

$$C_{н.р.} = C_{н.р.о.} + C_{н.р.в.} + C_{н.р.г.в.}, \text{ руб.}, \quad (6.40)$$

где $C_{н.р.о.}$ – стоимость работ по наладке регулятора для системы отопления, руб.;

$C_{н.р.в.}$ – стоимость работ по наладке регулятора для системы вентиляции, руб.;

$C_{н.р.г.в.}$ – стоимость работ по наладке регулятора для системы горячего водоснабжения, руб.

Капиталовложения $K_{рег.}$, необходимые для выполнения комплекса работ по внедрению систем регулирования на объекте, составляют:

$$K_{рег.} = C_{рег.} + C_{об.рег.} + C_{м.р.} + C_{н.р.}, \text{ руб.} \quad (6.41)$$

Если к установке принят регулятор расхода тепловой энергии, сочетающий в себе функции управления несколькими контурами регулирования (например, регулятор для системы отопления и системы горячего водоснабжения), то при выполнении расчета необходимо объединять соответствующие статьи стоимости оборудования и работ.

Срок окупаемости мероприятия за счет экономии топлива:

$$C_{р.ок} = \frac{k_{рег.}}{\Delta BC_{топ}}, \quad (6.42)$$

где $k_{рег.}$ – капиталовложения в мероприятие, руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$ – стоимость 1 т у.т. (руб.), уточняется на момент составления расчета.

6.4. Технико-экономическое обоснование внедрения солнечных гелиоколлекторов для нужд горячего водоснабжения

Экономический эффект от внедрения солнечных гелиоколлекторов заключается в снижении расхода природного газа на выработку тепловой энергии для нужд горячего водоснабжения и достигается за счет:

– выработки тепловой энергии гелиоколлекторной системой и, соответственно, замещения централизованной выработки тепла;

– снижения потерь тепловой энергии при ее транспортировке от источника тепла до объекта.

Количество суммарной солнечной радиации Q^0 падающей на наклонный гелиоколлектор:

$$Q = Q^0 \cdot T_{\text{мес}} \cdot K, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2, \quad (6.43)$$

где Q^0 – среднемесячный уровень солнечной радиации в день, $\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ день;

$T_{\text{мес}}$ – количество дней в месяце, день;

K – коэффициент для пересчета суммарной солнечной радиации с горизонтальной поверхности Q^0 на наклонную поверхность коллектора Q , отн. ед.

Применительно к рассматриваемым условиям Беларуси (широта 53–54°, угол наклона коллектора 40–45°, средний коэффициент облачности – 0,4–0,5) значения коэффициента пересчета K следует принимать в соответствии с таблицей 10.1.

Средний месячный уровень солнечной радиации в день Q^0 для соответствующего региона Беларуси следует принимать по табл. 10.2.

Количество тепловой энергии, получаема гелиосистемой за год, Гкал:

$$Q_{\text{гк}} = \sum Q \cdot \eta_{\text{гк}} / 100 \cdot S \cdot 0,86 \cdot 10^{-3}, \quad (6.44)$$

где $\eta_{\text{гк}}$ – коэффициент полезного действия гелиоколлектора (принимается в соответствии с паспортными данными гелиоустановки), %;

S – площадь солнечного коллектора (в соответствии с паспортными данными гелиоустановки), м^2 .

Экономия топлива за счет использования гелиоколлектора:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = Q_{\text{гк}} \cdot \left(1 + \frac{k_{\text{пот}}^{\text{тэ}}}{100}\right) \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-3}, \text{ т у.т.} \quad (6.45)$$

где $b_{\text{тэ}}$ – средний по энергосистеме удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике, $\text{кг у.т.} / \text{Гкал}$;

$k_{\text{пот}}^{\text{тэ}}$ – потери теплоэнергии в существующих тепловых сетях, %.

Расчет величины потерь тепловой энергии в тепловых сетях осуществляется в соответствии с ТКП 642-2019 «Порядок расчета величины технологического расхода тепловой энергии на ее передачу в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации», утвержденным и введенным в действие постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь, Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 17 декабря 2019 г. 46/73/27.

В суммарную стоимость установки принимаются затраты на солнечные коллекторы, бойлер, насосную циркуляционную станцию, цифровой контроллер, датчики, расширительные баки, воздухоотводчики и другие комплектующие, определяются по договорным ценам на основании тендера;

Стоимость проектных работ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ;

Стоимость строительно-монтажных работ – 5–10 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ – 3–5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие:

$$K_{\text{ек}} = 0,1 \cdot C_{\text{смп}} + C_{\text{об}} + (0,05 \div 0,1) \cdot C_{\text{об}} + (0,03 \div 0,05) \cdot C_{\text{об}}, \text{ руб.}$$

Срок окупаемости мероприятия:

$$C_{\text{рок}} = K_{\text{ек}} / (\Delta B_{\text{тз}} \cdot C_{\text{топл}}), \text{ лет,}$$

где $K_{\text{вк}}$ – капиталовложения в мероприятие, руб.;

$\Delta B_{\text{тз}}$ – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{\text{топл}}$ – стоимость 1 т у.т. (руб.) уточняется на момент составления расчета.

7. Основные направления снижения потребления электроэнергии в зданиях

7.1. Техничко-экономическое обоснование внедрения фотоэлектрических солнечных модулей

Экономический эффект от внедрения фотоэлектрических солнечных модулей достигается за счет использования энергии солнечного света для выработки электрической энергии (путем преобразования). Использование солнечного света – возобновляемого источника энергии, позволяет заместить импортируемые виды топлива, традиционно используемые для выработки электрической энергии. Солнечные модули генерируют электрическую энергию, в основе процесса лежит фотоэлектрический эффект.

Определяется количество солнечной радиации $\mathcal{E}_j$ попадающей на фотоэлектрический модуль, кВт·ч/м²:

$$\mathcal{E}_j = \mathcal{E}_j^0 \cdot T_{\text{мес}j} \cdot K_j, \text{ кВт·ч/м}^2, \quad (7.1)$$

где $\mathcal{E}_j^0$ – среднемесячный уровень солнечной радиации в день, кВт·ч/м² день;

$T_{\text{мес}j}$ – количество дней в j-м месяце, день;

K – коэффициент для пересчета суммарной солнечной радиации с горизонтальной поверхности $\mathcal{E}_j^0$ на наклонную поверхность фотоэлектрического модуля $\mathcal{E}_j$.

Применительно к рассматриваемым условиям Беларуси (широта 53–54°, угол наклона коллектора 40–45°, средний коэффициент облачности – 0,4–0,5) значения коэффициента пересчета K_j следует принимать в соответствии с табл. 7.1.

Средний месячный уровень солнечной радиации в день $\mathcal{E}_j^0$ для соответствующего региона Беларуси следует принимать по табл. 7.2.

Электрическая энергия, производимая фотоэлектрической системой за год равна:

$$\mathcal{E}_{\text{фэс}} = (\sum_j \mathcal{E}_j \cdot \eta_{\text{фэс}}) \cdot S, \text{ кВт·ч}, \quad (7.2)$$

где $\eta_{\text{фэс}}$ – коэффициент полезного действия фотоэлектрической системы (ФЭС) (принимается в соответствии с паспортными данными ФЭС), отн. ед.;

S – суммарная площадь фотоэлектрических солнечных модулей, м².

КПД фотоэлектрической системы равен, отн. ед.:

$$\eta_{\text{фэс}} = \eta_{\text{фм}} \cdot \eta_{\text{пер}}, \quad (7.3)$$

где $\eta_{\text{фм}}$ – КПД фотоэлектрического модуля, отражающего эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую, отн. ед.

$\eta_{\text{пер}}$ – КПД устройств передачи электроэнергии от фотоэлектрических модулей к потребителю равен, отн. ед.

$$\eta_{\text{пер}} = \eta_{\text{конт}} \cdot \eta_{\text{акб}} \cdot \eta_{\text{инв}},$$

где $\eta_{\text{конт}}$ – КПД контроллера заряда, равный 0,9, отн. ед.;

$\eta_{\text{акб}}$ – КПД заряда-разряда аккумуляторной батареи, равный 0,83 с функцией контроллера ШИМ, равный 0,9 с функцией контроллера МРРТ, отн.ед.

$\eta_{\text{инв}}$ – КПД инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный, равный 0,8 отн. ед.

Экономия топлива за счет использования солнечной энергии равна, т у.т.:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = \Delta_{\text{фэс}} \cdot b_{\text{ээ}}^{\text{зам}} \cdot (1 + k_{\text{пот}}/100) \cdot 10^{-6}, \quad (7.4)$$

где $b_{\text{ээ}}^{\text{зам}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии от замыкающего энергоисточника, г у.т./кВт·ч;

$k_{\text{пот}}$ – потери электроэнергии в электрических сетях ГПО «Бел-энерго», %.

Таблица 7.1 – Коэффициент пересчета суммарной солнечной радиации с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность коллектора, отн. ед.

Месяц	К
Январь	2,90
Февраль	2,02
Март	0,48
Апрель	1,15
Май	0,99
Июнь	0,94
Июль	0,96
Август	1,07
Сентябрь	1,31
Октябрь	1,78
Ноябрь	2,52
Декабрь	3,21

Таблица 7.2 – Среднемесячный уровень солнечной радиации в городах Республики Беларусь, (кВт·ч/м² день)

Месяц	Регион					
	Брест	Гродно	Витебск	Могилев	Гомель	Минск
Январь	0,88	0,80	0,72	0,86	0,93	0,81
Февраль	1,61	1,50	1,50	1,69	1,74	1,64
Март	2,69	2,62	2,70	2,85	2,91	2,76
Апрель	3,80	3,70	3,87	3,82	3,90	3,75
Май	5,00	4,98	5,20	5,01	5,11	4,94
Июнь	4,97	4,90	5,24	5,05	5,18	4,95
Июль	4,78	4,75	5,21	4,99	5,09	4,86
Август	4,34	4,75	5,21	4,99	2,95	4,86
Сентябрь	2,86	2,82	2,75	2,84	2,95	2,73
Октябрь	1,65	1,58	1,52	1,66	1,76	1,55
Ноябрь	0,87	0,77	0,80	0,85	0,92	0,82
Декабрь	0,68	0,61	0,51	0,65	0,69	0,57
Среднее	2,85	2,78	2,86	2,88	2,97	2,81

Срок окупаемости мероприятия за счет экономии топлива:

$$C_{\text{рок}} = K_{\text{оп}} / (\Delta B \cdot C_{\text{топл}}), \text{ лет}, \quad (7.5)$$

где K – капиталовложения в мероприятие, руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{\text{топл}}$ – стоимость 1 т у.т. (руб.), уточняется на момент составления расчета.

7.2. Технико-экономическое обоснование внедрения регулируемого электропривода насоса

При использовании регулируемого электропривода экономия электроэнергии достигается за счет следующих мероприятий:

- снижение потерь в трубопроводах;
- снижение потерь на дросселирование в регулирующих устройствах;
- поддержание оптимального гидравлического режима в сетях;

- устранение влияния холостого хода электродвигателя;
- оптимизация режима работы установки в зависимости от рабочих параметров.

Расчет экономии топлива от внедрения регулируемого электропривода насоса осуществляется следующим образом.

Мощность на валу насоса, кВт, при работе с заданным расходом G ($\text{м}^3/\text{ч}$) и фактическим давлением на напоре и всасе механизма без установленного ЧРЭП H_n^ϕ :

$$N^{\text{ном}} = \frac{G \cdot (H_n^\phi - H_{\text{вс}}^\phi) \cdot \rho}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{дв}}}, \quad (7.6)$$

где H_n^ϕ – фактическое давление на напоре насоса до регулирующего органа, м. вод. ст.;

$H_{\text{вс}}^\phi$ – давление на всасе насоса, м.вод.ст.;

ρ – плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

η_m – КПД механизма при фактических напоре и расходе согласно его характеристике, о.е.;

$\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателя, о.е.

Мощность на валу насоса, кВт, при работе с заданным расходом G и фактическом давлением на напоре и всасе механизма после установки ЧРЭП $H_n^{\text{чрэн}}$:

$$N^{\text{чрэн}} = \frac{G \cdot (H_n^{\text{чрэн}} - H_{\text{вс}}^{\text{факт}}) \cdot \rho}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_m^{\text{чрэн}} \cdot \eta_{\text{дв}}}, \quad (7.7)$$

где $H_n^{\text{чрэн}}$ – фактическое давление на напоре механизма, требуемое потребителем, м. вод. ст.;

$H_{\text{вс}}^{\text{факт}}$ – давление на всасе насоса, м. вод. ст.;

$\eta_m^{\text{чрэн}}$ – максимальный КПД механизма, о. е.

Годовой расход электроэнергии, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$, при работе насоса с номинальной скоростью:

$$W_n = N^{\text{ном}} \cdot T \cdot K_{\text{и}}, \quad (7.8)$$

где T – количество часов работы в год, ч;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования.

Годовой расход электроэнергии, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$, при работе насоса с регулируемым электроприводом:

$$W = N_{\text{чрп}} \cdot T \cdot K_{\text{и}}, \quad (7.9)$$

где T – количество часов работы в год, ч;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования.

Годовая экономия электроэнергии при работе насоса с регулируемым электроприводом, по сравнению с насосом с обычным электроприводом:

$$\Delta W = W_{\text{н}} - W. \quad (7.10)$$

Годовая экономия условного топлива (т у.т.) от внедрения регулируемого электропривода с учетом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях:

$$\Delta B = \Delta W \cdot b_{\text{эз}}^{\text{зам}} \cdot (1 + k_{\text{пот}}/100) \cdot 10^{-6}, \quad (7.11)$$

где $b_{\text{эз}}^{\text{зам}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у.т./кВт ч;

$k_{\text{пот}}$ – потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе ГПО «Белэнерго», %.

Укрупненные капиталовложения в регулируемый электропривод равны:

- стоимость выбранного регулируемого электропривода $C_{\text{рп}}$ согласно договорной цены фирмы – поставщика (на основании тендера);

- стоимость электротехнических устройств и КИП составляет ориентировочно 3–5 % от стоимости РЭП.

- стоимость строительно-монтажных работ – 5–10 % от стоимости оборудования;

- стоимость пуско-наладочных работ – 3–5 % от стоимости оборудования.

Стоимость оборудования:

$$C_{\text{об.}} = C_{\text{рп}} + (0,03 \div 0,05) \cdot C_{\text{рп}}, \text{ руб.} \quad (7.12)$$

Капиталовложения в мероприятие:

$$K_{\text{рп}} = C_{\text{об.}} + (0,05 \div 0,1) \cdot C_{\text{об.}} + (0,03 \div 0,05) \cdot C_{\text{об.}}, \text{ руб.} \quad (7.13)$$

Срок окупаемости мероприятия:

$$C_{\text{рок}} = K_{\text{рп}} / (\Delta B \cdot C_{\text{топл}}), \text{ лет}, \quad (7.14)$$

где $K_{\text{рп}}$ – капиталовложения в мероприятие, руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{\text{топл}}$ – стоимость 1 т у.т. (руб.), уточняется на момент составления расчета.

7.3. Технико-экономическое обоснование внедрения частотного преобразователя для технологического оборудования

Расчет экономии топлива от внедрения частотного преобразователя осуществляется в следующем порядке.

Годовой расход электроэнергии при работе электродвигателя с номинальной скоростью равен:

$$W_n = N_{\text{ном}} \cdot T \cdot K_n, \text{ кВт ч}, \quad (7.15)$$

где $N_{\text{ном}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

T – количество часов работы, ч;

K_n – коэффициент использования.

Мощность электродвигателя при работе на пониженной скорости (с частотным преобразователем):

$$N_{\text{чп}} = N_{\text{ном}} \cdot n^3 / n_{\text{ном}}^3, \text{ кВт}, \quad (7.16)$$

где $n_{\text{чп}}$ – обороты электродвигателя при работе на пониженной частоте (с частотным преобразователем), об/мин;

$n_{\text{ном}}$ – номинальные обороты электродвигателя, об/мин,

Для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором скорость вращения при работе с частотным преобразователем:

$$n_{\text{чп}} = 60 \cdot f_{\text{чп}} / p, \text{ об/мин},$$

где $f_{\text{чп}}$ – частота, Гц;

p – число пар полюсов электродвигателя.

Годовой расход электроэнергии электродвигателем при работе с частотным преобразователем:

$$W_{\text{чп}} = N_{\text{чп}} \cdot T \cdot K_n, \text{ кВт ч}. \quad (7.17)$$

Годовая экономия электроэнергии электродвигателя при работе с частотным преобразователем, по сравнению с электродвигателем с номинальной скоростью:

$$\Delta W = W_n - W_{\text{чп}}, \text{ кВт ч}. \quad (7.18)$$

Годовая экономия условного топлива от внедрения частотного преобразователя с учетом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях:

$$\Delta B = \Delta W \cdot b_{\text{эз}}^{\text{зам}} \cdot (1 + k_{\text{пот}}/100) \cdot 10^{-6}, \text{ т у.т.}, \quad (7.19)$$

где $b_{\text{эз}}^{\text{зам}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у.т./кВт ч;

$k_{\text{пот}}$ – потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе ГПО «Белэнерго», %.

Укрупненные капиталовложения для реализации мероприятия:

– стоимость выбранного частотного преобразователя $C_{чп}$ согласно договорной цены фирмы – поставщика (на основании тендера);

– стоимость электротехнических устройств и КИП составляет ориентировочно 3–5 % от стоимости ЧП;

– стоимость строительно-монтажных работ – 5–10 % от стоимости оборудования;

– стоимость пуско-наладочных работ – 3–5 % от стоимости оборудования.

Стоимость оборудования:

$$C_{об.} = C_{чп} + (0,03 \div 0,05) \cdot C_{чп}, \text{ руб.} \quad (7.20)$$

Капиталовложения в мероприятие:

$$K_{рзп} = C_{об} + (0,05 \div 0,1) \cdot C_{об} + (0,03 \div 0,05) \cdot C_{об}, \text{ руб.} \quad (7.21)$$

Срок окупаемости мероприятия:

$$Cp_{ок} = K_{рзп} / (\Delta B \times C_{топл}), \text{ лет,} \quad (7.22)$$

где $K_{рзп}$ – капиталовложения в мероприятие, руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$ – стоимость 1 т у.т. (руб.), уточняется на момент составления расчета.

7.4. Технико-экономическое обоснование внедрения автоматических систем компенсации реактивной мощности

При использовании автоматических систем компенсации реактивной мощности важным направлением в экономии электроэнергии и рациональном ее использовании является повышение коэффициента мощности ($\cos\phi$). Коэффициент мощности – величина, показывающая, какую часть потребляемой полной мощности составляет активная. При одной и той же используемой мощности электроприемник с низким коэффициентом мощности потребляет больший ток, что вызывает увеличение нагрузки линии электропередач и трансформаторов. Это ведет к уменьшению эксплуатационной мощности трансформатора, генератора и увеличивает потери электроэнергии в сетях. Так, при уменьшении коэффициента мощности от 1 до 0,5 потери электроэнергии увеличиваются в четыре раза.

Расчет экономии электроэнергии от внедрения автоматических систем компенсации реактивной мощности

Реактивная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{кy} = P_{ср} \cdot k_{квар}, \quad (7.23)$$

где $P_{\text{ср}}$ – среднегодовая активная мощность, кВт;

$k_{\text{квар}}$ – коэффициент, получаемый из таблицы в соответствии со значениями коэффициентов мощности $\cos \varphi_1$ и $\cos \varphi_2$, квар/кВт (Приложение Д).

Годовая экономия электроэнергии при установке компенсирующих устройств:

$$\Delta \mathcal{E} = Q_{\text{к.у}} \cdot K_3 \cdot t \text{ кВт ч}, \quad (7.24)$$

где $Q_{\text{к.у}}$ – потребляемая мощность компенсирующего устройства, квар;

K_3 – экономический эквивалент, равный 0,1 кВт/квар;

t – количество часов работы компенсирующего устройства в год, ч.

Годовая экономия условного топлива от внедрения автоматических систем компенсации реактивной мощности с учетом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях:

$$\Delta B = \Delta \mathcal{E} \cdot b_3 \cdot (1 + k_{\text{пот}}/100) < 10^{-6}, \text{ т у.т.}, \quad (7.25)$$

где b_3 – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у.т./кВт ч;

$k_{\text{пот}}$ – потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе концерна «Белэнерго».

Капитальные вложения, связанные с внедрением автоматической системы компенсации реактивной мощности, по сравнению с установками без него, определяются по укрупнённым показателям, исходя из следующих предпосылок:

- стоимость оборудования и материалов, $C_{\text{об}}$, определяется проектно-сметной документацией и уточняется по результатам тендерных торгов на его поставку, рубли;

- стоимость проектных работ принимается равной 5–10 % от стоимости строительно-монтажных работ (СМР), $C_{\text{смр}}$, рубли;

- стоимость СМР – 25–30 % от стоимости оборудования и материалов, рубли;

- стоимость пуско-наладочных работ – 3–5 % от стоимости оборудования и материалов, рубли.

Капиталовложения в мероприятие определяются следующим образом, руб.:

$$\Delta K = C_{\text{об}} + (0,05 \div 0,1) C_{\text{смр}} + (0,25 \div 0,3) \cdot C_{\text{об}} + (0,03 \div 0,05) \cdot C_{\text{об}}. \quad (7.26)$$

В состав затрат на оборудование и материалы входят расходы на приобретение теплоутилизатора, дополнительных воздухопроводов и их

элементов, замену вентиляторов (если потребуется) и других материалов и оборудования, необходимых для реализации мероприятия.

Срока окупаемости мероприятия:

$$Cp_{ок} = \Delta K / (\Delta B \cdot C_{топл}), \text{ лет,} \quad (7.27)$$

где ΔK – капиталовложения в мероприятие, руб.;

ΔB – экономия условного топлива от внедрения автоматических систем компенсации реактивной мощности, т у.т.;

$C_{топл}$ – стоимость 1 т у.т. (руб.), уточняется на момент составления расчета.

8. Свидетельство об энергетической эффективности здания

При соответствии расчетных значений показателей установленным требованиям класс здания по показателям энергетической эффективности составляют эксплуатационно-технический паспорт здания (в соответствии с ТКП 45-1.02-295 и свидетельство об энергетической эффективности здания. Форма свидетельства об энергетической эффективности здания – в соответствии с *приложением Г*.

Примечание. Приложение к свидетельству об энергетической эффективности здания составляют с учетом показателей, приведенных в СП 2.04.02.

В случае изменения в процессе строительства здания проектных решений, влияющих на теплотехнические и энергетические показатели, следует выполнить повторный расчет теплотехнических и энергетических показателей здания.

Теплотехнические и энергетические показатели здания, соответствующие исполнительной документации, указывают в эксплуатационно-техническом паспорте здания. Несоответствие теплотехнических и энергетических показателей здания установленным нормативным значениям недопустимо.

Рекомендуемая литература

1. СН 2.04.02-2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность». – Введен 12.11.2020 № 78. – Минск, 2020. – 29 с.
2. Пашинский, В. А. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) / В. А. Пашинский, А. Н. Баран, Е. С. Якубовская. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 120 с.
3. Энергоэффективные жилые здания: тепловая защита, утилизация тепловых выбросов, измерение теплоэнергетических показателей / Л. Н. Данилевский. – Минск, 2018. – 536 с.
4. СН 2.04.01-2020 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. – Введен 18.11.2020 №93. – Минск, 2020. – 76 с.
5. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. Минск : Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации РБ, 2020. – 144 с.
6. СП 2.04.02-2020 «Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели». – Введен 30.11.2020 № 99. – Минск, 2020. – 33 с.
7. П2-2019 к ТКП 45-3.02-325-2018. Проектирование зданий и помещений розничных торговых объектов и объектов общественного питания. – Минск, 2018. – 103 с.
8. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 мая 2003 г. № 724 «О мерах по внедрению системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения республики». – Минск, 2003. – 12 с.

Приложение А

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А. Д. САХАРОВА» БГУ

Факультет МОС

Кафедра энергоэффективных технологий

Курсовая работа
по дисциплине «Эффективность энергетических систем»

Вариант № ____

Тема: **«Повышение класса энергоэффективности
здания»**

Студент 3 курса А02ЭТЭ1 группы

_____/_____
(личная подпись) (ФИО)

Шифр зачетной книжки _____

Руководитель

_____/_____
(личная подпись) (ФИО)

Минск 2023

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ А. Д. САХАРОВА» БГУ**

Факультет МОС
Специальность 1-43 01 06

«Утверждаю»
Зав. кафедрой ЭТ
_____/_____
« » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

на курсовое проектирование по дисциплине
«Эффективность энергетических систем» на тему
«Повышение класса энергоэффективности здания»

Студенту (ке) _____

Утверждена на заседании кафедры ЭТ (протокол № __ от __. __.20__ г.)

1. Сроки сдачи студентом законченной работы __. __.20__ г.

2. Исходные данные к работе. Вариант № ____.

Жилое здание _____ г. постройки, расположенное в г. ____ Республики Беларусь.

Здание в плане имеет прямоугольную форму с ориентацией главного фасада (δ) на и размерами по наружному габариту (а×в) _____ м. Свободная высота здания (Н) составляет _____ м.

В планировочном плане здание _____ секционное, _____ этажное с высотой этажа (h) _____ м.

Под всем зданием расположен не отапливаемый подвал со световыми проемами.

Крыша здания _____ ..

Конструкции наружных ограждений здания: Наружная стена (приложение Г) _____.

Кровельное покрытие/чердачное перекрытие (приложение Д)

_____. Подвальное перекрытие (приложение Е) _____. Заполнение наружных световых проемов (приложение Ж) _____.

Коэффициент остекления здания (ϕ) _____.

Объемный коэффициент здания ($K_{об}$) _____ $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Обеспеченность жилой площадью ($f_{ж}$) _____ $\text{м}^2/\text{чел.}$

Тепловой баланс здания для данных условий выполнен по дисциплине «Энергопотребление в зданиях и сооружениях».

3. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень вопросов, которые подлежат разработке):

Введение

3.1. Геометрические и теплоэнергетические характеристики здания.

3.2. Удельный расход тепловой энергии на отопление здания:

3.3. Исходные данные для расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление здания

3.4. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление жилых и общественных зданий за отопительный период

3.5. Нормативный удельный расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период

3.6. Энергетическая эффективность зданий

3.6.1. Техничко-экономическое обоснование термореновации ограждающих конструкций зданий

3.6.2. Техничко-экономическое обоснование установки теплоотражающих экранов за радиаторами отопления

3.6.3. Техничко-экономическое обоснование внедрения регуляторов расхода тепловой энергии

3.6.4. Техничко-экономическое обоснование внедрения фотоэлектрических солнечных модулей

3.6.5. Техничко-экономическое обоснование внедрения солнечных гелиоколлекторов для нужд горячего водоснабжения

3.7. Теплоэнергетический паспорт здания

Заключение

Список использованных источников.

4. Консультант по курсовой работе _____

5. Дата выдачи задания _____ 20____ г.

5. Перечень графического материала

5.1. План котельной, разрезы ограждающих конструкций (стен, пола, перекрытий) в принятом масштабе, аксонометрические схемы системы отопления – 1 лист формат А1.

6. Консультанты:

По проекту в целом – /_____/

7. Календарный график работы над всем проектом на весь период проектирования

25 % проекта – _____.____.20____ г.

50 % проекта – _____.____.20____ г.

75 % проекта – _____.____.20____ г.

100 % проекта – _____.____.20____ г.

Дата выдачи задания «__» ____ 20__ г. Руководитель _____ / _____ /
(подпись)

Задание принял к проектированию «__» ____ 20__ г. _____ / _____ /
(подпись)

Приложение В

Задание к курсовой работе

Вариант	Характеристика здания									
	Год ввода	Город	δ	a , м	b , м	H , м	Этажность	Число секций	h , м	Крыша
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0*	1968	Славгород	СЗ	11,8	65,4	16,2	5	4	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
1	1970	Брест	С	12,4	50,6	10,2	3	3	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
2	1972	Пинск	СВ	12,6	81,5	15,9	5	5	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
3	1974	Барановичи	В	11,8	52,8	16,0	5	3	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
4	1976	Минск	ЮВ	12,6	64,8	28,4	9	4	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
5	1978	Борисов	Ю	12,4	50,3	9,8	3	3	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
6	1980	Витебск	ЮЗ	12,5	34,1	13,1	4	2	3,0	Плоская рулонная с полупроходным чердаком
7	1982	Полоцк	З	13,4	67,2	17,8	5	4	3,0	Чердачная с кровлей из рулонных материалов
8	1984	Гомель	СЗ	12,6	49,6	11,8	3	3	3,0	Чердачная с кровлей из штучных материалов
9	1986	Жлобин	С	11,9	62,8	16,0	5	4	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
10	1987	Могилев	СВ	12,5	46,4	10,0	3	3	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
11	1969	Бобруйск	В	12,8	63,0	16,4	5	5	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
12	1971	Гродно	ЮВ	12,0	32,0	13,8	4	2	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
13	1973	Лида	Ю	12,4	45,5	10,5	3	3	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

14	1975	Волковыск	ЮЗ	12,2	30,6	11,0	3	2	3,0	Чердачная с кровлей из штучных материалов
15	1977	Новогрудок	З	13,2	58,2	29,0	9	4	3,0	Плоская рулонная с полупроходным чердаком
16	1979	Брест	СЗ	12,8	35,1	10,6	3	3	3,0	Чердачная с кровлей из рулонных материалов
17	1981	Пинск	С	12,4	88,2	28,0	9	6	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
18	1983	Барановичи	СВ	12,7	64,8	10,0	3	4	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
19	1985	Минск	В	11,8	33,6	13,2	4	2	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
20	1987	Борисов	ЮВ	12,2	39,4	16,0	5	3	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая

* - типовой вариант

Приложение В – окончание

	φ	$K_{об},$ $м^3/м^2$	$f_{ж,,}$ $м^2 /чел$	Конструкция наружных ограждений				$t_n^n, ^\circ C$	$t_n^ч, ^\circ C$
				Н.с.	К.п./Ч.	П.п.	Ок.		
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0*	0,20	6,2	12	В - 0	Г - 0	Д - 0	Е - 1	4,0	–
1	0,22	5,8	10	В - 1	Г - 1	Д - 1	Е - 1	6,0	–
2	0,20	5,9	11	В - 2	Г - 2	Д - 2	Е - 2	7,0	–
3	0,20	6,0	12	В - 3	Г - 3	Д - 3	Е - 1	2,5	–
4	0,18	6,1	13	В - 4	Г - 4	Д - 1	Е - 2	1,5	–
5	0,22	6,2	14	В - 5	Г - 5	Д - 2	Е - 1	7,5	–
6	0,22	6,3	15	В - 6	Г - 6	Д - 3	Е - 2	3,2	2,6
7	0,20	6,4	10	В - 7	Г - 7	Д - 1	Е - 1	6,4	5,8
8	0,22	6,5	11	В - 8	Г - 8	Д - 2	Е - 2	7,0	7,2
9	0,20	6,6	12	В - 9	Г - 1	Д - 3	Е - 1	3,8	–
10	0,22	5,8	13	В - 1	Г - 2	Д - 1	Е - 2	7,0	–
11	0,20	5,9	14	В - 2	Г - 3	Д - 2	Е - 1	7,4	–
12	0,22	6,0	15	В - 3	Г - 4	Д - 3	Е - 2	4,4	–
13	0,22	6,1	10	В - 4	Г - 5	Д - 1	Е - 1	7,2	–
14	0,22	6,2	11	В - 5	Г - 6	Д - 2	Е - 2	7,8	3,2
15	0,18	6,3	12	В - 6	Г - 7	Д - 3	Е - 1	1,6	1,4
16	0,22	6,4	13	В - 7	Г - 8	Д - 1	Е - 2	2,4	4,8
17	0,18	6,5	14	В - 8	Г - 1	Д - 2	Е - 1	7,2	–
18	0,22	6,6	15	В - 9	Г - 2	Д - 3	Е - 2	6,0	–
19	0,22	5,8	10	В - 1	Г - 3	Д - 1	Е - 1	5,5	–
20	0,20	5,9	11	А - 2	Г - 4	Д - 2	Е - 2	7,0	–

Приложение Г

Форма свидетельства об энергетической эффективности здания

СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЯ

(в соответствии с проектной документацией)

« » 20__ г.

дата оформления

Оформлено _____

наименование организации, оформившей свидетельство

Заказчик (застройщик) _____

наименование заказчика/застройщика

Адрес здания _____

Год постройки здания _____ г.

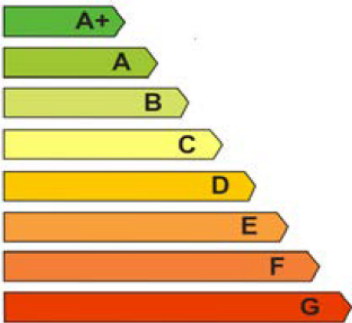
Функциональное назначение здания _____

Размещение здания в застройке _____

отдельно стоящее, пристроенное

Вид энергоносителя для обеспечения отопления и горячего водоснабжения

Тип вентиляции – _____

Класс здания	Общий показатель	Отопление и вентиляция	Горячее водоснабжение
			

Общий показатель энергетической эффективности _____ МДж/м² (кВт·ч/м²)

Удельный расход энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период _____ МДж/м² (кВт·ч/м²)

Удельный расход энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения _____ МДж/м² (кВт·ч/м²)

Воздухопроницаемость здания при стандартном перепаде _____ м³/ч·м²

Соответствие проекта здания нормативным требованиям _____

Должность, Ф. И. О. руководителя организации, оформившей свидетельство

дата

подпись

Должность, Ф. И. О. специалиста, оформившего свидетельство

дата

подпись

Приложение к свидетельству об энергетической эффективности здания

Расчетные условия			
Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1. Расчетная температура внутреннего воздуха	t_{int}	°C	
2. Расчетная температура наружного воздуха	t_{ext}	°C	
3. Расчетная температура воздуха теплого	t_q	°C	
4. Расчетная температура воздуха техниче-	t_n	°C	
5. Продолжительность отопительного периода	Z_{ht}	сут	
6. Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t_{ht}	°C	
7. Градусо-сутки отопительного периода	D_d	°C·сут	

Функциональное назначение, тип и конструктивное решение

12. Назначение	
13. Размещение в застройке	
14. Тип	
15. Конструктивное решение	

Геометрические, теплотехнические и энергетические показатели здания

Наименование показателя	Обозначение и единица измерения	Нормативное значение	Расчетное (проектное) значение	Фактическое значение
Геометрические показатели				
12. Общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_e^{sum}, м^2$	—		
наружных стен	$A_w, м^2$	—		
окон и балконных дверей	$A_F, м^2$	—		
витражей	$A_F, м^2$	—		
фонарей	$A_F, м^2$	—		
наружных дверей и ворот	$A_{ed}, м^2$	—		
покрытий (совмещенных)	$A_c, м^2$	—		
чердачных перекрытий (холодных)	$A_c, м^2$	—		
перекрытий теплых чердаков	$A_c, м^2$	—		
перекрытий над техподпольями	$A_c, м^2$	—		
перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	$A_f, м^2$	—		
пола по грунту	$A_f, м^2$	—		
других ограждающих конструкций	$A_f, м^2$	—		
13. Площадь жилых помещений	$A_i, м^2$	—		
14. Расчетная площадь (для общественных зданий)	$A_i, м^2$	—		
15. Отапливаемый объем	$A_i, м^2$	—		
16. Коэффициент остекленности фасада здания	$V_h, м^3$	—		
	f	—		
17. Показатель компактности здания	k_e^{des}	—		
		—		

Наименование показателя	Обозначение и единица измерения	Нормативное значение	Расчетное (проектное) значение	Фактическое значение
Теплоэнергетические показатели				
18. Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций:	$R_o, \text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	—		
наружных стен	R_w^r	—		
окон, балконных дверей и фона	R_F^r	—		
витражей	R_e^r	—		
входных дверей и ворот	R_{ed}^r	—		
покрытий, чердачных перекрытий (холодных чердаков)	R_c^r	—		
перекрытий теплых чердаков (включая покрытие)	R_c^r	—		
перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	R_f^r	—		
перекрытий над проездами и под эркерами	R_f^r	—		
пола по грунту	R_t^r	—		
19. Приведенный коэффициент теплопередачи здания	$k_m^{tr}, \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$	—		
20. Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период	$n_a, \text{ч}^{-1}$	—		
21. Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции	$k_m^{inf}, \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$	—		
22. Общий приведенный коэффициент теплопередачи здания				
Энергетические показатели				
23. Общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции за отопительный период	$Q_h, \text{МДж}$	—		
24. Удельные бытовые	$g_{int}, \text{Вт/м}^2$	—		

Наименование показателя	Обозначение и единица измерения	Нормативное значение	Расчетное (проектное) значение	Фактическое значение
теплопоступления				
25. Бытовые теплопоступления в здание за отопительный период	Q_{int} , МДж	—		
26. Требуемое количество тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода	Q_h^y , МДж	—		
27. Затраты поставляемой энергии нетто на подогрев 1 м ³ воды в системе горячего водоснабжения	g_o , кВт·ч/м ³	—		
28. Затраты энергии вторичных и возобновляемых источников энергии на подогрев 1 м ³ воды в системе горячего водоснабжения	g_2 , кВт·ч/м ³	—		
29. Удельный расход энергии на горячее водоснабжение	g_{hw} , кВт·ч/м ³	—		
30. Воздухопроницаемость при стандартном перепаде давления	g_{50} , м ³ /(м ² ·ч)	—		
Коэффициенты				
31. Коэффициент, зависящий от способа регулирования подачи теплоты в системах отопления	ζ			
32. Коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери (теплопотребление)	β_h			
Комплексные показатели				
33. Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания	g_h^{des} , МДж/м ² в год			
34. Нормативный удельный расход тепловой энергии на	g_h^{reg} ,			

Наименование показателя	Обозначение и единица измерения	Нормативное значение	Расчетное (проектное) значение	Фактическое значение
отопление и вентиляцию здания	МДж/м ²			
35. Нормативный удельный расход энергии на горячее водоснабжение за год	МДж/м ³			
36. Удельный расход энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение многоквартирных жилых зданий	g_{hw} , кВт·ч/м ³			
37. Класс здания по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный сезон	g_h^{reg} , кВт·ч/м ²			
38. Класс здания по показателю удельного расхода энергии на подогрев 1 м ³ воды в системе горячего водоснабжения				
39. Класс здания по показателю удельного расхода энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение многоквартирных жилых зданий				

Приложение Д

Коэффициент $k_{\text{квар}}$, в соответствии со значениями текущего
коэффициента мощности $\cos \varphi_1$ и требуемого $\cos \varphi_2$, квар/кВт

Текущий (действующий) $\cos \varphi_1$	Требуемый (желаемый) $\cos \varphi_2$									
	0,80	0,82	0,85	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
	Коэффициент $k_{\text{квар}}$									
0,30	2,43	2,48	2,56	2,64	2,70	2,75	2,82	2,89	2,98	3,18
0,32	2,21	2,26	2,34	2,42	2,48	2,53	2,60	2,67	2,76	2,96
0,34	2,02	2,07	2,15	2,23	2,28	2,34	2,41	2,48	2,56	2,77
0,36	1,84	1,89	1,97	2,05	2,10	2,17	2,23	2,30	2,39	2,59
0,38	1,68	1,73	1,81	1,89	1,95	2,01	2,07	2,14	2,23	2,43
0,40	1,54	1,59	1,67	1,75	1,81	1,87	1,93	2,00	2,09	2,29
0,42	1,41	1,46	1,54	1,62	1,68	1,73	1,80	1,87	1,96	2,16
0,44	1,29	1,34	1,42	1,50	1,56	1,61	1,68	1,75	1,84	2,04
0,46	1,18	1,23	1,31	1,39	1,45	1,50	1,57	1,64	1,73	1,93
0,48	1,08	1,13	1,21	1,29	1,34	1,40	1,47	1,54	1,62	1,83
0,50	0,98	1,03	1,11	1,19	1,25	1,31	1,37	1,45	1,63	1,73
0,52	0,89	0,94	1,02	1,10	1,16	1,22	1,28	1,35	1,44	1,64
0,54	0,81	0,86	0,94	1,02	1,07	1,13	1,20	1,27	1,36	1,56
0,56	0,73	0,78	0,86	0,94	1,00	1,05	1,12	1,19	1,28	1,48
0,58	0,65	0,70	0,78	0,86	0,92	0,98	1,04	1,11	1,20	1,40
0,60	0,58	0,63	0,71	0,79	0,85	0,91	0,97	1,04	1,13	1,33
0,61	0,55	0,60	0,68	0,76	0,81	0,87	0,94	1,01	1,10	1,30
0,62	0,52	0,57	0,65	0,73	0,78	0,84	0,91	0,99	1,06	1,27
0,63	0,48	0,53	0,61	0,69	0,75	0,81	0,87	0,94	1,03	1,23
0,64	0,45	0,50	0,58	0,66	0,72	0,77	0,84	0,91	1,00	1,20
0,65	0,42	0,47	0,55	0,63	0,68	0,74	0,81	0,88	0,97	1,17
0,66	0,39	0,44	0,52	0,60	0,65	0,71	0,78	0,85	0,94	1,14
0,67	0,36	0,41	0,49	0,57	0,63	0,68	0,75	0,82	0,90	1,11
0,68	0,33	0,38	0,46	0,54	0,59	0,65	0,72	0,79	0,88	1,08

Текущий (действующий) $\cos \varphi_1$	Требуемый (желаемый) $\cos \varphi_2$									
	0,80	0,82	0,85	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
	Коэффициент $k_{\text{квар}}$									
0,69	0,30	0,35	0,43	0,51	0,56	0,62	0,69	0,76	0,85	1,05
0,70	0,27	0,32	0,40	0,48	0,54	0,59	0,66	0,73	0,82	1,02
0,71	0,24	0,29	0,37	0,45	0,51	0,57	0,63	0,70	0,79	0,99
0,72	0,21	0,26	0,34	0,42	0,48	0,54	0,60	0,67	0,76	0,96
0,73	0,19	0,24	0,32	0,40	0,45	0,51	0,58	0,65	0,73	0,94
0,74	0,16	0,21	0,29	0,37	0,42	0,48	0,55	0,62	0,71	0,91
0,75	0,13	0,18	0,26	0,34	0,40	0,46	0,52	0,59	0,68	0,88
0,76	0,11	0,16	0,24	0,32	0,37	0,43	0,50	0,57	0,65	0,86
0,77	0,08	0,13	0,21	0,29	0,34	0,40	0,47	0,54	0,63	0,83
0,78	0,05	0,10	0,18	0,26	0,32	0,38	0,44	0,51	0,60	0,80
0,79	0,03	0,08	0,16	0,24	0,29	0,35	0,42	0,49	0,57	0,78
0,80		0,05	0,13	0,21	0,27	0,32	0,39	0,46	0,55	0,75
0,81			0,10	0,18	0,24	0,30	0,36	0,43	0,52	0,72
0,82			0,08	0,16	0,21	0,27	0,34	0,41	0,49	0,70
0,83			0,05	0,13	0,19	0,25	0,31	0,38	0,47	0,67
0,84			0,03	0,11	0,16	0,22	0,29	0,36	0,44	0,65
0,85				0,08	0,14	0,19	0,26	0,33	0,42	0,62
0,86				0,05	0,11	0,17	0,23	0,30	0,39	0,59
0,87					0,08	0,14	0,21	0,28	0,36	0,57
0,88					0,06	0,11	0,18	0,25	0,34	0,54
0,89					0,03	0,09	0,15	0,22	0,31	0,51
0,90						0,06	0,12	0,19	0,28	0,48
0,91						0,03	0,10	0,17	0,25	0,46
0,92							0,07	0,14	0,22	0,43
0,93							0,04	0,11	0,19	0,40
0,94								0,07	0,16	0,36
0,95									0,13	0,33

Учебное издание

ПОВЫШЕНИЕ КЛАССА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ЗДАНИЯ

Методические указания к выполнению
курсовой работы по дисциплине «Эффективность энергетических систем»

Составители:

Пашинский Василий Антонович,
Бутько Андрей Анатольевич,
Басько Светлана Григорьевна

Редактор *Л. М. Корневская*
Компьютерная верстка *М. Ю. Мошкова*
Техническое редактирование *М. Ю. Мошкова*

Подписано в печать
Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,75. Уч.-изд. л. 3,47.
Тираж 100 экз. Заказ №

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/161 от 27.01.2014, № 2/41 от 29.01.2014,
ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.