

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет» Строительно-
политехнический колледж

Строительно-политехнический колледж

РАСЧЕТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических и самостоятельных работ по дисциплине

«Энергосбережение в городском хозяйстве»

для студентов направления

08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»

всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.3.049.7.002 (075)
ББК 38.54

Составители:

Преподаватель СПК, Севрюкова К.С.

Расчет энергоэффективности жилого здания: методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Энергосбережение в городском хозяйстве» для студентов направления 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: К.С. Севрюкова. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 17 с.

Основной целью методических указаний является объяснение сути теплотехнического расчета, приводится пример выполнения внеаудиторной самостоятельной работы «Теплотехнический расчет ограждающей конструкции».

Предназначены для самостоятельной работы и проведения практических работ по дисциплине «Энергосбережение в городском хозяйстве» для студентов специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений».

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ОП16-ПР2.pdf.

Ил. 0. Табл. 10. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.3.049.7.002 (075)

ББК 38.54

**Рецензент - О. Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф. кафедры
конструирования и производства радиоаппаратуры ВГТУ**

*Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского
государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для студентов специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений». В данных методических указаниях объясняется суть расчета энергоэффективности жилого здания, разбирается пример выполнения внеаудиторной самостоятельной работы «Расчет энергоэффективности жилого здания», в приложении приведен пример по определению класса энергоэффективности. Методические указания также могут использоваться при выполнении практических работ по теме: «Расчет энергоэффективности жилого здания».

Методические указания имеют лишь некоторые сведения из нормативной литературы. Недостающую информацию можно найти в сводах правил (СП), приведенных в списке литературы.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Самостоятельная работа студентов представляет собой работу, которую выполняют студенты по заданию и под руководством преподавателя без его непосредственного участия.

Целям и задачами самостоятельной работы студентов являются систематизация и закрепление знаний, умений и навыков, полученных в ходе практических занятий; формирование умений работать со специальной и справочной литературой, а также с Интернет-ресурсами; формирование самостоятельности мышления, стремления к самосовершенствованию и самореализации; формирование и развитие общих компетенций и подготовка к формированию профессиональных компетенций согласно ФГОС СПО; овладение практическими навыками применения информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности; развитие исследовательских умений.

1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В проекте здания обязательно наличие раздела «Энергоэффективность». В нем должны быть представлены сводные показатели энергоэффективности принятых решений в соответствующих частях проекта здания.

Сводные показатели должны быть сопоставлены с нормативными показателями удельного расхода тепловой энергии $q^{т.от}$, кВт·ч/(м²·год), которые установлены нормативами по энергосбережению (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»).

В пояснительной записке к разделу «Энергоэффективность» обычно содержатся:

- общая энергетическая характеристика рассматриваемого объекта;
- сведения о проектных решениях, направленных на повышение эффективности использования энергии;
- описание технических решений ограждающих конструкций с расчетом приведенных сопротивлений теплопередаче (за исключением светопрозрачных) с приложением протоколов теплотехнических испытаний, подтверждающих принятые расчетные теплофизические показатели строительных материалов, отличающиеся от показателей СНиП 23-02-2003 и сертификата соответствия для светопрозрачных конструкций;
- принятые виды пространства под первым и над последним этажами с указанием температуры внутреннего воздуха, принятой в расчетах, наличие мансардных этажей, используемых для жилья, тамбуров входных дверей и отопления вестибюлей, остекления лоджий;
- принятые системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, сведения о наличии приборов учета и регулирования, обеспечивающих эффективное использование энергии;
- специальные приемы повышения энергоэффективности здания: устройства по пассивному использованию солнечной энергии, системы утилизации тепла вытяжного воздуха, теплоизоляция трубопроводов отопления и горячего водоснабжения, проходящих в холодных подвалах, применение тепловых насосов и прочее;
- информация о выборе и размещении источников для объекта. В необходимых случаях приводится технико-экономическое обоснование энергоснабжения от автономных источников энергии вместо централизованных;
- сопоставление проектных решений и технико-экономических показателей в части энергопотребления с требованиями норм;
- заключение.

Пояснительная записка заканчивается составлением энергетического паспорта здания.

Энергетический паспорт жилых и общественных зданий предназначен для подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности и теплотехнических показателей здания, показателям установленным в нормативных документах.

Энергетический паспорт здания должен содержать:

- общую информацию о проекте;
- расчетные условия;
- сведения о функциональном назначении и типе здания;
- объемно-планировочные и компоновочные показатели здания;
- расчетные энергетические показатели здания, в том числе:

показатели энергоэффективности, теплотехнические показатели;

- сведения о сопоставлении с нормируемыми показателями;
- рекомендации по повышению энергоэффективности здания;
- результаты измерения энергоэффективности и уровня тепловой защиты здания после годичного периода его эксплуатации;
- класс энергетической эффективности здания.

Ниже рассмотрен ряд таблиц, в которых содержатся основные характеристики и показатели здания, по которым рассчитывается энергетическая эффективность здания.

1.1 Общая информация о здании

Таблица 1

Общая информация о здании

Дата заполнения (число, месяц, год)	
Адрес здания	
Разработчик проекта	
Назначение здания, серия	
Этажность	
Конструктивное решение	

Рассмотрим ниже составляющие таблицы 1:

Назначение здания, серия: жилое/ общественное/ производственное/ образовательное учреждение/ лечебно-профилактическое учреждение.

Если здание жилое, то указывается, многоквартирное или многоквартирное или многоквартирное блокированное согласно СП 55.13330.2016 «Дома жилые многоквартирные» (раздел 1).

Дом жилой многоквартирный (отдельно стоящий) — дом, предназначенный для постоянного совместного проживания одной семьи и связанных с ней родственными узлами или иными близкими отношениями людей.

Дом жилой — здание квартирного типа, состоящее из двух и более квартир, каждая из которых имеет непосредственный выход на приквартирный участок.

Этажность. Указывается количество этажей и тип: малоэтажное (до трех этажей включительно) или многоэтажное. Конструктивное решение. Указывается **конструктивное исполнение здания** – кирпичное, из

газобетонных панелей, монолитное железобетонное, с утеплителем и т.п.

1.2 Расчетные условия функционирования здания

В таблице «Расчетные условия» приводятся значения параметров, определяемых по географическому местонахождению обследуемого объекта.

Таблица 2

Расчетные условия функционирования здания

п/п	Наименование расчетных параметров	Обозначение символа	Единицы измерения параметра	Расчетное значение
	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	t_n	°С	
	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	
	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут	
	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С*сут/год	
	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	t_b	°С	

Рассмотрим составляющие таблицы 2:

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты. Принимается в соответствии СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» по таблице 3.1, столбец 5.

Продолжительность отопительного периода и средняя температура наружного воздуха за отопительный период. Принимается значение продолжительности периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$ в соответствии СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» по таблице 3.1, столбцы 11 и 12.

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП). Значение определяется в соответствии СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по формуле (5.2):

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{от})z_{от}, \quad (1.1)$$

где t_b — расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты. Допустимая температура воздуха принимается в соответствии СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» по таблице 4.1.

1.3 Геометрические показатели здания

Таблица 3

Геометрические показатели здания

п/п	Показатель	Обозначение символа и единицы измерения показателя	Расчетное (проектное) значение показателя
	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}, м^2$	
	Площадь жилых помещений	$A_{ж}, м^2$	
	Отапливаемый объем	$V_{от}, м^3$	
	Коэффициент остекленности фасада здания	f	
	Показатель компактности здания	$K_{комп}$	
	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания	$A_{н}^{сум}, м^2$	
	в том числе:		
	фасадов	$A_{фас}, м^2$	
	окон и балконных дверей	$A_{ок}, м^2$	
	входных дверей	$A_{дв}, м^2$	
	чердаков	$A_{черд}, м^2$	
	Окон по сторонам света:		
	С		
	З		
	В		
	Ю		
	ЮВ/ЮЗ		
	СВ/СЗ		

Рассмотрим составляющие таблицы 3:

Отапливаемый объем и площади в том числе:

- сумма площадей этажей здания;
- площадь жилых помещений;
- расчетная площадь (общественных зданий);
- общая площадь наружных ограждающих конструкций (и ее составляющие).

Должны браться из типового проекта здания, но если получение этих данных сопряжено с трудностями, то эти значения считаются приближенно.

Площадь жилых помещений, к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые, м².

Отапливаемый объем, ограниченный внутренними поверхностями наружных ограждений здания — стен, покрытий (чердачных перекрытий),

перекрытий пола первого этажа или пола подвала при отапливаемом подвале, м³.

Коэффициент остекленности фасада здания — это отношение площадей светопроемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопроемы в соответствии ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Показатель компактности здания — это отношение общей площади внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций здания к заключенному в них отапливаемому объему в соответствии ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

1.4 Теплотехнические показатели

Таблица 4

Теплотехнические показатели

п/п	Показатель	Обозначение и единицы измерения	Нормируемое значение	Расчетное (проектное) значение
	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в том числе	$R_{пр}^0$, м ² °С/Вт		
	стен	$R_{пр,ст}^0$		
	окон и балконных дверей	$R_{пр,ок}^0$		
	входных дверей	$R_{пр,дв}^0$		
	перекрытий (совмещенных)	$R_{пр,пер}^0$		
	чердаков	$R_{пр,черд}^0$		

Рассмотрим значения из таблицы 4:

Нормируемые значения приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций считаются согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», п. 5.2, таблицы 3 в зависимости от градусо-суток района строительства:

$$R_0^{норм} = a \cdot ГСОП + b, \quad (1.2)$$

где $ГСОП$ - градусо-сутки отопительного периода, °С·сут;

a , b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», табл. 3 для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6 для группы зданий в поз. 1, где для интервала до 6000 °С·сут: $a = 0,000075$, $b = 0,15$; для интервала 6000 - 8000 °С·сут: $a = 0,00005$, $b = 0,3$.

Расчетные значения рассчитываются согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по формуле (Е.6):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_s} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (1.3)$$

где α_s - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С) по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», таблица 4;

α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С) по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», таблица 6;

R_i - термическое сопротивление слоя части фрагмента, (м²·°С)/Вт, определяемое по формуле:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (1.4)$$

где δ_i - толщина слоя, м;

λ_i - теплопроводность материала слоя, Вт/(м·°С).

Теплозащитная оболочка здания должна гарантировать выполнение следующих условий:

- приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений;
- удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);
- температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований - а, б и в (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»).

1.5 Вспомогательные показатели

Таблица 5

Вспомогательные показатели

п/п	Показатель	Обозначение и единица измерения	Расчетное проектное значение показателя
	Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_{общ}$, Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$)	
	Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	n_B , $ч^{-1}$	
	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{быт}$, Вт/ m^2	

Рассмотрим составляющие таблицы 5.

Общий коэффициент теплопередачи здания Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$) определяется по формуле (Ж.2) в соответствии СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$K_{общ} = \frac{1}{A_n^{сум}} \cdot \sum_i (n_{t,i} \cdot \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}}), \quad (1.5)$$

где $R_{o,i}^{np}$ - расчетное сопротивление теплопередаче i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт;

$A_{\phi,i}$ - площадь соответствующего фрагмента ограждения, m^2 ;

$n_{t,i}$ - коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете;

$A_n^{сум}$ - общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, m^2 .

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период n_B , $ч^{-1}$ рассчитывается по формуле (Г.4) в [СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»]:

$$n_B = \frac{\frac{L_{вент} \cdot n_{вент}}{168} + \frac{G_{инф} \cdot n_{инф}}{168 \cdot \rho_v^{вент}}}{\beta_V \cdot V_{от}} \quad (1.6)$$

где $L_{вент}$ - количество приточного воздуха в здании при неорганизованном притоке, $m^3/ч$, $L_{вент} = 3 \cdot A_{ж}$ для жилых зданий;

$A_{ж}$ - площадь жилых помещений, к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые, m^2 ;

$n_{вент}$ - число часов работы механической вентиляции в течение недели, ч.

$n_{вент} = 168$ - количество часов в неделе;

$G_{инф}$ - количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, кг/ч: для жилых зданий –воздуха, поступающего в лестничные клетки в течение суток отопительного периода; $G_{инф} = 0,3 \cdot \beta_V \cdot V_{общ}$ для зданий до трех этажей;

$n_{инф}$ - число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, $n_{инф} = 168$

$\rho_e^{вент}$ - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³ по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$\rho_e^{вент} = 353/[273+t_{от}], \quad (1.7)$$

β_V - коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать $\beta_V = 0,85$;

$V_{от}$ - отапливаемый объем здания, м³.

$q_{быт}$, Вт/м² — величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений ($A_{ж}$), принимаемая для:

а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м² общей площади на человека $q_{быт} = 17$ Вт/м² ;

б) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир 45 м² общей площади и более на человека $q_{быт} = 10$ Вт/м² ;

в) других жилых зданий - в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины $q_{быт}$ между 17 и 10 Вт/м² [СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»].

1.6 Удельные характеристики здания

Таблица 6

Удельные характеристики здания

п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Расчетное проектное значение показателя
	Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{об}$, (Вт/м ³ * °С),	
	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}$, (Вт/м ³ * °С),	
	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}$, (Вт/м ³ * °С),	
	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}$, (Вт/м ³ * °С),	

Рассмотрим значения из таблицы 6.

Удельная теплозащитная характеристика здания определяется по формуле (Ж.1) в соответствии СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{об}} \sum_i (n_{t,i} \cdot \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}}) = K_{комп} \cdot K_{общ} \quad (1.8)$$

Удельная вентиляционная характеристика здания определяется по формуле (Г.2) в соответствии СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$k_{вент} = 0,28cn_e \cdot \beta_v \rho_e^{вент} \cdot (1 - k_{эф}), \quad (1.9)$$

где c - удельная теплоемкость воздуха, равная 1кДж/(кг·К);

$\rho_e^{вент}$ - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³ (то же, что указано ранее);

$k_{эф}$ - коэффициент эффективности рекуператора: $k_{эф}$ отличен от нуля в том случае, если: средняя воздухопроницаемость квартир жилых и помещений общественных зданий (при закрытых приточно-вытяжных вентиляционных отверстиях) обеспечивает в период испытаний воздухообмен кратностью $n50 \text{ ч}^{-1}$, при разности давлений 50 Па наружного и внутреннего воздуха при вентиляции с механическим побуждением $n \ 50 \leq 2 \text{ ч}^{-1}$; кратность воздухообмена зданий и помещений при разности давлений 50 Па и их среднюю воздухопроницаемость определяют по ГОСТ 31167-2009. Принимаем равным 0,4.

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается по формуле из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}} \cdot A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}} (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})} \quad (1.10)$$

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации определяется по формуле Г.7:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{зод}}}{V_{\text{от}} \cdot ГСОП} \quad (1.11)$$

где $Q_{\text{рад}}^{\text{зод}}$ - теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год, для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, определяемые по формуле:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{зод}} = \tau_{\text{лок}} \cdot \tau_{\text{2ок}} \cdot (A_{\text{ок1}} I_1 + A_{\text{ок2}} I_2 + A_{\text{ок3}} I_3 + A_{\text{ок4}} I_4) \quad (1.12)$$

где $\tau_{\text{лок}}$ - коэффициент относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений окон, принимается по СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» и равен 0,68;

$\tau_{\text{2ок}}$ - коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения, принимается по СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» и равен 0,8;

$A_{\text{ок}}$ - площадь светопроемов фасадов здания (глухая часть балконных дверей исключается), соответственно ориентированных по четырем направлениям, м²;

I - средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по четырем фасадам здания, МДж/(м² · год), определяется по СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».

1.7 Коэффициенты и комплексные показатели

Таблица 7

Коэффициенты и комплексные показатели

Показатель	Обозначение	Нормативное значение показателя
1. Коэффициент эффективности авторегулирования отопления	ζ	
2. Коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление	ξ	

3. Коэффициент эффективности рекуператора	$K_{эф}$	
4. Коэффициент, учитывающий снижение использования теплоступлений в период повышения их над теплотерями	ν	
5. Коэффициент учета дополнительных теплотер системы отопления	β_h	

Рассмотрим составляющие таблицы 7.

ζ - Коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления, рекомендуемые значения:

$\zeta = 0,7$ - в системе без термостатов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха;

$\zeta = 0,5$ - в системе без термостатов и без авторегулирования на вводе - регулирование центральное в центральном тепловом пункте (ЦТП) или котельной.

ξ - коэффициент, учитывающий снижение теплотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, принимается до получения статистических данных фактического снижения $\xi = 0,1$;

$K_{эф}$ - Коэффициент эффективности рекуператора;

ν - коэффициент снижения теплоступлений в период превышения их над теплотерями расчет тепловой инерции ограждающих конструкций определяется по приложению Г по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$\nu = 0,7 + 0,000025(GCOP - 1000) \quad (1.13)$$

β_h - коэффициент учета дополнительных теплотер системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения для:

- многосекционных и других протяженных зданий $\beta_h = 1,13$;
- зданий башенного типа $\beta_h = 1,11$;
- зданий с отапливаемыми подвалами или чердаками $\beta_h = 1,07$;
- зданий с отапливаемыми подвалами и чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты $\beta_h = 1,05$.

•

Комплексные показатели расходов тепловой энергии

Таблица 8

№ п/п	Показатель	Обозначение	Значение показателя
	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_p^{от}$, Вт/(м ³ · °С)	
	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий	$q_{от}^{тр}$, Вт/(м ³ · °С)	
	Класс энергосбережения		
	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите		

Рассмотрим значения показателей из таблицы 8.

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q , кВт·ч/(м³·год) или, кВт·ч/(м²·год) следует определять по формуле [СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»]:

$$q = 0,024 \cdot ГСОП \cdot q_p^{om} \quad (1.14)$$

где q_p^{om} - расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период [СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»]:

$$q_p^{om} = (k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot \nu \cdot \zeta)(1 - \xi) \cdot \beta_h \quad (1.15)$$

где $k_{об}$ - удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/м³·°С;
 $k_{вент}$ - удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/м³·°С;
 $k_{быт}$ - удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/м³·°С;
 $k_{рад}$ - удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/м³·°С.

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период Q_{om}^{zod} следует определять по формуле [СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»]:

$$Q_{om}^{zod} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot V_{om} \cdot q_p^{om} \quad (1.16)$$

Таблица 9

Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, $q_{от}^{TP}$, Вт/м³·С по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

Тип здания	Этажность здания							
	1	2	3	4, 5	6, 7	8, 9	10, 11	12 и выше
Жилые многоквартирные, гостиницы, общежития	0,455	0,414	0,372	0,359	0,336	0,319	0,301	0,290
Примечание: Для регионов, имеющих значение ГСОП=8000 °С·сут и более, нормируемые $q_{от}^{TP}$ следует снизить на 5%								

Класс энергоэффективности определяется по величине отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемой. Класс энергосбережения определяется по формуле:

$$(q_p^{om} - q_{om}^{mp}) / q_{om}^{mp} \cdot 100\% \quad (1.17)$$

Таблица 10

Классы энергосбережения жилых и общественных зданий, по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
A++	Очень высокий	Ниже -60	Экономическое стимулирование
A+		От -50 до -60 включительно	
A		От -40 до -50 включительно	
B+	Высокий	От -30 до -40 включительно	Экономическое стимулирование

B		От -15 до -30 включительно	
C+	Нормальный	От -5 до -15 включительно	Мероприятия не разрабатываются
C		От +5 до -5 включительно	
C-		От +15 до +5 включительно	
При эксплуатации существующих зданий			
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании, или снос

Пример расчета энергоэффективности жилого здания представлен в приложении 1

Приложение 1. ПРИМЕР РАСЧЕТА энергоэффективности жилого здания.

Таблица 1

Общая информация о здании

Дата заполнения (число, месяц, год)	24 апреля 2019
Адрес здания	г. Воронеж, ул. Орджоникидзе, д. 10/12
Разработчик проекта	Гипрогор, архитектор Заболотная А. Ю.
Назначение здания, серия	Жилой многоквартирный дом, серия 1-204-5 (рис.44, рис.45)
Этажность	3, малоэтажное
Количество квартир	24
Расчетное количество жителей или служащих	70
Размещение в застройке	Отдельностоящее
Конструктивное решение	Не полный каркас

Таблица 2

Расчетные условия

п/п	Наименование расчетных параметров	Обозначение символа	Единицы измерения параметра	Расчетное значение
	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	t_n	°C	-24
	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°C	-2,5
	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут	190

	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С*сут/год	4275
	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_{в}$	°С	20

Пункты 1-3 таблицы принимаются в соответствии с [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП). Значение находится по формуле [Ошибка! Источник ссылки не найден.]:

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от},$$

где $t_{в}$ — расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты.

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от} = (20 - (-2,5)) \cdot 190 = 4275 \text{град} \cdot \text{сут}.$$

Таблица 3

Геометрические показатели здания

п/п	Показатель	Обозначение символа и единицы измерения показателя	Расчетное (проектное) значение показателя
1	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}, \text{м}^2$	2167,00
2	Площадь жилых помещений	$A_{ж}, \text{м}^2$	1690,40
3	Отапливаемый объем	$V_{от}, \text{м}^3$	6600
4	Коэффициент остекленности фасада здания	f	0,075
5	Показатель компактности здания	$K_{комп}$	0,56

6	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в т.ч.:	$A_{\text{н}}^{\text{сум}}, \text{м}^2$	3710,0
	фасадов	$A_{\text{фас}}, \text{м}^2$	2452,5
	окон и балконных дверей	$A_{\text{ок}}, \text{м}^2$	280,26
	входных дверей	$A_{\text{дв}}, \text{м}^2$	8,80
	чердаков	$A_{\text{черд}}, \text{м}^2$	968,23
7	Окон по сторонам света:		
	СВ		32,00
	СЗ		95,00
	ЮВ		112,00
	ЮЗ		32,00

Площадь входных дверей составляет 0,002% от суммарной площади ограждающих конструкций, поэтому данной величиной можно пренебречь в дальнейших расчетах.

Коэффициент остекленности фасада здания:

$$f = \frac{280,26}{3710,0} = 0,075$$

Показатель компактности здания:

$$K_{\text{комп}} = \frac{3710,0}{6600} = 0,56$$

Таблица 4

Теплотехнические показатели

п/п	Показатель	Обозначение и единицы измерения	Нормируемое значение	Расчетное (проектное) значение
1	Приведенное сопротивление теплопередаче	$R_{\text{пр}}^0, \text{м}^2$ $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$		

	наружных ограждений, в т.ч.:			
2	стен	$R_{пр,ст}^0$	2,90	1,356
3	окон и балконных дверей	$R_{пр,ок}^0$	0,47	0,39
4	входных дверей	$R_{пр,дв}^0$		
5	перекрытий (совмещенных)	$R_{пр,пер}^0$	3,82	4,72
6	чердаков	$R_{пр,черд}^0$	3,82	3,81

Нормируемые значения приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций считаются согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», п. 5.3, таблицы 4 в зависимости от градусо-суток района строительства:

$$R_0^{\text{норм}} = a \cdot ГСОП + b ,$$

где $ГСОП$ - градусо-сутки отопительного периода, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$;

a , b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», табл. 3 для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6 для группы зданий в поз. 1, где для интервала до $6000 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$: $a = 0,000075$, $b = 0,15$; для интервала $6000 - 8000 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$: $a = 0,00005$, $b = 0,3$.

Расчетные значения определяются по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_в} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_н}$$

где $\alpha_в$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», таблица 4;

$\alpha_н$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», таблица 6;

R_i - термическое сопротивление слоя части фрагмента, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$, определяемое по формуле:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

где δ_i - толщина слоя, м;

λ_i - теплопроводность материала слоя, Вт/(м·°С).

Нормируемые значения $R_0^{\text{норм}}$ приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций считаются по формуле:

Для наружной стены: $R_0^{\text{норм}} = 4275 \cdot 0,00035 + 1,4 = 2,90 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

Для остекления: $R_0^{\text{норм}} = 4275 \cdot 0,000075 + 0,15 = 0,47 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

Для перекрытия: $R_0^{\text{норм}} = 4275 \cdot 0,00045 + 1,9 = 3,82 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

Для чердаков: $R_0^{\text{норм}} = 4275 \cdot 0,00045 + 1,9 = 3,82 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

Приведенные значения сопротивлений ограждающих конструкций $R_{\text{факт}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$:

1. Наружная стена

1 слой: Штукатурка цементно-песчаная

$\delta_1 = 0,02 \text{ м}$, $\lambda_1 = 0,70 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°С)}$;

2 слой: Кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе

$\delta_2 = 0,64 \text{ м}$, $\lambda_2 = 0,56 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°С)}$;

3 слой: Штукатурка цементно-песчаная

$\delta_3 = 0,02 \text{ м}$, $\lambda_3 = 0,70 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°С)}$

Сопротивление теплопередаче $R_{\text{факт}}$ определяется по формуле:

$R_{\text{факт}} = 1/8,7 + 0,02/0,70 + 0,64/0,56 + 0,02/0,70 + 1/23 = 1,356 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

Как видно из расчёта $R_{\text{факт}} < R_0^{\text{норм}}$ - следовательно, конструкция стены не соответствует требованиям норм.

2. Окна и балконные двери

Для заполнения проемов используются деревянные окна с двойным остеклением $R_{\text{ок}} = 0,38 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт} < R_0^{\text{норм}}$

3. Перекрытие:

1 слой: Штукатурка цементно-песчаная

$$\delta_1 = 0,03 \text{ м}, \lambda_1 = 0,70 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

2 слой: Железобетонные легкие балки

$$\delta_2 = 0,12 \text{ м}, \lambda_2 = 0,35 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

3 слой: Прокаленный песок

$$\delta_3 = 0,02 \text{ м}, \lambda_3 = 1,5 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

4 слой: Воздушная прослойка

$$\delta_4 = 0,10 \text{ м}, \lambda_4 = 0,026 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)} \text{ при } t = 20\text{°C};$$

5 слой: Настил сплошной

$$\delta_5 = 0,04 \text{ м}, \lambda_5 = 0,21 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

6 слой: Паркет штучный

$$\delta_6 = 0,02 \text{ м}, \lambda_6 = 0,23 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Сопротивление теплопередаче $R_{\text{факт}}$ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} R_{\text{факт}} &= 1/8,7 + 0,03/0,70 + 0,10/0,026 + 0,12/0,35 + 0,02/1,5 + 0,04/0,21 + 0,02/0,23 + 1/23 = \\ &= 4,72 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/ Вт} \end{aligned}$$

Как видно из расчёта $R_{\text{факт}} > R_0^{\text{норм}}$ - следовательно, конструкция перекрытия соответствует требованиям норм.

4. Чердачные перекрытия:

1 слой: Штукатурка цементно-песчаная

$$\delta_1 = 0,03 \text{ м}, \lambda_1 = 0,70 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

2 слой: Железобетонные легкие балки

$$\delta_2 = 0,12 \text{ м}, \lambda_2 = 0,35 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

3 слой: Прокаленный песок

$$\delta_3 = 0,02 \text{ м}, \lambda_3 = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

4 слой: Воздушная прослойка

$$\delta_4 = 0,05 \text{ м}, \lambda_4 = 0,026 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}) \text{ при } t = 20\text{°С};$$

5 слой: Фибролитовые панели

$$\delta_5 = 0,07 \text{ м}, \lambda_5 = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

6 слой: Ходовой настил

$$\delta_6 = 0,04 \text{ м}, \lambda_6 = 0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

Сопротивление теплопередаче $R_{\text{факт}}$ определяется по формуле:

$$R_{\text{факт}} = 1/8,7 + 0,03/0,70 + 0,12/0,36 + 0,02/1,5 + 0,05/0,026 + 0,07/0,07 + \\ + 0,04/0,13 + 1/23 = 3,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$$

Как видно из расчёта $R_{\text{факт}} < R_0^{\text{норм}}$ - следовательно, конструкция чердачного перекрытия не соответствует требованиям норм.

Таблица 5

Вспомогательные показатели

п/п	Показатель	Обозначение и единицы измерения	Расчетное проектное значение показателя
1	Общий показатель теплопередачи здания	$K_{\text{общ}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$	0,74
2	Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	$n_v, \text{ч}^{-1}$	1,13
3	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{\text{быт}}, \text{Вт}/\text{м}^2$	15

В соответствии с формулами, рассмотренными в данных методических указаниях найдем общий коэффициент теплопередачи здания и среднюю кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена:

$$K_{\text{общ}} = \frac{1}{3710,0} * 1 * \left(\frac{2452,5}{1,37} + \frac{280,26}{0,39} + \frac{968,23}{3,81} \right) = 0,74$$

$$n_{\text{в}} = \frac{\frac{3 * 1690,40 * 168}{168} + \frac{0,3 * 0,85 * 6600 * 168}{168 * 1,30}}{0,85 * 6600} = 1,13$$

Таблица 6

Удельные характеристики здания

п/п	Показатель	Обозначение и единицы измерения	Расчетное проектное значение показателя
1	Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{\text{об}}$, (Вт/м ³ * °С),	0,42
2	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{\text{вент}}$, (Вт/м ³ * °С),	0,21
3	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{\text{быт}}$, (Вт/м ³ * °С),	0,17
4	Удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{\text{рад}}$, (Вт/м ³ * °С),	0,032

В соответствии с формулами, рассмотренными в данных методических указаниях имеем:

$$k_{\text{об}} = 0,56 * 0,74 = 0,42$$

$$k_{\text{вент}} = 0,28 * 1 * 1,13 * 0,85 * 1,30 (1 - 0,4) = 0,21$$

$$k_{\text{быт}} = \frac{15 * 1690,40}{6600 * (20 - (-2,5))} = 0,17$$

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 * 77502,05}{6600 * 4275} = 0,032$$

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = 0,68 * 0,8 * (32,0 * 141 + 112,0 * 865 + 32,0 * 865 + 95,0 * 141) \\ = 0,68 * 0,8 * (4512 + 96880 + 27680 + 13395) = 77502,05$$

Таблица 7

Коэффициенты и комплексные показатели

п/п	Показатель	Обозначение	Нормативное значение показателя
1	Коэффициент эффективности авторегулирования отопления	ζ	0,7
2	Коэффициент, учитывающий снижение теплотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление	ξ	0,1
3	Коэффициент эффективности рекуператора	$K_{\text{эф}}$	0,4
4	Коэффициент, учитывающий снижение использования теплоступлений в период повышения их над теплотерями	ν	0,78
5	Коэффициент учета дополнительных теплотерь системы отопления	β_h	1,07

ζ - Коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления, рекомендуемые значения:

$\zeta = 0,7$ - в системе без термостатов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха;

$\zeta = 0,5$ - в системе без термостатов и без авторегулирования на вводе - регулирование центральное в центральном тепловом пункте (ЦТП) или котельной.

ξ - коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, принимается до получения статистических данных фактического снижения $\xi = 0,1$;

$K_{эф}$ - Коэффициент эффективности рекуператора;

ν - коэффициент снижения теплопоступлений в период превышения их над теплопотерями за счет тепловой инерции ограждающих конструкций определяется по приложению Г по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$\nu = 0,7 + 0,000025(\text{ГСОП} - 1000)$$

$$\nu = 0,7 + 0,000025(2475 - 1000) = 0,78$$

β_n - коэффициент учета дополнительных теплопотерь системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения для:

- многосекционных и других протяженных зданий $\beta_n = 1,13$;
- зданий башенного типа $\beta_n = 1,11$;
- зданий с отапливаемыми подвалами или чердаками $\beta_n = 1,07$;
- зданий с отапливаемыми подвалами и чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты $\beta_n = 1,05$.

Таблица 8

Комплексные показатели расходов тепловой энергии

п/п	Показатель	Обозначение	Значение показателя
2	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на	$q_p^{от}$, Вт/(м ³ · °С)	0,50

	отопление и вентиляцию здания за отопительный период		
4	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий	$q_{от}^{тр}$, Вт/(м ³ · °С)	0,372
5	Класс энергосбережения	D	
	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите	нет	

$q_p^{от}$ — расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]:

$$q_p^{от} = (k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад})) * v \zeta (1 - \xi) \beta_n$$

$$q_p^{от} = (0,42 + 0,21 - (0,17 + 0,032) * 0,78 * 0,7) (1 - 0,1) * 1,07 = 0,50 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)}$$

Класс энергоэффективности определяется по величине отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемой. Класс энергосбережения определяется по формуле:

$$(q_{от}^{от} - q_{от}^{тр}) / q_{от}^{тр} * 100\%$$

$$(0,50 - 0,372 / 0,372) * 100\% = +34\%$$

Согласно таблице 10, класс энергоэффективности объекта D – пониженный.

В данном случае рекомендуется проведения реконструкции здания при соответствующем экономическом обосновании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;
2. СП 55.13330.2016 «Дома жилые многоквартирные»;
3. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»;
4. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»;
5. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	4
1.1 Общая информация о здании.....	5
1.2 Расчетные условия функционирования здания	6
1.3 Геометрические показатели здания	7
1.4 Теплотехнические показатели	8
1.5 Вспомогательные показатели	10
1.6 Удельные характеристики здания.....	12
1.7 Коэффициенты и комплексные показатели	13
Приложение 1. ПРИМЕР РАСЧЕТА энергоэффективности жилого здания. ...	18
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	29

РАСЧЕТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических и самостоятельных работ по дисциплине

«Энергосбережение в городском хозяйстве»

для студентов направления 08.02.01 «Строительство и эксплуатация
зданий и сооружений»

всех форм обучения

Составители: Севрюкова Кристина Сергеевна

Компьютерный набор К.С. Севрюкова

Подписано к изданию .

Уч.-изд. л. .

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14