



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине **«Энергомоделирование зданий»**

Авторы
Шейна С.Г, Миненко Е.Н., Федяева П.В.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Методические указания содержат основные положения по энергетическому моделированию зданий, правила определения климатических параметров района строительства при проектировании тепловой защиты вновь строящихся и реконструируемых зданий, примеры расчета основных показателей, оценивающих уровень энергетической эффективности строительных объектов.

Направлены на формирование у магистрантов навыков установления классов энергосбережения, оценки и моделирования уровня энергетической эффективности различных типов зданий.

Предназначены для обучающихся всех форм обучения по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», магистерская программа «Информационное моделирование в строительстве и городском хозяйстве».

Авторы

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»
Шейна Светлана Георгиевна

К.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»
Миненко Евгения Николаевна

К.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»
Федяева Полина Валерьевна

Проект реализуется победителем грантового конкурса для преподавателей магистратуры 2021/2022 Стипендиальной программы Владимира Потанина.



Оглавление

Практическое задание № 1	4
Практическое задание № 2	5
Практическое задание № 3	8
Практическое задание № 4	11
Практическое задание № 5	18
Практическое задание № 6	22
Практическое задание № 7	23
Практическое задание № 8	25
Практическое задание № 9	28
Перечень использованных информационных ресурсов	46

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 1**Расчет градусо-суток отопительного периода****Порядок расчета:**

1. Определение основных климатических характеристик района строительства, необходимых для расчета энергетического баланса объекта и проектирования его тепловой защиты.
2. Расчет отклонения температур внутреннего и наружного воздуха на протяжении всего отопительного периода.

Теоретический материал

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) указывают на дельту температур между помещением и улицей на протяжении всего сезона.

Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год, определяют по формуле 5.2 СП 50.13330.2012:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \times z_{\text{от}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С;

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

$z_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, сут/год.

Расчетная температура внутреннего воздуха здания ($t_{\text{в}}$) принимается при расчете ограждающих конструкций различных групп зданий, указанных в табл. 3 СП 50.13330.2012:

– для жилых зданий, гостиниц, дошкольных и общеобразовательных учреждений, общежитий, лечебно-профилактических учреждений равной минимальным значениям оптимальной температуры, указанной в ГОСТ 30494 (т.е. в интервале 20-22 °С) [1];

– для административных зданий (офисов) и общественных зданий, не относящихся к указанным выше, – согласно классификации помещений и минимальным значениям оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале 16-21 °С);

– для промышленных зданий – по нормам проектирования соответствующих зданий.

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период ($t_{\text{от}}$) принимается по табл. 3.1 «Климатические параметры холодного периода года» СП 131.13330 при проектировании:

– лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более не более 10 °С (столбец 14 табл. 3.1);

– жилых зданий и других общественных зданий, не относящихся к указанным выше, для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С (столбец 12 табл. 3.1) [2].

Продолжительность отопительного периода $z_{\text{от}}$ также принимается по табл. 3.1 «Климатические параметры холодного периода года» СП 131.13330 при проектировании:

- лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 10 °С (столбец 13 табл. 3.1);
- жилых зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С (столбец 11 табл. 3.1).

Пример решения практического задания № 1

Условие: выполнить расчет градусо-суток отопительного периода для города Ростова-на-Дону; тип здания – жилое.

Решение:

1. По табл. 3.1 СП 131.13330 находим расчетные характеристики наружного воздуха и продолжительности отопительного периода для г. Ростова-на-Дону Ростовской области.

Таблица 1

Расчетные условия для г. Ростова-на-Дону [3]

Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	0,0
Продолжительность отопительного периода	$Z_{от}$	Сут/год	167
Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_{в}$	°С	21

2. По формуле 5.2 СП 50.13330 определяем значение градусо-суток отопительного периода:

$$ГСОП = (t_{в} - t_{от}) \times Z_{от} = (21 - 0) \times 167 = 3507 \text{ } ^\circ\text{С} \cdot \text{сут/год.}$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 2

Определение нормируемого значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий

Порядок расчета:

1. Определение наружных климатических параметров по СП 131.13330 «Строительная климатология»;
2. Расчет величины градусо-суток отопительного периода;
3. Установление нормируемых значений сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций (наружных стен, покрытий, чердачных и цокольных перекрытий, окон и фонарей, наружных дверей и ворот) по табл. 3 СП 50.13330.

Теоретический материал

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, R , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С} / \text{Вт}$ – это теплотехнический коэффициент, характеризующий уровень теплоизоляционных свойств конструкций.

Чем больше сопротивление теплопередаче конструкции, тем выше ее теплоизоляционные свойства, т.е. тем меньший тепловой поток проходит через эту конструкцию и меньше потери тепла через нее.

Согласно формуле 5.1 СП 50.13330 нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций равно:

$$R_o^{\text{норм}} = R_o^{\text{ТР}} \times m_p, \quad (2)$$

где $R_o^{\text{ТР}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства [2].

Допускается снижение значения коэффициента m_p в случае, если при расчете удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике приложения Г СП 50.13330, выполняются требования п.10.1 данного СП. При этом значения коэффициента m_p должны быть не менее:

0,63 – для стен;

0,95 – для светопрозрачных конструкций;

0,8 – для остальных ограждающих конструкций [2].

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_o^{\text{ТР}}$, определяется по табл. 3 СП 50.13330 в зависимости от градусо-суток отопительного периода, вида здания и региона строительства.

Таблица 2

Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций жилых зданий (фрагмент табл. 3 СП 50.13330)

Здания и помещения, коэффициенты a и b	Градусо-сутки отопительного периода, $\text{°C} \cdot \text{сут} / \text{год}$	Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$, ограждающих конструкций				
		стен	покрытий и перекрытий над проездами	перекрытий чердачных над неотапливаемыми подпольями и подвалами	окон и балконных дверей, витрин и витражей	фонарей
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a	-	0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
b	-	1,4	2,2	1,9	-	0,25

Если значение градусо-суток отличается от табличных, указанных в столбце 2 табл. 3 СП 50.13330, то базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания следует определять по формуле (3):

$$R_o^{\text{ТР}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (3)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, $\text{°C} \cdot \text{сут} / \text{год}$;

a и b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным

табл. 3 СП 50.13330 для соответствующих групп зданий для граф 3, 4, 5 и 7 (т.е. для стен, покрытий, перекрытий и фонарей).

Для графы 6 (окон и балконных дверей, витражей, витрин), значения коэффициентов a и b равны:

- для интервала до 6000 °С·сут/год: $a=0,000075$ и $b=0,15$;
- для интервала 6000-8000 °С·сут/год: $a=0,00005$ и $b=0,3$;
- для интервала 8000 °С·сут/год и более: $a=0,000025$ и $b=0,5$ [2].

Т.е. для стен жилого здания базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции равно:

$$R_{o,тр\ стен} = 0,00035 \cdot ГСОП + 1,4;$$

для перекрытий чердачных:

$$R_{o,тр\ пер.черд} = 0,00045 \cdot ГСОП + 1,9;$$

для покрытий жилого здания:

$$R_{o,тр\ покр} = 0,0005 \cdot ГСОП + 2,2.$$

Для входных дверей и ворот жилого здания нормируемое значение сопротивления теплопередаче определяется по формуле (4):

$$R_o^{норм} \geq 0,6 \cdot (t_B - t_H) / (\Delta t^H \cdot \alpha_B), \quad (4)$$

где t_B – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С;

t_H – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330;

Δt^H – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С, принимаемый по табл. 5 СП 50.13330;

α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), принимаемый по табл. 4 СП 50.13330 [2].

Пример решения практического задания № 2

Условие: Определить нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций: стен, оконных блоков и входных дверей жилого здания, расположенного в г. Краснодаре.

Решение:

1. Определим градусо-сутки отопительного периода.

Таблица 3

Расчетные условия для г. Краснодара [3]

Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	2,7
Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	Сут/год	146
Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	t_B	°С	20

$$ГСОП = (t_B - t_{от}) \times z_{от} = (20 - 2,7) \times 146 = 2525,8 \text{ °С} \cdot \text{сут/год}$$

2. Определим базовое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Так как полученная величина ГСОП, равная 2525,5 °С·сут/год, отличается от

табличных значений, то базовое значение сопротивления теплопередаче определяем по формуле (3), представленной выше.

Для стен базовое значение сопротивления теплопередаче равно:

$$R_{0\text{TP стeн}} = 0,00035 \cdot 2525,8 + 1,4 = 2,284 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

для оконных блоков:

$$R_{0\text{TP ок.}} = 0,000075 \times 2528,8 + 0,15 = 0,340 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Для входных дверей жилого здания нормируемое значение сопротивления теплопередаче в соответствии с формулой (4) должно быть:

$$R_{0\text{TP}} \geq 0,6 \times (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / (\Delta t^{\text{н}} \times \alpha_{\text{в}}),$$

$$R_{0\text{TP вх.дв}} \geq 0,6 \times (21 - (-16)) / (4 \times 8,7) \geq 0,638 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Примечание: $\Delta t^{\text{н}}$ для стен жилого здания принимаем равным 4 °C (по табл. 5 СП 50.13330).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 3

**Выполнить расчет сопротивления теплопередаче
теплотехнически однородной ограждающей конструкции
и определить необходимую толщину теплоизоляционного слоя,
обеспечивающую выполнение теплотехнических
и санитарно-гигиенических требований СП 50.13330**

Порядок расчета:

1. Определение наружных климатических параметров по СП 131.13330 «Строительная климатология».
2. Расчет величины градусо-суток отопительного периода.
3. Установление нормируемых значений сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций ($R_{0\text{норм}}$).
4. Определение условий эксплуатации ограждающих конструкций, необходимых для выбора теплотехнических показателей материалов.
5. Определение термических сопротивлений отдельных слоев конструкции.
6. Определение требуемой толщины слоя теплоизоляции из условия: $R_0 \geq R_{0\text{норм}}$.

Теоретический материал

Условия эксплуатации ограждающих конструкций (А или Б), необходимые для выбора теплотехнических показателей материалов наружных ограждений, следует устанавливать по табл. 2 СП 50.13330 в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района строительства.

Влажностный режим помещений зданий в холодный период года следует устанавливать по табл. 1 СП 50.13330 в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха.

Зоны влажности территории России следует принимать по приложению В свода правил СП 50.13330 или при помощи онлайн-карты <http://map.teploov.ru/>.

Общее сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной конструкции, R_0 , определяется как сумма термических сопротивлений ее отдельных слоев ($R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$) и сопротивлений теплопередаче пристеночных слоев воздуха у внутренней и наружной поверхностей конструкции $R_{\text{в}}$ и $R_{\text{н}}$ (формула Е.6 и Е.7 СП 50.13330.2012):

$$R = (R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_B + R_n) = \frac{\delta_{1\text{слоя}}}{\lambda_{1\text{слоя}}} + \frac{\delta_{2\text{слоя}}}{\lambda_{2\text{слоя}}} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (5)$$

где δ_n – толщина n -ого слоя в м;

λ_n – коэффициент теплопроводности материала n -ого слоя, Вт/м·°С, принимается по результатам испытаний в аккредитованной лаборатории, а при отсутствии таких данных оценивается по приложению Т СП 50.13330.

α_B и α_n – коэффициенты теплопередаче, соответственно, внутреннего и наружного пристеночных слоев воздуха, Вт/ м²·°С (принимаются по табл. 4 и 6 СП 50.13330).

Чтобы повысить термическое сопротивление теплопередаче слоя, можно увеличить толщину конструкции или уменьшить коэффициент теплопроводности материала, из которого эта конструкция состоит.

Определение требуемой толщины слоя теплоизоляционного материала производят на основе преобразования формулы (5) в формулу (6):

$$R_o = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_B} \geq R_o^{\text{тp}},$$

$$\delta_n \geq (R_o^{\text{тp}} - (\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_B})) \times \lambda_n. \quad (6)$$

Теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

- приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);
- температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Пример решения практического задания № 3

Условие: Определить требуемую толщину теплоизоляции (экструдированного пенополистирола) в конструкции стены жилого здания, обеспечивающую достижение поэлементного требования тепловой защиты. Влажностный режим помещений здания в холодный период года – нормальный. Место расположение объекта – г. Москва.

Состав конструктивных слоев стены:

- гипсовая штукатурка – 10 мм;
- кладка из керамзитобетонных блоков ($\rho=1200$ кг/м³) – 200 мм;
- экструдированный пенополистирол ($\rho=40$ кг/м³);
- кладка на перлитовом растворе камня керамического пустотелого ($\rho=800$ кг/м³) – 80 мм.

Решение:

1. Определим наружные климатические параметры территории строительства по СП 131.13330 «Строительная климатология» (табл. 3.1) и выполним расчет ГСОП.

Таблица 4

Расчетные условия для г. Москвы [3]

Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	-2,2

Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	Сут/год	202
Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_{в}$	°С	21
Расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92	$t_{н}$	°С	-26

$$ГСОП = (t_{в} - t_{от}) \times z_{от} = (21 - (-2,2)) \times 202 = 4686,4 \text{ } ^\circ\text{С} \cdot \text{сут/год}$$

2. Определим базовое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Так как полученное значение ГСОП = 4686,4 °С·сут/год отличается от табличных значений, представленных в табл. 3 СП 50.13330, то базовое значение сопротивления теплопередаче определяем по формуле (3).

Для стен базовое значение сопротивления теплопередаче равно:

$$R_{0,тр \text{ стен}} = 0,00035 \cdot 4686,4 + 1,4 = 3,04 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт.}$$

Значение коэффициента m_p принимаем равным 1, поэтому $R_{0,тр \text{ стен}} = R_{0,норм \text{ стен}}$.

3. Определим условия эксплуатации ограждающих конструкций здания.

По табл. 2 СП 50.13330 условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б, так как влажностный режим помещений здания соответствует «нормальному» и территория города Москвы находится во 2-ой зоне влажности «нормальная» (см. карту зон влажности РФ) [4].

4. Определим термические сопротивления отдельных слоев конструкции наружной стены здания.

Таблица 5

Теплотехнические характеристики конструкции стены

№ слоя	Материал	Толщина слоя, δ , м	λ , Вт/(м·С)	$R_{\text{слой}}$, м ² ·°С/Вт
0	Теплоотдача наружной поверхности ограждающей конструкции – α_n	1	23	0,043
1	Кладка на перлитовом растворе камня керамического пустотелого ($\rho=800 \text{ кг/м}^3$)	0,08	0,24	0,333
2	Экструдированный пенополистирол ($\rho=40 \text{ кг/м}^3$)	?	0,033	?
3	Кладка из керамзитобетонных блоков ($\rho=1200 \text{ кг/м}^3$)	0,20	0,48	0,417
4	Гипсовая штукатурка	0,01	0,31	0,032

№ слоя	Материал	Толщина слоя, δ , м	λ , Вт/(м·С)	$R_{\text{слоя}}$, м ² ·°С/Вт
5	Теплоотдача внутренней поверхности ограждающей конструкции – $\alpha_{\text{в}}$	1	8,7	0,115
Σ				0,940

5. По формуле (6) выполним расчет требуемой толщины теплоизоляции по условиям тепловой защиты здания, исходя из условия, что рассматриваемая конструкция является теплотехнически однородной и не содержит теплопроводных включений [5]:

$$\delta_n \geq (R_o^{\text{тп}} - (\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}})) \times \lambda_n;$$

$$\delta \geq (3,04 - 0,940) \times 0,033 \geq 0,0693 \text{ м.}$$

Фактическую толщину утеплителя из конструктивных соображений принимаем (округляем полученный результат до целых см в большую сторону) равной 0,070 м.

Вывод: для обеспечения требуемого уровня тепловой защиты здания, в соответствии с поэлементными требованиями СП 50.13330, необходимо устройство в конструкции наружной стены слоя теплоизоляции – экструдированного пенополистирола теплопроводностью 0,033 Вт/(м·°С) и толщиной не менее 70 мм.

Для проверки полученного результата находим приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены по формуле (5):

$$R_o = 0,070 / 0,033 + 0,940 = 3,0613 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$$

Далее определим расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой поверхности ограждающей конструкции:

$$\Delta t_o = n \times (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / (R_o \times \alpha_{\text{в}}), \quad (7)$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху.

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой поверхности рассматриваемой ограждающей конструкции равен:

$$\Delta t_o = 1 \times (21 - (-26)) / (3,0613 \times 8,7) = 1,78 \text{ °С.}$$

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции стены жилого здания равен $\Delta t_{\text{н}} = 4 \text{ °С}$ [2, табл. 5].

Проверяем выполнение условия: $\Delta t_o < = \Delta t_{\text{н}}$

$\Delta t_o = 1,78 \text{ °С} < \Delta t_{\text{н}} = 4 \text{ °С}$, следовательно принятая конструкция стены удовлетворяет санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по температурному перепаду.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 4

Выполнить расчет сопротивления теплопередаче теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции и проверить выполнение теплотехнических и санитарно-гигиенических требований СП 50.13330

Порядок расчета:

1. Определение типов элементов (точечный/ линейный/ плоский), составляющих ограждающую конструкцию.
2. Расчет геометрических характеристик проекций элементов, составляющих ограждающую конструкцию (кол-ва точечных элементов, площади плоских элементов и длин линейных элементов).
3. Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами.
4. Расчет приведенного сопротивления теплопередачи стены.
5. Определение коэффициента теплотехнической неоднородности стены.

Теоретический материал

Для теплотехнически неоднородных конструкций расчет сопротивления теплопередаче основан на представлении фрагмента теплозащитной оболочки здания в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент.

В качестве теплозащитных элементов используют отдельные участки конструкции, детали (например, анкеры, кронштейны, прорезающие утеплитель или стеновой материал), стыки между различными конструкциями. Элементы бывают:

- линейные (l_i);
- точечные (n_i);
- плоские (a_i).

Например, кирпичная кладка, утепленная слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки – это плоский элемент;

- оконный откос, образованный кирпичной кладкой, утепленной слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки – линейный элемент;
- дюбель со стальным сердечником, прикрепляющий слой минераловатной плиты к кирпичной кладке – точечный элемент.

Одна и та же конструкция может быть разбита на элементы различными способами.

При разбивке конструкции на элементы необходимо соблюдать следующие правила:

- совокупность выделенных элементов должна быть достаточной для составления рассматриваемой конструкции, т.е. содержать все узлы конструкции;
- при составлении конструкции элементы не пересекаются;
- элементы влияют на тепловые потери через конструкцию [5].

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплотехнически неоднородной теплозащитной оболочки здания, R_o^{np} , $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$, следует определять по формуле (8):

$$R_o^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{ysl}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (8)$$

где l_j , n_k – геометрические характеристики элементов, определяемые для конкретного проекта;

Ψ_j , χ_k – удельные потери теплоты через элементы, описание и правила нахождения приведены в разделе 6 СП 230.1325800.2015;

R_o^{ysl} – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей

конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;

U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -й части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент i -го вида), $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

a_i – площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 / \text{м}^2$.

Удельные потери теплоты через плоский элемент, U_i , определяются по формуле (9):

$$U_i = \frac{1}{R_{0,i}^{\text{усп}}} . \quad (9)$$

Площадь плоского элемента a_i конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, рассчитывается по формуле (10):

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i} , \quad (10)$$

где A_i – площадь i -й части фрагмента, м^2 ;

$\sum A_i$ – общая площадь фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, м^2 .

Осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче плоского элемента теплозащитной оболочки здания определяют по формуле (11):

$$R_0^{\text{усп}} = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{R_{0,i}^{\text{усп}}}} = \frac{1}{\sum (a_i U_i)} , \quad (11)$$

где $R_{0,i}^{\text{усп}}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания i -го вида, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, которое определяют экспериментально или расчетом по формуле (12):

$$R_{0,i}^{\text{усп}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} , \quad (12)$$

где R_s – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяемое для неветилируемых воздушных прослоек по справочной табл. Е.1 (Приложение Е СП 50.13330), для материальных слоев – по формуле (13):

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} . \quad (13)$$

Расчет удельных потерь теплоты через элементы ограждающей конструкции должен содержать:

- схему / чертеж, позволяющие установить состав и устройство узла, содержащего элемент;
- температурное поле узла;
- принятые в расчете температурного поля температуры наружного и внутреннего воздуха, а также геометрические размеры узла, включенного в расчетную область;
- минимальную температуру внутренней поверхности конструкции и поток теплоты через узел, полученные в результате расчетов;
- удельные потери теплоты через элемент, посчитанные по формулам (9), (14) и (18).

Удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида,

Ψ_j , определяются по формуле (14):

$$\Psi_j = \Delta Q_j^L / (t_B - t_H), \quad (14)$$

где ΔQ_j^L – дополнительные теплотери через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, приходящиеся на один погонный метр, Вт/м, определяемые по формуле (15):

$$\Delta Q_j^L = Q_j^L - Q_{j,1} - Q_{j,2}, \quad (15)$$

где Q_j^L – потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, приходящиеся на 1 погонный метр стыка, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт/м;

$Q_{j,1}$ и $Q_{j,2}$ – потери теплоты через участки однородных частей фрагмента, вошедшие в расчетную область при расчете температурного поля линейной неоднородности j -го вида, Вт/м, определяемые по формулам (16) и (17):

$$Q_{j,1} = (t_B - t_H) \cdot S_{j,1} / R_{o,j,1}^{ycl}, \quad (16)$$

$$Q_{j,2} = (t_B - t_H) \cdot S_{j,2} / R_{o,j,2}^{ycl}, \quad (17)$$

где $R_{o,j,1}^{ycl}$ и $R_{o,j,2}^{ycl}$ – сопротивление теплопередаче однородных частей фрагмента, вошедших в расчетную область при расчете температурного поля, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;

$S_{j,1}$ и $S_{j,2}$ – площади однородных частей фрагмента, вошедшие в расчетную область при расчете температурного поля, м^2 .

Удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, χ_k , определяются по результатам расчета трехмерного температурного поля участка конструкции, содержащего точечную теплотехническую неоднородность, по формуле (18):

$$\chi_k = \Delta Q_k^K / (t_B - t_H), \quad (18)$$

где ΔQ_k^K – дополнительные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, Вт, определяемые по формуле (19):

$$\Delta Q_k^K = Q_k - \bar{O}_k, \quad (19)$$

где Q_k – потери теплоты через узел, содержащий точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт;

\bar{O}_k – потери теплоты через тот же узел, не содержащий точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, являющиеся результатом расчета теплопереноса через плоское (однородное) ограждение, Вт.

Удельный поток теплоты, обусловленный всеми точечными элементами фрагмента ограждения, определяется по формуле (20):

$$\sum n_k \cdot \chi_k, \quad (20)$$

где n_k – удельный геометрический показатель k -го точечного элемента, $1/\text{м}^2$.

Пример решения практического задания № 4

Условие: выполнить расчет сопротивления теплопередаче теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции – стены здания, участки которой выполнены из различных материалов (табл. 6 и 7). Месторасположение объекта – г. Ростов-на-Дону. Высота этажа – 3 300 мм. Площадь поверхности фасада стены – 2150 м^2 . Площадь 1-ого участка стены – 1650 м^2 , площадь 2-ого участка стены – 500 м^2 . Количество дюбелей на рассматриваемом фрагменте кирпичной кладке – 12 900 шт.

Таблица 6

Теплотехнические характеристики конструкции 1-ой части стены

Материал слоя	Толщина слоя, δ , м	λ , Вт/ (м·С)
Внутренняя штукатурка	0,02	0,93
Кладка из полнотелого кирпича	0,250	0,81
Минераловатные плиты	0,150	0,045
Наружная штукатурка	0,006	0,93

Таблица 7

Теплотехнические характеристики конструкции 2-ой части стены

Материал слоя	Толщина слоя, δ , м	λ , Вт/ (м·С)
Внутренняя штукатурка	0,02	0,93
Кладка из пустотного кирпича	0,380	0,57
Наружная штукатурка	0,02	0,93

Решение:

Рассматриваемая конструкция состоит из следующих элементов:

- кирпичная кладка из полнотелого кирпича, утепленная каменной ватой, и закрытая слоем штукатурки – плоский элемент 1;
- кладка из пустотного кирпича, закрытая слоем штукатурки – плоский элемент 2;
- дюбель, прикрепляющий слой утеплителя к кирпичной кладке – точечный элемент 1.

Таким образом, в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции можно выделить 2 плоских и 1 точечный элементы.

Площадь поверхности фасада для расчета $R_{o,пр}$ составляет 2150 м². Площадь 1-ого рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции (плоского элемента) равна 1650 м². Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции равна:

$$a_1 = 1650/2150 = 0,768 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

Площадь 2-ого плоского элемента – 500 м². Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции равна:

$$a_2 = 500/2150 = 0,232 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

Общее количество дюбелей в кирпичной кладке – 12900 шт, следовательно, количество таких дюбелей, приходящихся на 1 м² фрагмента, равно:

$$n_1 = 12900/2150 = 6 \text{ м}^{-2}.$$

Значения геометрических показателей для всех элементов здания сведены в табл. 8.

Таблица 8

Значения геометрических показателей элементов фасада здания*

Наименование элемента	Геометрический показатель	Площадь фрагмента конструкции	Удельный геометрический показатель
Плоский элемент 1	1650 м ²	2150 м ²	0,768 м ² /м ²
Плоский элемент 2	500 м ²		0,232 м ² /м ²
Точечный элемент 1	12 900 шт.		6 шт/м ²

Примечание: *в рассматриваемом примере геометрические показатели были заданы по условиям задачи, однако на практике они рассчитываются по чертежам, прилагаемым к заданию на теплотехнический расчет.

Выполним расчет удельных потерь теплоты через отдельные элементы фасада.

Для плоских элементов 1 и 2 удельные потери теплоты определяются по формулам (8) и (9).

Условные потери теплоты для плоского элемента 1 равны:

$$R_{0,1}^{ysl} = 1/8,7 + 0,02/0,93 + 0,25/0,81 + 0,15/0,045 + 1/23 + 0,006/0,93 = 0,115 + 0,0215 + 0,4385 + 3,3334 + 0,0007 + 0,0435 = 3,8228 = 3,82 \text{ (м}^2 \times \text{°C)/Вт.}$$

Следовательно, удельные потери теплоты через 1-ый плоский элемент равны:

$$U_1 = 1/R_{0,1}^{ysl} = 0,262 \text{ Вт/(м}^2 \times \text{°C).}$$

Для плоского элемента 2 удельные потери теплоты равны:

$$R_{0,2}^{ysl} = 1/8,7 + 0,02/0,93 + 0,38/0,57 + 0,02/0,93 + 1/23 = 0,115 + 0,0215 + 0,6667 + 0,0215 + 0,0435 = 0,8682 = 0,87 \text{ (м}^2 \times \text{°C)/Вт.}$$

Следовательно, удельные потери теплоты через 2-ой плоский элемент равны:

$$U_2 = 1/R_{0,2}^{ysl} = 1,152 \text{ Вт/(м}^2 \times \text{°C).}$$

Удельные потери теплоты через точечные элементы определены на основе расчета трехмерного температурного поля участка конструкции по 2-м вариантам:

– вариант 1 – потери теплоты через узел, содержащий точечную теплотехническую неоднородность ($Q_1 = 1,82 \text{ Вт}$);

– вариант 2 – потери теплоты через тот же узел, не содержащий точечную теплотехническую неоднородность ($\bar{Q}_1 = 1,68 \text{ Вт}$).

Правила и примеры расчета трехмерного температурного поля участков конструкции рассматриваются в рамках предшествующей дисциплины «Энергоресурсосбережение в BIM».

Зная удельные потери теплоты через узел, включающий точечный элемент, можем определить по формуле (19) дополнительные потери теплоты:

$$\Delta Q^{K_1} = 1,82 - 1,68 = 0,14 \text{ Вт.}$$

Следовательно, удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность по формуле (18) равны:

$$\chi_1 = \Delta Q^{K_1} / (t_b - t_n) = 0,14 / (20 - (-18)) = 0,0037 \text{ Вт/°C.}$$

Расчеты удельных характеристик всех элементов ограждающей конструкции сведены в табл. 9.

Таблица 9

Значения геометрических показателей элементов фасада здания

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельные поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_1=0,768 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_1=1/R_{0,1 \text{ усл}}=0,262 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{°C})$	$U_1 \cdot a_1=0,2013 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$	41,0
Плоский элемент 2	$a_2=0,232 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_2=1/R_{0,2 \text{ усл}}=1,152 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{°C})$	$U_2 \cdot a_2=0,2673 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$	54,5
Точечный элемент 1	$n_1=6 \text{ м}^{-2}$	$\chi_1=0,0037 \text{ Вт}/\text{°C}$	$\chi_1 \cdot n_1=0,0222 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$	4,5
Итого			$1/R^{\text{пр}}=0,4908$	100

Таким образом, приведенное сопротивление теплопередачи фрагмента теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции стены по формуле (8) равно:

$$R^{\text{пр}_0}=1/(0,2013+0,2673+0,0222)=1/0,4908=2,04 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической неоднородности конструкции равен [5]:

$$r=(0,2013+0,2673)/0,4908=0,96.$$

Определим базовое значение сопротивления теплопередаче.

Так как значение ГСОП для г. Ростова-на-Дону, равное $3507 \text{ °C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ ($(21-0) \times 167$) отличается от табличных значений, то базовое значение сопротивления теплопередаче определяем по формуле (3).

Для стен базовое значение сопротивления теплопередаче равно:

$$R_0^{\text{тр стэн}}=0,00035 \cdot 3507+1,4=2,63 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

По формуле (2) определим нормируемое значение сопротивления теплопередаче стены, при этом значение коэффициента m_p примем равным 0,77.

$$R_0^{\text{норм}}=R_0^{\text{тр}} \cdot m_p=2,63 \times 0,77=2,03 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

$R^{\text{пр}_0}=2,04 > R_0^{\text{норм}}=2,03$, следовательно поэлементное требование к тепловой защите здания выполняется.

Далее, по формуле (7), определим расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой поверхности ограждающей конструкции:

$$\Delta t_o=1 \times (21 - (-18)) / (2,04 \times 8,7) = 2,2 \text{ °C}.$$

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции стены жилого здания равен $\Delta t_n=4 \text{ °C}$ [2, табл. 5].

Проверяем выполнение условие: $\Delta t_o \leq \Delta t_n$

$\Delta t_o=2,2 \text{ °C} < \Delta t_n=4 \text{ °C}$, следовательно принятая конструкция стены удовлетворяет санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по температурному перепаду.

Вывод: $R^{\text{пр}_0}=2,04 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, рассматриваемая конструкция стены соответствует теплотехническим и санитарно-гигиеническим требованиям.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 5

Определить класс энергосбережения здания при известном расчетном значении расхода энергии на отопление и вентиляцию

Порядок расчета:

1. Определение нормируемой удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию по табл. 13 или 14 СП 50.133330 в зависимости от типа здания, его этажности, площади.
2. Перевод найденной величины удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию к действующему значению с учетом приказа Минстроя № 1550/пр.
3. Определение величины отклонения расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию от нормируемого, в %.
4. Установление класса энергосбережения здания по табл. 15 СП 50.13330 в зависимости от диапазона отклонения величины расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию от нормируемого значения.

Теоретическая часть

К показателям, характеризующим выполнение требований энергетической эффективности зданий в РФ, относят:

- удельный годовой расход энергетических ресурсов на отопление и вентиляцию для всех типов зданий, строений, сооружений;
- удельный годовой расход энергии на отопление и вентиляцию, на горячее водоснабжение и электроснабжение для общедомовых нужд многоквартирных домов;
- класс энергосбережения здания;
- класс энергетической эффективности зданий [7].

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период – это количество тепловой энергии, необходимое для компенсации тепловых потерь здания за отопительный период с учетом воздухообмена и дополнительных тепловыделений при нормируемых параметрах теплового и воздушного режимов помещений в нем, отнесенное к единице площади или к единице отапливаемого объема [2].

Показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого или общественного здания на стадии разработки проектной документации является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания численно равная расходу тепловой энергии на 1 м³ отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в 1 °С.

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания определяется по методике приложения Г свода правил СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» с учетом:

- климатических условий района строительства;
- выбранных объемно-планировочных решений;

- ориентации здания по сторонам света;
- теплозащитных свойств ограждающих конструкций;
- принятой системы вентиляции здания и применения энергосберегающих технологий.

Расчетная величина удельного расхода тепловой энергии на отопление здания может быть снижена за счет:

- изменения объемно-планировочных решений, обеспечивающих наименьшую площадь наружных ограждений;
- уменьшения числа наружных углов, увеличения ширины зданий, а также использования ориентации и рациональной компоновки многосекционных зданий;
- снижения площади световых проемов до минимально необходимой исходя из требований естественной освещенности;
- блокирования зданий с обеспечением надежного примыкания соседних зданий;
- устройства тамбурных помещений за входными дверями;
- использования эффективных теплоизоляционных материалов и рационального расположения их в ограждающих конструкциях для обеспечения более высокой теплотехнической однородности и эксплуатационной надежности наружных ограждений;
- повышения степени уплотнения стыков и притворов открывающихся элементов наружных ограждений;
- повышения эффективности авторегулирования систем обеспечения микроклимата, применения эффективных видов отопительных приборов и более рационального их расположения;
- выбора более эффективных систем теплоснабжения;
- утилизации теплоты удаляемого внутреннего воздуха и поступающей в помещение солнечной радиации и др.

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть равно или меньше нормируемого значения.

Нормируемое значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий определяется по справочным таблицам СП 50.13330 «Тепловая защита зданий»:

- для малоэтажных жилых многоквартирных зданий по табл. 13;
- для жилых многоквартирных, гостиниц, общежитий, поликлиник и лечебных учреждений, домов-интернатов, дошкольных учреждений, хосписов, зданий сервисного обслуживания, культурно-досуговой деятельности, технопарков, зданий административного назначения (офисов) по табл. 14.

Для вновь создаваемых зданий значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, найденные по табл. 13 и 14 СП 50.13330, следует уменьшить на:

- 20 % с 1 июля 2018 г.;
- 40 % с 1 января 2023 г.;
- 50 % с 1 января 2028 г.

в соответствии с требованиями пункта 7 Приказа Минстроя № 1550/пр от 17 ноября

2017 г. «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» [6].

Класс энергосбережения – характеристика уровня энергетической эффективности здания, представленная интервалом значений отклонения удельного годового потребления энергии на отопление и вентиляцию, в % от базового нормируемого значения [9].

Обозначение класса энергосбережения осуществляется латинскими буквами по шкале от А++ до Е по величине отклонения показателя удельного годового расхода энергетических ресурсов от нормируемого согласно табл. 10.

Таблица 10

Классы энергосбережения жилых и общественных зданий в России в соответствии с СП 50.13330.2012 [2]

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

Класс энергосбережения устанавливается по величине отклонения проектного или расчетного значения удельного годового расхода энергетических ресурсов от нормируемого значения. В качестве критерия оценки выступает соотношение вида:

$$(q^{\text{расч}} - q^{\text{норм}}) \times 100 / q^{\text{норм}}, \quad (21)$$

где $q^{\text{расч}}$ – это проектное (расчетное) значение расхода энергетических ресурсов зданием;

$q^{\text{норм}}$ – требуемое, нормируемое (базовое) значение расхода энергетических ресурсов зданием.

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период и класс энергосбережения зданий на этапе их проектирова-

ния рассчитываются в соответствии с методикой, изложенной в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

Проектирование зданий с классом энергосбережения «D» и «E» не допускается. Классы «A, B, C» устанавливаются для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации. Впоследствии, при эксплуатации класс энергосбережения здания должен быть уточнен в ходе энергетического обследования.

Присвоение зданию класса «B» и «A» производится только при условии включения в проект обязательных энергосберегающих мероприятий, указанных в п. 10.5 СП 50.13330.

Пример решения практического задания № 5

Условие: Определить класс энергосбережения 2-этажного здания детского сада, расположенного в г. Ростов-на-Дону, если проектное значение расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию здания составляет $q_{\text{расч}} = 0,316 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

Решение:

1. Так как рассматриваемый объект относится к общественным зданиям, то его базовую удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию будем определять по табл. 14 СП 50.13330:

Таблица 11

Фрагмент справочной табл. 14 СП 50.13330

Тип здания	Этажность здания							
	1	2	3	4,5	6,7	8,9	10,11	12 и выше
1 Жилые многоквартирные гостиницы, общежития	0,455	0,414	0,372	0,359	0,336	0,319	0,301	0,290
2 Общественные, кроме перечисленных в строках 3-6	0,487	0,440	0,417	0,371	0,359	0,342	0,324	0,311
3 Поликлиники, лечебные учреждения, дома-интернаты	0,394	0,382	0,371	0,359	0,348	0,336	0,324	0,311
4 Дошкольные учреждения, хосписы	0,521	0,521	0,521					

Из табл. 14 СП 50.13330 находим, что до 01.07.2018 г. значение нормируемой (базовой) удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию детского сада было равно $q_{\text{от}^{\text{TP}}}=0,521 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

Найденное значение нормируемой (базовой) удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания уменьшаем на 20 % в соответствии с требованиями п.7 Приказа Минстроя № 1550/пр от 17 ноября 2017 г. Следовательно, нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания на период с 01.07.2018 г. по 01.01.2023 г. равна:

$$q_{\text{от}^{\text{TP}}}=0,521 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}) - 20 \% = 0,4168 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

2. По формуле (21) определим величину отклонения расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию от нормируемого, в %:

$$(0,316 - 0,4168) \times 100 \% / 0,4168 = - 24,18 \%$$

3. Найденное значение отклонения попадает в диапазон значений от -15 до -30 включительно (табл. 12), что соответствует классу энергосбережения «В» высокий.

Таблица 12

Фрагмент табл. 15 СП 50.13330.2012 «Классы энергосбережения жилых и общественных зданий в России» [2]

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
В+	Высокий	От -30 до - 40 включительно	Экономическое стимулирование
В		От -15 до -30 включительно	

Ответ: класс энергосбережения здания «В»- высокий.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 6

Определить, какой должна быть расчетная удельная характеристика расхода энергии на отопление и вентиляцию здания, чтобы класс энергосбережения здания соответствовал установленному значению

Порядок расчета:

1. Определение нормируемой удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляции по табл. 13 или 14 СП 50.13330 в зависимости от типа здания, его этажности, площади.
2. Перевод найденной величины удельной характеристики расхода энергии к действующему значению с учетом приказа Минстроя № 1550/пр.
3. Определение диапазона значений величины отклонений расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию от нормируемого, соответствующего классу энергосбережения.
4. Определение значений расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляции, соответствующих граничным значениям диапазона.

Пример решения практического задания № 6

Условие: Определить, какой должна быть расчетная удельная характеристика расхода энергии на отопление и вентиляцию многоквартирного жилого здания в 23 этажа, расположенного в г. Краснодаре, чтобы класс энергосбережения этого здания соответствовал С + «нормальный».

Решение:

1. Базовую удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию многоквартирного дома определяем по табл. 14 СП 50.13330.

Таблица 13

Фрагмент справочной табл. 14 СП 50.13330

Тип здания	Этажность здания							
	1	2	3	4,5	6,7	8,9	10,11	12 и выше
1 Жилые многоквартирные гостиные, общежития	0,455	0,414	0,372	0,359	0,336	0,319	0,301	0,290

Из справочной табл. 14 СП 50.13330.2012 получаем, что до 01.07.2018 г. значение нормируемой (базовой) удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию рассматриваемого здания было равно $q_{от}^{TP}=0,290$ Вт/(м³·°С).

2. Найденное значение уменьшаем на 20 % и получаем величину нормируемой удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, соответствующую п. 7 приказа Минстроя РФ № 1550/пр:

$$q_{от}^{TP} = 0,290 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)} - 20 \% = 0,232 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)}.$$

3. Классу энергосбережения С + «нормальный» согласно табл. 15 СП 50.13330 соответствует диапазон значений величины отклонений расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию от нормируемого, от – 5 до – 15 включительно.

4. По формуле (21) определим величины расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляции, соответствующие граничным значениям диапазона:

$$\begin{aligned} (q_1^{расч} - q^{норм}) \times 100 / q^{норм} &= - 15, \\ (q_2^{расч} - q^{норм}) \times 100 / q^{норм} &= - 5, \\ (q_1^{расч} - 0,232) \times 100 / 0,232 &= - 15, \\ (q_2^{расч} - 0,232) \times 100 / 0,232 &= - 5, \\ q_1^{расч} &= 0,1972 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)}, q_2^{расч} = 0,2204 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)}. \end{aligned}$$

Следовательно, искомое значение расчетной удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляции должно принадлежать диапазону от 0,1972 включительно до 0,2204.

Ответ: $q^{расч}=[0,1972; 0,2204)$, при таких значениях удельной характеристики расхода энергии на отопление и вентиляцию МКД 23-этажный жилой дом будет соответствовать классу энергосбережения С «+».

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 7

Определить базовый уровень удельного годового расхода энергетических ресурсов, включая суммарный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение многоквартирного жилого дома

Порядок расчета:

1. Определение типа здания, его этажности и значения ГСОП.
2. Определение методом линейной интерполяции искомого значения по табл. 1 Приказа Минстроя РФ № 399/пр [8].

Теоретическая часть

Базовые значения показателя удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, а также на электроснабжение в части расхода электрической энергии на общедомовые нужды в многоквартирном доме устанавливаются по табл. 1 Приказа Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 399/пр от 06.06.2016 г. «Об утверждении правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» в зависимости от градусо-суток отопительного периода и этажности здания.

Таблица 14

Фрагмент справочной табл.1 Приказа Минстроя № 399/ пр от 06.06.2016 г. [8]

Наименование показателя	°С·сут. отопит. периода	Этажность многоквартирного дома					
		2 эт.	4 эт.	6 эт.	8 эт.	10 эт.	>12 эт.
Расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электроэнергии на общедомовые нужды, кВт·ч/м ² в год	2000	215	206	203	201	199	198
	3000	228	216	212	208	205	203
	4000	256	239	234	229	225	223
	5000	284	263	256	251	245	242
	6000	312	287	278	272	265	262
	8000	370	337	326	317	308	304
	10000	426	384	370	359	348	342

Пример решения практического задания № 7

Условие: Определить базовый уровень удельного годового расхода энергетических ресурсов, включая суммарный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электроснабжение 9-этажного многоквартирного дома, расположенного в г. Ростов-на-Дону.

Решение:

1. Определим ГСОП для заданного района строительства.

По табл. 3 СП 131.13330 находим расчетные характеристики наружного воздуха и продолжительности отопительного периода для г. Ростова-на-Дону Ростовской области, и по формуле 5.2 СП 50.13330 определяем значение градусо-суток отопительного периода:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \times z_{\text{от}} = (21 - 0) \times 167 = 3507 \text{ °С} \cdot \text{сут./год.}$$

2. При помощи билинейной интерполяции на основе табл. 1 приказа Минстроя РФ № 399/пр получаем значения, соответствующие заданию.

Для этого сначала определим при помощи линейной интерполяции расход тепловой и электрической энергии для 9-этажного здания при значении градусо-суток 3000 и 4000, между которыми расположено значение ГСОП=3507, соответствующее рассматриваемому в данной задаче населенному пункту (табл. 15).

Таблица 15

Данные для линейного интерполирования расхода энергии

Наименование показателя	°С·сут. отопит. периода	Этажность многоквартирного дома		
		8 эт.	9 эт	10 эт.
Расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электроэнергии на общедомовые нужды, кВт·ч/м ² в год	3000	208	X ₁	205
	4000	229	X ₂	225

$$(208 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 - 205 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2) \times (9 \text{ эт} - 8 \text{ эт}) = (208 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 - X_1) \times (10 \text{ эт} - 8 \text{ эт})$$

$$X_1 = 206,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ в год}$$

$$(229 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 - 225 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2) \times (9 \text{ эт} - 8 \text{ эт}) = (229 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 - X_2) \times (10 \text{ эт} - 8 \text{ эт}),$$

$$X_2 = 227 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ в год}$$

 Полученные значения X₁ и X₂ занесем в таблицу:

Наименование показателя	°С·сут. отопит. периода	Этажность многоквартирного дома		
		8 эт.	9 эт	10 эт.
Расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электроэнергии на общедомовые нужды, кВт·ч/м ² в год	3000	208	206,5	205
	3507		XX	
	4000	229	227	225

Определим линейной интерполяцией значение расхода энергии для ГСОП 3507 и этажности здания – 9:

$$(4000 - 3000) \times (227 - XX) = (4000 - 3507) \times (227 - 206,5),$$

$$1000 \times (227 - XX) = 493 \times 20,5,$$

$$XX = 216,894 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ в год} \sim 217 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ в год.}$$

Ответ: для 9-этажного многоквартирного дома, расположенного в г. Ростов-на-Дону, базовый уровень удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, а также на электроснабжение в части расхода электрической энергии на общедомовые нужды составляет 217 кВт·ч/м².

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 8

Определить, каким должен быть удельный годовой расход энергетических ресурсов, включая суммарный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, и электрической энергии на общедомовые нужды многоквартирного жилого дома, чтобы класс энергетической эффективности объекта соответствовал заданному значению

Порядок расчета:

1. Определение типа здания, его этажности и значения ГСОП.
2. Определение методом линейной интерполяции искомого значения по табл. 1 Приказа Минстроя РФ № 399/пр [8].
3. Определение диапазона значений величины отклонений удельного расхода тепловой и электрической энергии в многоквартирном доме от нормируемого (базового) значения, соответствующего классу энергетической эффективности объекта.

4. Расчет значений удельного расхода тепловой и электрической энергии в многоквартирном доме, соответствующих граничным значениям диапазона.

Теоретическая часть

Класс энергетической эффективности многоквартирного дома определяется исходя из сравнения (определения величины отклонения) фактических или расчетных (для вновь построенных, реконструированных и прошедших капитальный ремонт многоквартирных домов) значений показателя удельного годового расхода энергетических ресурсов, отражающего удельный расход энергетических ресурсов на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, а также на электроснабжение на общедомовые нужды в многоквартирном доме, и базовых значений показателя удельного годового расхода энергетических ресурсов [9].

Фактические значения показателя удельного годового расхода энергетических ресурсов определяются на основании показаний общедомовых приборов учета энергетических ресурсов.

Обозначение класса энергетической эффективности многоквартирного дома осуществляется латинскими буквами по шкале от А++ до G по величине отклонения показателя удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового показателя согласно табл. 16.

Таблица 16

Градации классов энергетической эффективности эксплуатируемых зданий, принятой в России согласно табл. № 2 Приказа Минстроя России № 399/пр [8]

Обозначение класса энергетической эффективности	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня, %
А++	Высочайший	-60 включительно и менее
А+	Высочайший	от -50 включительно до -60
А	Очень высокий	от -40 включительно до -50
В	Высокий	от -30 включительно до -40
С	Повышенный	от -15 включительно до -30
D	Нормальный	от 0 включительно до -15
Е	Пониженный	от +25 включительно до 0
F	Низкий	от +50 включительно до +25
G	Очень низкий	более +50

Класс энергетической эффективности зданий, а также класс энергосбережения устанавливается по величине отклонения проектного, расчетного или фактического значения удельного годового расхода энергетических ресурсов от нормируемого значения. В качестве критерия оценки выступает отношение вида:

$$(q_{\text{факт}} - q_{\text{норм}}) \times 100 / q_{\text{норм}}, \quad (22)$$

где $q_{\text{факт}}$ – фактическое значение расхода энергетических ресурсов зданием;
 $q_{\text{норм}}$ – требуемое, нормируемое (базовое) значение расхода энергетических ресурсов зданием.

Пример решения практического задания № 8

Условие: Определить, каким должен быть удельный годовой расход энергетических ресурсов, включая суммарный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, и электрической энергии на общедомовые нужды многоквартирного 8-этажного жилого дома, расположенного в г. Майкоп, чтобы класс энергетической эффективности объекта соответствовал В «высокий».

Решение:

1) Значение градусо-суток отопительного периода для жилого дома, расположенного в г. Майкопе равно:

$$ГСОП = (21 \text{ }^{\circ}\text{C} - 2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times 147 \text{ сут/год} = 2719,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}.$$

2) Определим базовое значение удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электроснабжение для 8-этажного жилого дома по табл. 1 Приказа Минстроя РФ № 399/пр от 06.06.2016 г. «Об утверждении правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов».

Таблица 17

Фрагмент справочной табл. 1 Приказа Минстроя № 399/пр

Наименование показателя	°С·сут. отопит. периода	Этажность многоквартирного дома					
		2 эт.	4 эт.	6 эт.	8 эт.	10 эт.	>12 эт.
Расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электроэнергию на общедомовые нужды, кВт·ч/м ² в год	2000	215	206	203	201	199	198
	3000	228	216	212	208	205	203

Линейной интерполяцией определяем базовое значение равное 206,03 кВт ч/м² в год.

3) В соответствии с табл. 2 Приказа Минстроя России N 399/пр высокому классу энергетической эффективности «В» соответствуют значения отклонения удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового, установленного приказом, в диапазоне от минус 30 до минус 40 % включительно.

4) По формуле (22) найдем граничное значение удельного годового расхода энергетических ресурсов, при которых отклонение равно минус 30 %:

$$(X_1 - 206,03) \times 100 \% / 206,03 = - 30 \%,$$

$$X_1 = 144,22 \text{ кВт ч/м}^2.$$

Аналогично определим граничное значение удельного годового расхода энергетических ресурсов, при котором отклонение равно минус 40 %:

$$(X_2 - 206,03) \times 100 \% / 206,03 = - 40 \%,$$

$$X_2 = 123,62 \text{ кВт ч/м}^2.$$

Следовательно, удельный годовой расход энергетических ресурсов в много-

квартирном 8-этажном жилом доме, расположенном в г. Майкопе, должен находиться в диапазоне от 123,62 включительно до 144,22 кВт ч/м². Значения удельного годового расхода энергетических ресурсов, попадающие в этот диапазон, обеспечивают достижение зданием класса энергетической эффективности «В».

Ответ: $q = [123,62; 144,22)$ кВт ч/м² в год.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 9

Выполнить параметрическое моделирование уровня энергетической эффективности здания

Порядок расчета:

- 1) создание базовой энергетической модели здания на основе заполнения формы энергопаспорта (определение характеристик теплозащитной оболочки здания, объема потребляемых ресурсов и класса энергосбережения объекта);
- 2) выбор варьируемых параметров моделирования;
- 3) определение зависимости ключевых показателей энергетической эффективности здания от параметров моделирования;
- 4) обоснование выбора наилучшего варианта.

Теоретическая часть

Энергоэффективность здания оценивается рядом показателей, ключевым из которых выступает годовой объем энергопотребления здания. На уровень потребляемых зданием ресурсов оказывает влияние большое число факторов, среди которых географическое размещение объекта, планировочные и конструктивные решения здания и т.д. (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, влияющие на энергоэффективность здания

Географическая ориентация здания влияет на возможность применения солнечной энергии (количество солнечных дней в году, интенсивность солнечной радиации), энергии подземных источников (воды) и энергии ветра.

Местоположение здания в системе существующей застройки влияет на наличие затенения, аэродинамику застройки, наличие сквозных ветрообразующих пространств. Кроме того, местоположение здания характеризуется определенным набором метеорологических характеристик, влияющих на уровень энергетической эффективности строительного объекта: скорость и направление ветра, интенсивность солнечной радиации, продолжительность отопительного периода, температура

наружного воздуха в летний и зимний периоды и т.д.

Рациональное зонирование помещений в здании, т.е. выделение помещений с различным температурным фоном и оптимизация их взаимного размещения на плане также влияет на расход тепловой энергии в здании.

Тепловое зонирование отапливаемого объема здания, предполагающее формирование теплового ядра здания из помещений с максимальными расчетными температурами и теплоемкими конструкциями, и создание буферных пространств – неотапливаемых помещений с промежуточной (относительно внутренней и внешней среды) температурой формируют двойную оболочку отапливаемого объема, т.е. создают эффект "энергетического каскада" многоступенчатой теплопередачи от внутренней среды к внешней. Также буферные пространства защищают ограждения от ветровых воздействий, исключая нежелательную "напорную" инфильтрацию наружного воздуха и переувлажнения, влекущего, как правило, резкое ухудшение теплотехнических качеств ограждений и их ускоренное разрушение.

Конструктивные решения здания определяют выбор типа ограждающих конструкций и строительных материалов, обладающих различным коэффициентом теплопроводности, воздухопроницаемостью и, соответственно по-разному влияющих на сопротивление теплопередаче здания. Ограждающие конструкции, имеющие высокие теплозащитные характеристики, обеспечивают снижение потерь тепла до 25 %.

К косвенным факторам, влияющим на уровень энергетической эффективности здания, можно отнести уровень естественного освещения помещений здания и его инсоляцию. От этого фактора зависит потребность здания в искусственном освещении и устройстве систем затенения.

Другим косвенным фактором является ветровая характеристика территории, влияющая на возможность использования ветрового давления для естественной вентиляции. К косвенным факторам также можно отнести количество людей, находящихся в здании и являющихся источником дополнительных, бытовых, теплопоступлений.

Для учета совместного воздействия различных факторов на уровень энергетической эффективности здания применяется комплексный подход к зданию как к единой системе, включая анализ расположения здания, определение вида его оболочки и систем обеспечения микроклимата, учет взаимосвязей процессов теплопоступлений и тепловых потерь в здании. Для этих целей эффективно применять технологии энергомоделирования здания.

Энергомоделирование – это комплекс инженерных расчетов, позволяющих прогнозировать объем потребления энергетических ресурсов зданием.

Для выполнения параметрического моделирования здания необходимо:

- выполнить расчет энергопаспорта здания, определить класс энергосбережения объекта и объем потребляемых ресурсов;
- выбрать варьируемые параметры моделирования здания;
- повторно рассчитать энергопаспорт здания с учетом внесённых изменений в проект, определить класс энергосбережения объекта и объем потребляемых ресурсов;
- сравнить значения до и после моделирования таких показателей, как:
 - общий коэффициент теплопередачи здания;
 - удельная теплозащитная характеристика здания;
 - общие теплопотери здания за отопительный период;
 - удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации;
 - удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период

- расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период
- расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.

Пример № 1 решения практического задания № 9

Условие: выполнить расчет энергопаспорта и энергетическое моделирование отдельно стоящего 1-этажного жилого дома по следующим параметрам:

- ориентация светопрозрачных конструкций по сторонам света;
- конструктивные решения ограждающих конструкций здания: стен и окон.

Сведения об объекте и принятых проектных решениях представлены в табл. 18-19 и на рис. 2-3.

Таблица 18

Общая информация об объекте

Наименование показателя	Значение показателя
Адрес здания	Краснодарский край, г. Сочи
Назначение здания	Жилой дом
Этажность	1
Расчетное количество жителей (служащих)	3
Размещение в застройке	Отдельно стоящее
Конструктивное решение	бескаркасное, стены керамзитобетонные
Общая площадь здания	91 м ²
Площадь застройки	120 м ²

Характеристика проектных решений здания:

- материал стен – керамзитобетон;
- материал перекрытий: железобетон;
- материал кровли – мембрана;
- тип кровли – плоская;
- высота в коньке – 4.9 м;
- тип отопления – газовый котел.

Таблица 19

Ориентация светопрозрачных конструкций по сторонам света

Ориентация окон по сторонам света	Площадь оконных блоков $A_{ок}$, м ²	Доля, %
В	3,63	31
Ю	4	34
З	2,5	22
С	1,5	13



Рис. 2. Трехмерная модель здания [10]

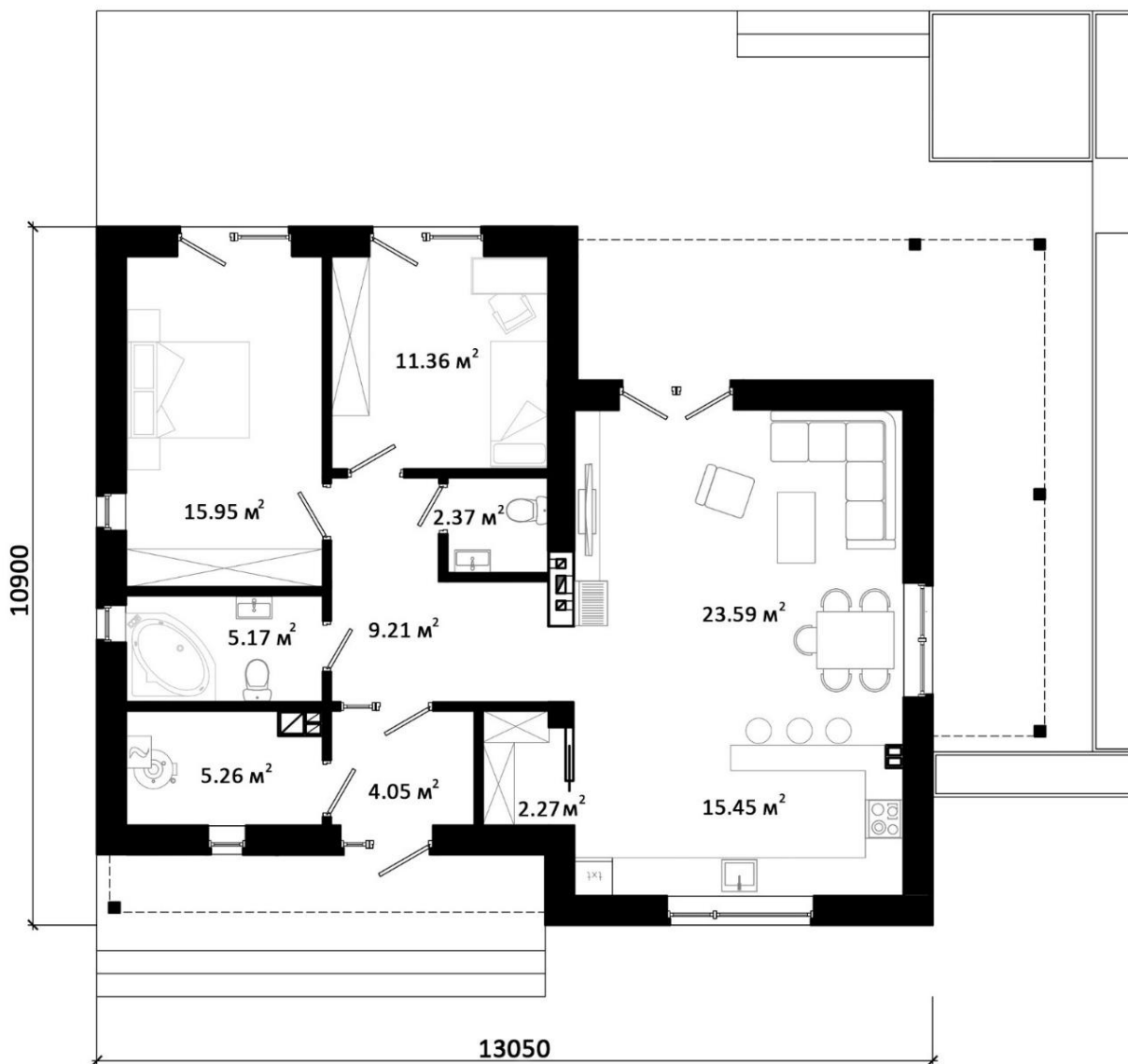


Рис. 3. План 1-ого этажа дома [10]

Решение:

Для построения энергетической модели здания выполним расчет энергопаспорта объекта согласно методике, изложенной в СП 50.13330.2012.

Результаты расчетов представлены в табл. 20-28 ниже.

Условия эксплуатации ограждающих конструкций приняты в расчетах Б.

Таблица 20

Расчетные условия энергопаспорта здания

Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	t_H	°С	-3
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	6,6
Продолжительность отопительного периода	$Z_{от}$	сут/год	93
Градусо-сутки отопительного периода	$GCOП$	°С·сут/год	1339,2
Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	t_B	°С	21

Таблица 21

Показатели геометрические энергопаспорта здания

Показатель	Обозначение и единица измерения	Расчетное Проектное значение
Сумма площадей этажей здания	$A_{от}, м^2$	94,68
Площадь жилых помещений	$A_{ж}, м^2$	50,90
Расчетная площадь (общественных зданий)	$A_{р}, м^2$	-
Отапливаемый объем	$V_{от}, м^3$	284,04
Коэффициент остекленности фасада здания	f	0,08
Показатель компактности здания	$K_{комп}$	0,72
Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_{н, сум}, м^2$	203,51
– фасадов	$A_{фас}$	143,70
– стен (раздельно по типу конструкции)	$A_{ст}$	129,56
– окон и балконных дверей	$A_{ок.1}$	11,63
– входных дверей и ворот (раздельно)	$A_{дв}$	2,52
– покрытий (совмещенных)	$A_{покр}$	94,68
– пола по грунту	$A_{цок.3}$	94,68

Таблица 22

Показатели теплотехнические энергопаспорта здания

Показатель	Обозначение и единица измерения	Нормируемое значение	Расчетное проектное значение
Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в т. ч.:	$R_{о, пр}, м^2 \cdot °С/Вт$		
– стен (раздельно по типу конструкции)	$R_{о, ст}^{пр}$	1,59	1,61

Показатель	Обозначение и единица измерения	Нормируемое значение	Расчетное проектное значение
– окон и балконных дверей	$R_{o,ок.1}^{пр}$	0,25	0,52
– входных дверей и ворот (раздельно)	$R_{o,дв}^{пр}$	0,41	0,84
– покрытий (совмещенных)	$R_{o,покp}^{пр}$	2,90	3,77
– стен в земле и пола по грунту (раздельно)	$R_{o,цок.з}^{пр}$	2,60	4,79

Таблица 23

Показатели вспомогательные энергопаспорта здания

Показатель	Обозначение и единица измерения	Нормируемое значение	Расчетное проектное значение
Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_{общ}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	-	0,74
Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	$n_{в}, \text{ч}^{-1}$	-	0,42
Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{быт}, \text{Вт}/\text{м}^2$	-	17,85

Таблица 24

Удельные характеристики энергопаспорта здания

Показатель	Обозначение и единица измерения	Нормируемое значение	Расчетное проектное значение
Удельная теплозащитная характеристика здания	$K_{об}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	0,92	0,53
Удельная вентиляционная характеристика здания	$K_{вент}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	-	0,12
Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$K_{быт}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	-	0,22
Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$K_{рад}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	-	0,30

Таблица 25

Комплексные показатели энергопаспорта здания

Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Значение показателя
Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{от}^p, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	0,26

Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Значение показателя
Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{от}^{TP}$, Вт/(м ³ ·°C)	0,42
Класс энергосбережения	-	B+
Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите	-	Да

Таблица 26

Энергетические нагрузки здания

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	q	кВт·ч/(м ³ ·год)	8,51
		кВт·ч/(м ² ·год)	25,54
Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$Q_{от}^{год}$	кВт·ч/(год)	2418,44
Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q_{общ}^{год}$	кВт·ч/(год)	5939,29

На основе полученной энергетической модели здания выполним моделирование уровня его энергетической эффективности в зависимости от различного сочетания проектных решений (табл. 27).

Таблица 27

Варианты сочетания проектных решений для энергомоделирования

Вариант	Конструктивное решение стен	Конструктивное решение окон	Ориентация светопрозрачных конструкций по сторонам света
Вариант 1	Керамзитобетон 510 мм; штукатурка цементно-песчаная 20 мм (R=1.61 м ² ·°C/Вт)	Однокамерный стеклопакет, R=0,52 м ² ·°C/Вт	север – 13 %, восток – 31 %, юг – 34 %, запад – 22%
Вариант 2	Кладка из кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе 380 мм, пенополистирол – 80 мм, гипсокартонные листы – 12 мм (R=2,47 м ² ·°C/Вт)	Двухкамерный стеклопакет, R=0.62 м ² ·°C/Вт	север – 31 %, восток – 34 %, юг – 22 %, запад – 13 %
Вариант 3	Керамзитобетон 360 мм; пенополистирол -50 мм, гипсокартонные листы – 12 мм (R=2,07 м ² ·°C/Вт)	Двухкамерный энергоэффективный стеклопакет, R=0,76 м ² ·°C/Вт	север – 34 %, восток – 22 %, юг – 13 %, запад – 31%

Полученные результаты энергомоделирования объекта сведены в табл. 28.

Таблица 28

Результаты моделирования энергетической эффективности здания

Показатель	Обозначение, ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_{\text{общ}}$, Вт/(м ² ×°С)	0,74	0,59	0,62
Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{\text{об}}$, Вт/(м ³ ×°С)	0,53	0,42	0,44
Удельная характеристика теплопоступлений от солнечной радиации	$k_{\text{рад}}$, Вт/(м ³ ×°С)	0,30	0,23	0,20
Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию	$q_{\text{от}}$, Вт/(м ³ ×°С)	0,26	0,20	0,25
Класс энергосбережения здания		B + (-36,76 %)	A+ (-52,21 %)	A (-40,49 %)
Удельный тепловой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период	q , кВт×ч/(м ² ×год)	8,51	6,43	8,01
	q , кВт×ч/(м ³ ×год)	25,54	19,30	24,04
Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период	$Q_{\text{от}}^{\text{год}}$, кВт×ч/(год)	2418,44	1827,63	2275,66
Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q_{\text{общ}}^{\text{год}}$, кВт×ч/(год)	5939,29	4922,89	5137,64

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы о зависимости теплотехнических и энергетических характеристик объекта от варьируемых параметров (табл. 29).

Таблица 29

Схема зависимости показателей энергопаспорта от варьируемых параметров

Показатели энергопаспорта, на которые влияют варьируемые параметры	Варьируемые параметры		
	ориентация светопрозрачных конструкций по сторонам света	конструктивное решение окон	конструктивное решение стены
	«юг» → min	R → max	R → max
Удельная теплозащитная характеристика здания, $k_{\text{об}}$		$k_{\text{об}} \rightarrow \min$	$k_{\text{об}} \rightarrow \min$
Общие теплопотери здания за отопительный период, $Q_{\text{общ}}$		$Q_{\text{общ}} \rightarrow \min$	$Q_{\text{общ}} \rightarrow \min$
Удельная характеристика теплопоступлений от солнечной радиации, $k_{\text{рад}}$	$k_{\text{рад}} \rightarrow \min$		
Расход энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, $Q_{\text{от}}$	$Q_{\text{от}} \rightarrow \max$	$Q_{\text{от}} \rightarrow \min$	$Q_{\text{от}} \rightarrow \min$

С уменьшением светопрозрачных конструкций, ориентированных на юг, уменьшается количество теплопоступлений в здание от солнечной радиации (вариант 3). Увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций способствует снижению тепловых потерь в здании (вариант 2 и 3).

Энергомоделирование зданий

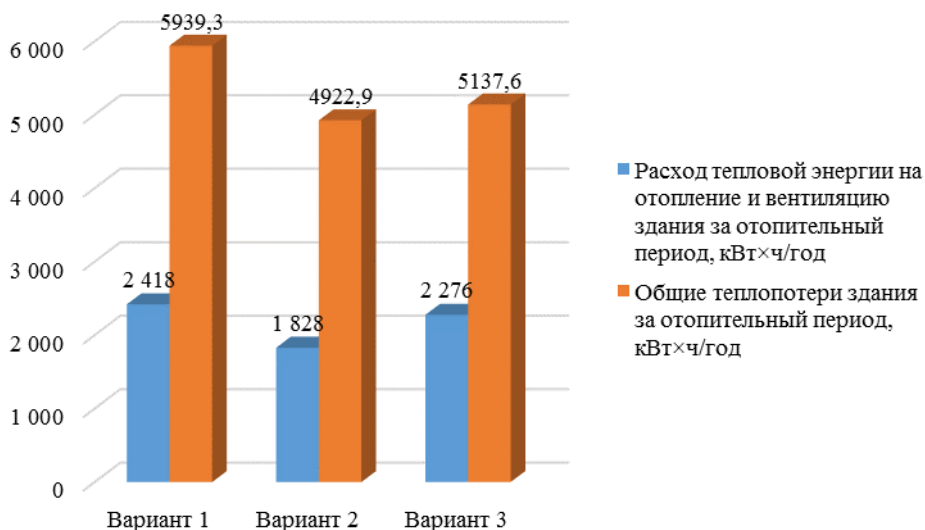


Рис.4. Энергетические нагрузки здания по вариантам

Таким образом, можно сделать вывод, что наилучшим вариантом из представленных является вариант 2 (рис. 4). Этот вариант сочетания проектных решений обеспечивает минимальные тепловые потери в здании и наивысший класс энергосбережения А+. Достигнутые в варианте 2 показатели расхода энергии можно снизить, за счет замены обычных двухкамерных оконных блоков на энергосберегающие стеклопакеты в сочетании с их ориентацией по сторонам света, принятой аналогично варианту 1.

Пример № 2 решения практического задания № 9

Условие: Выполнить энергетическое моделирование 25-этажного жилого комплекса, расположенного в г. Ростове-на-Дону (табл. 30, рис. 5-7).

Таблица 30

Общая информация об объекте

Наименование показателя	Значение показателя
Назначение объекта	Жилой дом со встроенно-пристроенными помещениями торгового характера
Этажность, количество секций	25, 3
Количество квартир	260
Расчетное количество жителей	436
Размещение в застройке	В условиях плотной городской застройки
Конструктивное решение	Монолитное здание

Энергомоделирование зданий

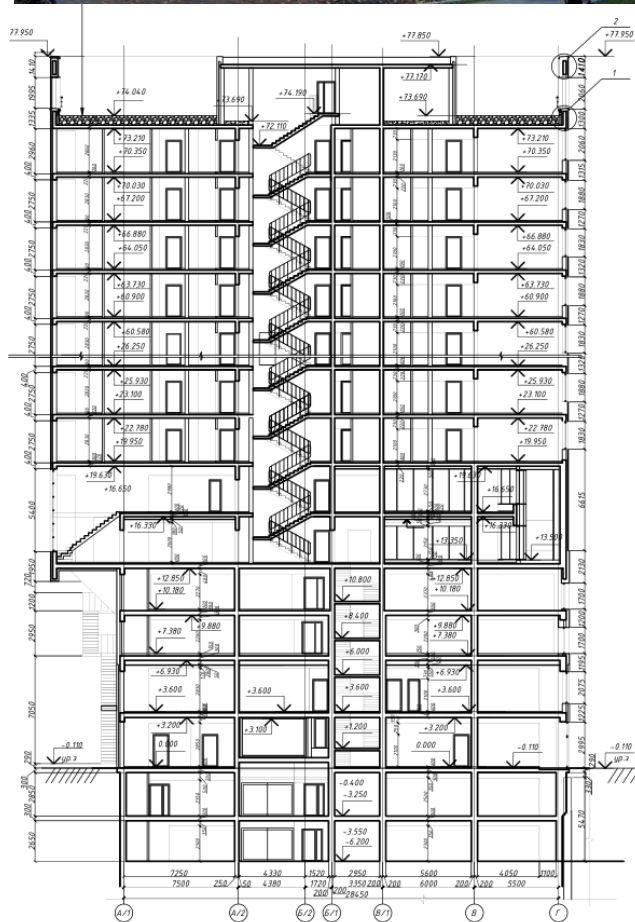


Рис. 5. Трехмерная модель здания и разрез 1-1

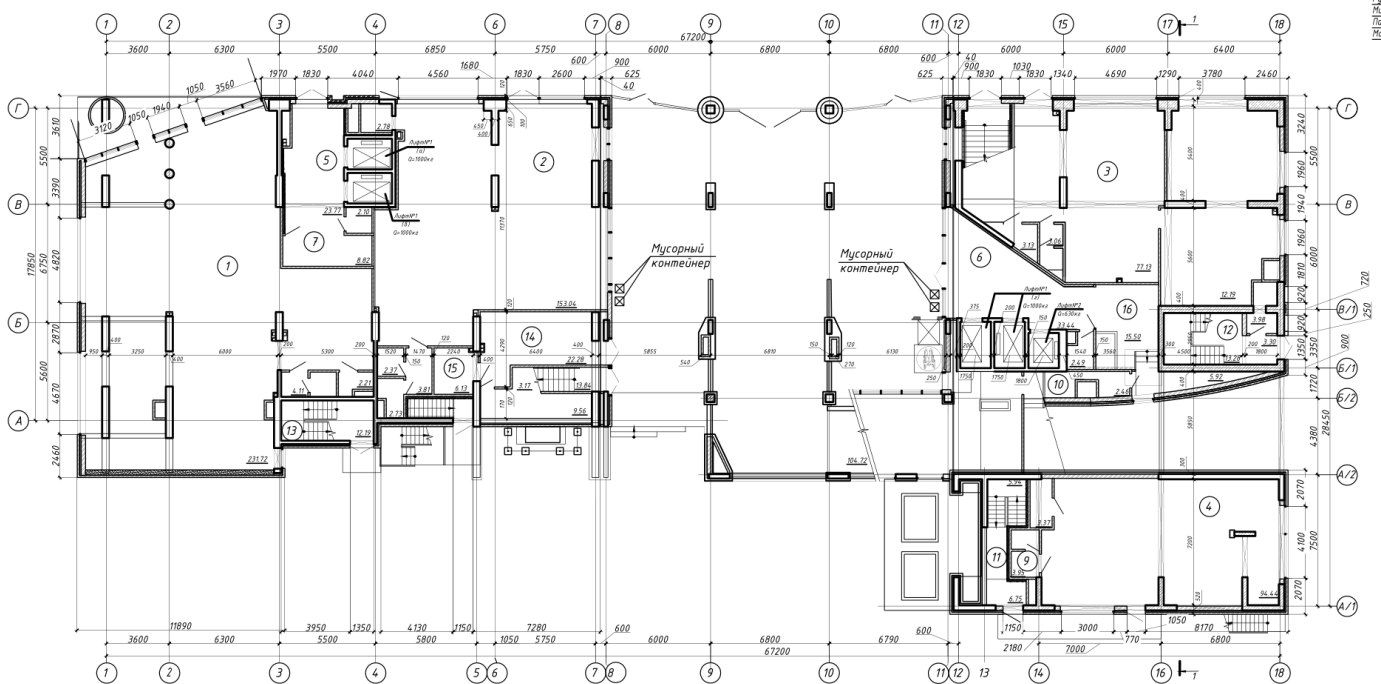


Рис. 6. План этажа на отметке 0.000

Расчетная температура внутреннего воздуха принята 21 °С, продолжительность отопительного периода – 167 суток.

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период – 0 °С, градусо-сутки отопительного периода – 3507 °С·сут/год.

Геометрические показатели здания представлены в табл. 31 ниже.

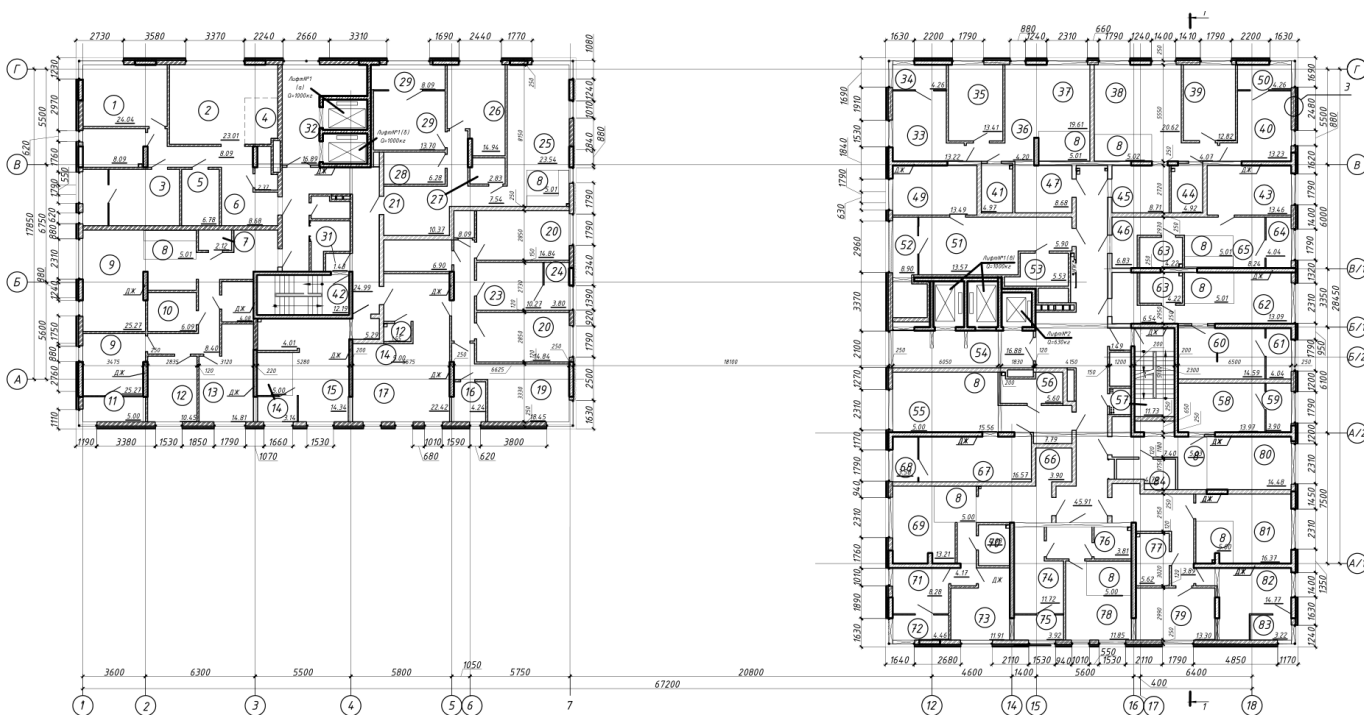


Рис. 7. План этажа на отметке +19,950

Таблица 31

Геометрические показатели здания

Показатель	Обозначение и единица измерения	Расчетное проектное значение
Сумма площадей этажей здания	$A_{от}, м^2$	33 649,63
Площадь жилых помещений	$A_{ж}, м^2$	23 221,31
Отапливаемый объем	$V_{от}, м^3$	77 743,52
Коэффициент остекленности фасада здания	f	0,3
Показатель компактности здания	$K_{комп}$	0,15
Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_{н}^{сум}, м^2$	11 830,26
а) фасадов	$A_{фас}, м^2$	9 793,9
б) стен (раздельно по типу конструкции)	$A_{ст}, м^2$	7 391
в) окон и балконных дверей	$A_{ок1}, м^2$	2 217,3
г) витражей	$A_{ок2}, м^2$	180
д) входных дверей и ворот (раздельно)	$A_{дв}, м^2$	5,6
е) покрытий (совмещенных)	$A_{покр}, м^2$	1 023,18
ж) перекрытий над техническими подпольями или над неотапливаемыми подвалами	$A_{цок1}, м^2$	1 023,18

Заполненная форма энергетического паспорта объекта размещена по ссылке https://docs.google.com/spreadsheets/d/1H_ZQmnBFxDcQNhrvQKAYPztugoF6dmEO/edit?usp=sharing&ouid=109773042198336378578&rtpof=true&sd=true.

Параметры моделирования:

- конструктивные решения стен и оконных блоков (табл. 32).

Таблица 32

Варианты сочетания проектных решений

Вариант моделирования	Конструктивное решение
Вариант 1	Стены: - навесная вентилируемая система; - воздушная прослойка; - кирпичная кладка; - утеплитель по ТУ; - штукатурка Окна: 4М1-16Аг-И4*
Вариант 2	Стены: - навесная вентилируемая система; - воздушная прослойка; - утеплитель по ТУ; - железобетон; - штукатурка Окна: 4М1-16Аг-И4
Вариант 3	Стены: - навесная вентилируемая система; - воздушная прослойка; - кирпичная кладка; - утеплитель по ТУ; - штукатурка Окна: 4М1-12-4М1-12-4М1**
Вариант 4	Стены: - навесная вентилируемая система; - воздушная прослойка; - утеплитель по ТУ; - железобетон; - штукатурка Окна: 4М1-12-4М1-12-4М1

Решение:

Рассмотрим зависимость теплотехнических и энергетических характеристик объекта от варьируемых параметров (табл. 33).

Таблица 33

Схема зависимости показателей энергопаспорта от варьируемых параметров

Показатели энергопаспорта, на которые влияют варьируемые параметры	Варьируемые параметры	
	конструктивное решение стены	конструктивное решение окна
	$R \rightarrow \max$	$R \rightarrow \max$
Удельная теплозащитная характеристика здания, $k_{об}$	$k_{об} \rightarrow \min$	$k_{об} \rightarrow \min$
Общие теплопотери здания за отопительный период, $Q_{общ}$	$Q_{общ} \rightarrow \min$	$Q_{общ} \rightarrow \min$
Удельная характеристика теплопоступлений от солнечной радиации, $k_{рад}$		$k_{рад} \rightarrow \max$
Расход энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, $Q_{от}$	$Q_{от} \rightarrow \min$	$Q_{от} \rightarrow \min$

Таблица 34

Варианты сочетания проектных решений

Вариант моделирования	Конструктивное решение	Расчетные значения показателей
Вариант 1	Стены: - навесная вентилируемая система - воздушная прослойка - кирпичная кладка - утеплитель по ТУ - штукатурка Окна: 4M1-16Ar-И4*	$R=2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ $Q_{рад}=1\ 718\ 663 \text{ МДж}$
Вариант 2	Стены: - навесная вентилируемая система - воздушная прослойка - утеплитель по ТУ - железобетон - штукатурка Окна: 4M1-16Ar-И4	$R=2,79 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ $Q_{рад}=1\ 718\ 663 \text{ МДж}$
Вариант 3	Стены: - навесная вентилируемая система - воздушная прослойка - кирпичная кладка - утеплитель по ТУ - штукатурка Окна: 4M1-12-4M1-12-4M1**	$R=2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ $Q_{рад}=1\ 325\ 343 \text{ МДж}$
Вариант 4	Стены: - навесная вентилируемая система - воздушная прослойка - утеплитель по ТУ - железобетон - штукатурка Окна: 4M1-12-4M1-12-4M1	$R=2,79 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ $Q_{рад}=1\ 325\ 343 \text{ МДж}$

Примечание: * Формула окна 4M1-16Ar-И4— это формула однокамерного стеклопакета из 2-х стекол, где 4 – толщина в мм 1-ого стекла; M1 – марка стекла (качественное полированное флоат стек-

ло); 16 – ширина внутреннего пространства между стеклами; Ar – заполнение между стеклами – инертный газ аргон; И – тип энергосберегающего стекла, оснащенного мягким покрытием, отражающим инфракрасное излучение (благодаря этой особенности белый солнечный свет беспрепятственно проходит внутрь помещения, однако тепловые волны остаются снаружи, что сохраняет прохладу летом; внутреннее тепло также отражается от окон и остается внутри, что защищает от тепловых потерь зимой); 4 – толщина в мм стекла.

**Формула окна 4M1-12-4M1-12-4M1 — это формула двухкамерного стеклопакета из 3-х стекол, который выполнен из стекла марки M1 (качественное полированное флоат стекло) толщиной 4 мм, расстояние (ширина) в мм дистанционной рамки между стеклами между – 12 мм, заполнено воздухом.

Нормируемое значение удельной характеристик расхода энергии на отопление и вентиляцию для всех вариантов моделирования одинаково и равно:

$$q_{от}^{TP} = 0,29 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}) - 20 \% = 0,232 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

По формуле (21) находим значения величин отклонения расчетного значения удельной характеристики расхода энергетических ресурсов от нормируемого по вариантам:

- для варианта 1 отклонение равно $(0,091-0,232) \times 100/0,232 = -60,78 \%$;
- для варианта 2 отклонение равно $(0,1-0,232) \times 100/0,232 = -56,90 \%$;
- для вариант 3 отклонение равно $(0,089-0,232) \times 100/0,232 = -61,64 \%$;
- для вариант 4 отклонения равно $(0,098-0,232) \times 100/0,232 = -57,76 \%$;

Найденные значения величин отклонения соответствуют классу А ++ «очень высокий» для вариантов 1 и 3 моделирования и классу энергосбережения А+ «очень высокий» для вариантов 2 и 4.

Полученные результаты энергомоделирования здания по вариантам представлены в табл. 35 ниже.

Таблица 35

Результаты моделирования энергетической эффективности здания

Показатель	Обозначение, ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Общий коэффициент теплопередачи	$K_{общ}$, Вт/(м×°C)	0,096	0,096	0,094	0,094
Удельная теплозащитная характеристика здания	$K_{об}$, Вт/(м ³ ×°C)	0,01	0,01	0,01	0,01
Удельная характеристика теплопоступлений от солнечной радиации	$k_{рад}$, Вт/(м ³ ×°C)	0,07	0,07	0,17	0,17
Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию	$q_{от}^p$, Вт/(м ³ ×°C)	0,091	0,10	0,089	0,098
Класс энергосбережения здания		А+ + (-60,78 %)	А+ (-56,90 %)	А+ + (-61,64 %)	А+ (-57,76 %)
Удельный тепловой расход тепловой	q , кВт×ч/(м ² ×год)	8,34	8,73	8,72	8,73

Показатель	Обозначение, ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период	q , кВт·ч/ (м ³ ·год)	24,19	25,34	25,28	25,34
Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период	$Q_{от}^{год}$, кВт·ч/(год)	648 649	677 809	674 254	679 328
Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q_{общ}^{год}$, кВт·ч/(год)	1 897 619	1 926 780	1 924 265	1 928 298

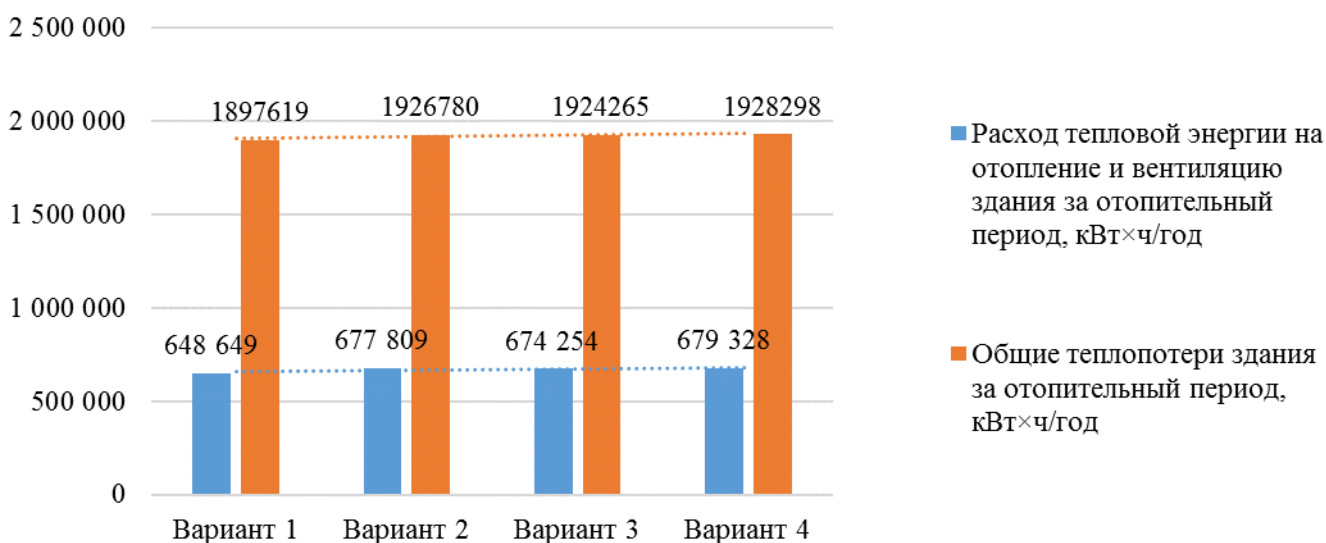


Рис.8. Энергетические нагрузки здания по вариантам

По результатам проведения энергомоделирования можно сделать вывод, что вариант 1 является наиболее эффективным и рациональным при реализации проекта строительства жилого здания, так как показатели теплового расхода и теплопотерь через ограждающие конструкции – минимальные (рис. 8).

Пример № 3 решения практического задания № 9

Условие: Выполнить моделирование изменения уровня энергетической эффективности 21-этажного жилого с первым и вторым нежилыми этажами, расположенного в г. Ростове-на-Дону (рис. 9).

Варьируемые параметры:

- ориентация светопрозрачных конструкций по сторонам света;
- ширина здания в плане;
- конструктивные решения ограждающей конструкции стены здания.

Заполненная форма энергетического паспорта объекта размещена по ссылке https://docs.google.com/spreadsheets/d/1H_ZQmnBFxDcQNhrv_QKAYPztugoF6dmEO/edit?usp=sharing&oid=109773042198336378578&rtpof=true&sd=true.



Рис. 9. Трехмерная модель здания

Решение:

Для построения энергетической модели здания выполнен расчет энергопаспорта объекта, согласно методике, изложенной в СП 50.13330.2012.

Рассмотрим зависимость теплотехнических и энергетических характеристик объекта от варьируемых параметров (табл. 36).

Таблица 36

Схема зависимости показателей энергопаспорта от варьируемых параметров

Показатели энергопаспорта, на которые влияют варьируемые параметры	Варьируемые параметры		
	ориентация светопрозрачных конструкций по сторонам света	ширина здания в плане	конструктивное решение стены
	«север» → min	b → max	R → max
Коэффициент компактности здания, $K_{\text{комп}}$		$K_{\text{комп}} \rightarrow \min$	
Удельная теплозащитная характеристика здания, $k_{\text{об}}$		$k_{\text{об}} \rightarrow \min$	$k_{\text{об}} \rightarrow \min$
Общие теплотери здания за отопительный период, $Q_{\text{общ}}$		$Q_{\text{общ}} \rightarrow \min$	$Q_{\text{общ}} \rightarrow \min$
Удельная характеристика теплопоступлений от солнечной радиации, $k_{\text{рад}}$	$k_{\text{рад}} \rightarrow \max$		
Расход энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, $Q_{\text{от}}$	$Q_{\text{от}} \rightarrow \min$	$Q_{\text{от}} \rightarrow \min$	$Q_{\text{от}} \rightarrow \min$

Варьируемые параметры сгруппированы по трем вариантам в табл. 37.

Таблица 37

Варианты сочетания проектных решений

Вариант	Длина/ширина здания, м	Конструктивное решение стены	Ориентация светопрозрачных конструкций по сторонам света
Вариант 1	37,5×15,97	– кирпич керамический 120 мм; – газобетонные блоки 300 мм; – пенополистирол – 50 мм	север – 15 %, восток – 30 %, юг – 15 %, запад – 40%
Вариант 2	37,5×18,3	– кирпич керамический 120 мм; – газобетонные блоки 300 мм; – пенополистирол – 60 мм	север – 30 %, восток – 15 %, юг – 40 %, запад – 15 %
Вариант 3	37,5×15,97	– силикатный кирпич – 65 мм, – минеральная вата – 120 мм, – силикатный кирпич – 380 мм	север – 20 %, восток – 30 %, юг – 15 %, запад – 35 %

Градусо-сутки отопительного периода в расчетах примем равными:

$$ГСОП = (20 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C}) \times 167 \text{ сут/год} = 3340 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут/год}.$$

Результаты энергомоделирования многоэтажного жилого дома приведены в табл. 38.

Таблица 38

Результаты моделирования уровня энергетической эффективности здания

Показатель	Обозначение	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Общая площадь наружных ограждающих конструкций	$A_{н.сум}, \text{ м}^2$	6 031,61	6 092,24	6 031,61
Площадь стен	$A_{ст}, \text{ м}^2$	3 841,84	3 885,54	3 841,84
Отапливаемый объем	$V_{от}, \text{ м}^3$	30 943,0	31 148,0	30 943,0
Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_{общ}, \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{ }^\circ\text{C})$	0,580	0,560	0,603
Удельная теплозащитная характеристика здания	$K_{об}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \times \text{ }^\circ\text{C})$	0,113	0,110	0,118
Удельная характеристика теплоступлений в здание от солнечной радиации	$K_{рад}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \times \text{ }^\circ\text{C})$	0,077	0,086	0,072
Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{от}^p, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \times \text{ }^\circ\text{C})$	0,082	0,0757	0,0764
Класс энергосбережения		A++ (-64,7)	A++ (-67,4)	A++ (-80)
Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q, \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \times \text{год})$	6,53	6,03	6,08
Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$Q_{от}, \text{ кВт} \times \text{ч}/\text{год}$	202 174,1	187 877,8	188 367,2

Классы энергосбережения здания по вариантам моделирования определяем путем сравнения расчетной удельной характеристики тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с нормируемым значением, найденным по табл. 14 СП 50.13330.

Из справочной табл. 14 СП 50.13330 видно, что до 01.07.2018 г. значение нормируемой (базовой) удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию 21-этажного жилого дома было равно $q_{от}^{TP}=0,29 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$. Т.к. расчеты выполняются в 2022 г., то это значение уменьшаем на 20 % и получаем величину нормируемой удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, соответствующее действующему подзаконному акту – приказу Минстроя РФ № 1550/пр:

$$q_{от}^{TP} = 0,29 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}) - 20 \% = 0,232 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

По формуле (21) находим значения величин отклонения расчетного значения удельной характеристики расхода энергетических ресурсов от нормируемого по вариантам:

- для варианта 1 отклонение равно $(0,082-0,232) \times 100/0,232 = - 64,7 \%$;
- для варианта 2 отклонение равно $(0,0757-0,232) \times 100/0,232 = - 67,4 \%$;
- для вариант 3 отклонение равно $(0,0464-0,232) \times 100/0,232 = - 80 \%$.

Найденные значения величин отклонения по всем 3-м вариантам моделирования соответствуют классу А ++ «очень высокий» [2, табл. 15]. Однако, энергетические нагрузки здания по вариантам отличаются (рис. 10).

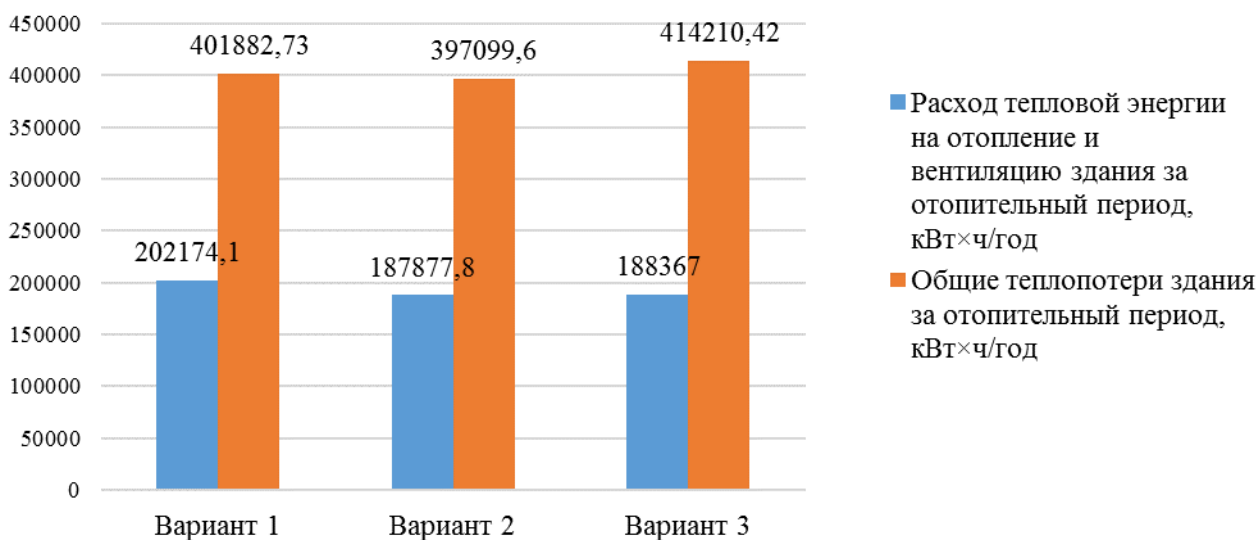


Рис. 10. Энергетические нагрузки здания по вариантам

Исходя из полученных данных (рис. 10), можно сделать вывод, что вариант 2 является наиболее оптимальным с точки зрения объема потребления энергетических ресурсов на отопление и вентиляцию здания (этот показатель на 7,1 % ниже по сравнению с вариантом 1 и на 0,3 % ниже варианта 2). Также этот вариант проектных решений обеспечивает минимальные тепловые потери через ограждающую оболочку здания.

Перечень использованных информационных ресурсов

1. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : издание официальное : утвержден и введен в действие Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве протокол № 39 от 8 декабря 2011 г. : дата введения 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2019.
2. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. №265 : дата введения 2013-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2012. – с. 132.
3. СП 131.13330.2020 Строительная климатология : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. №859/пр : дата введения 2021-06-25. – Москва : Стандартинформ, 2020. – с. 113.
4. СТО СРО НП СПАС-04-2011 «Энергосбережение в зданиях. Проектирование тепловой защиты жилых и общественных зданий» : стандарт организации . – Омск : ФГБОУ ВПО «СИБАДИ», СРО НП «СПАС», 2012. – 95 с.
5. ГОСТ Р 54851-2011. Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2011 г. № 1556-ст : дата введения 2012-05-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 38 с.
6. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 1550/пр от 17 ноября 2017 г. «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений». – Текст: электронный // URL: <https://docs.cntd.ru/document/542612470> (дата обращения: 04.06.2022).
7. ГОСТ 31532-2012 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 ноября 2012 г. № 1106-ст : дата введения 2015-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с.
8. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 399/пр «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» от 6 июня 2016 года. – Текст: электронный // URL: <https://docs.cntd.ru/document/420369798> (дата обращения: 04.06.2022).
9. ГОСТ Р 53905-2010 Энергосбережение. Термины и определения (с Изменением N 1) : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 ноября 2010 г. № 350-ст : дата введения 2011-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 24 с.
10. Официальный сайт Архитектурного бюро «Территория» / Проекты домов и строительство коттеджей. – URL: <https://www.territoria.by/katalog/odnoetazhnyie-doma/amika> (дата обращения 31.05.2022).