Теплотехнический расчёт, расчёт теплопотерь и класс энергетической эффективности

Одноэтажный каркасный дом с двускатной кровлей · г. Нижний Новгород · плита по грунту · редакция от 29.10.2026

9,62 кВт	79,6 Вт/м²	≥ 11,1 кВт	B+
суммарные теплопотери Q	на 120,9 м² площади	источник с запасом 15 % (консервативно 12,7)	класс «Высокий», δ = −37,2 %

Соответствие нормам (СП 50.13330.2024)

Требование	Заданный состав / условие	Расчёт	Норма	Запас	Итог
Стена	LOGICPIR 50 + вата 100, 20 % дерева	3,79	3,06	+24 %	**проходит**
Скатная кровля	вата 200 + 50, 12 % стропил	4,85	4,58	+5,9 %	**проходит**
Пол по плите	XPS 100 мм, зоны грунта	5,67	4,04	+40 %	**проходит**
Стеклопакеты СТ	R = 1,3 (по заданию)	1,30	0,67	+95 %	**проходит**
Окна ПВХ	R = 1,0	1,00	0,67	+50 %	**проходит**
Входная дверь	R = 1,0 (по заданию)	1,00	0,79	+26 %	**проходит**
Комплексное: $k_{об} \le k_{об}^{тр}$	Вт/(м³·°C), формула 5.5	0,256	0,482	89 %	**проходит**
Расход $q_{от}^{р} \le q_{от}^{тр}$	Вт/(м³·°C), табл. 14	0,309	0,491	37 %	**проходит**

Запас кровли невелик (5,9 %): норма сохраняется, пока доля стропил не превышает 16 %. Расчёт кровли и стены выполнен по консервативному методу; двумерное моделирование показывает бóльшие значения R_0 (раздел 3, раздел 7).

Нормативная база и проверка

Расчёт выполнен по действующим на дату составления документам: **СП 50.13330.2024** «Тепловая защита зданий» (приказ Минстроя от 15.05.2024 № 327/пр, введён с 16.06.2024), **СП 131.13330.2025** «Строительная климатология» (приказ Минстроя от 08.08.2025 № 470/пр, заменил редакцию 2020 г.), СП 60.13330.2020 (отопление и вентиляция), СП 23-101 и СП 230.1325800 (неоднородные конструкции).

1. Исходные данные

1.1 Климат и нормируемые параметры

Расчётная температура холодной пятидневки $t_н$ (обеспеченность 0,92) определяет теплопотери, а средняя температура $t_{от}$ и продолжительность $z_{от}$ отопительного периода — градусо-сутки ГСОП и нормируемые сопротивления теплопередаче. Для Нижнего Новгорода использована строка таблицы действующей редакции СП 131.13330.2025; для сравнения показаны прежние редакции, так как в проектах с заданием, выданным до 09.09.2025, ещё встречаются их значения.

Редакция	t_н, °C	t_от, °C	z_от, сут	ГСОП	R_req стены	Q, кВт	δ, %
СП 131.13330.2025 (принято)	−26,0	−3,2	205	4756	3,06	9,62	−37,2
СП 131.13330.2020	−27,0	−3,6	209	4932	3,13	9,84	−36,9
СП 131.13330.2012	−31,0	−4,1	215	5182	3,21	10,74	−36,5

Строка таблицы СП 131.13330.2025 для Нижнего Новгорода: пятидневка 0,92 — минус 26 °C; период ≤ 8 °C — 205 сут при средней минус 3,2 °C. Чем теплее редакция климата, тем ниже потери: переход с 2012 к 2025 году снижает расчётную мощность на 10 %. Внутренняя температура +20 °C принята как минимальная оптимальная по ГОСТ 30494 для жилых комнат.

1.2 Геометрия по чертежам

Величина	Значение	Пояснение
Габариты в плане (наружные)	12,00 × 10,86 м	Конёк вдоль длинной стороны; свесы 1221 мм (карнизные) и 1620 мм (фронтонные) расположены вне контура и теплопотерь не создают
Высота стены до плоскости кровли	3,31 м	Совпадает с суммой 2124 + 210 + 424 + 210 + 339 из ведомости остекления
Угол ската	19,8°	Из длины ската 7069 мм и свесов; подтверждён стеклопакетами (738 мм на 2047 мм). Высота фронтонного треугольника 1,95 м
Внутренние размеры, отапливаемая площадь	11,58 × 10,44 м; 120,9 м²	Толщина стены 210 мм; размер 10,44 м совпадает с планом
Отапливаемый объём	514 м³	Потолка нет, средняя высота 4,25 м (СП 50: объём по внутренним поверхностям)
Остекление СТ / окна ПВХ / дверь	49,20 / 8,40 / 2,10 м²	18 стеклопакетов, 5 окон 800×2100, дверь 1000×2100; всего 59,7 м² — 35 % площади стен брутто (172,6 м²)
Утеплённая кровля, брутто стен	138,5 м²	Фронтон 46,56 м², карнизная стена 39,72 м², два ската без свесов (со свесами ≈ 215 м²)

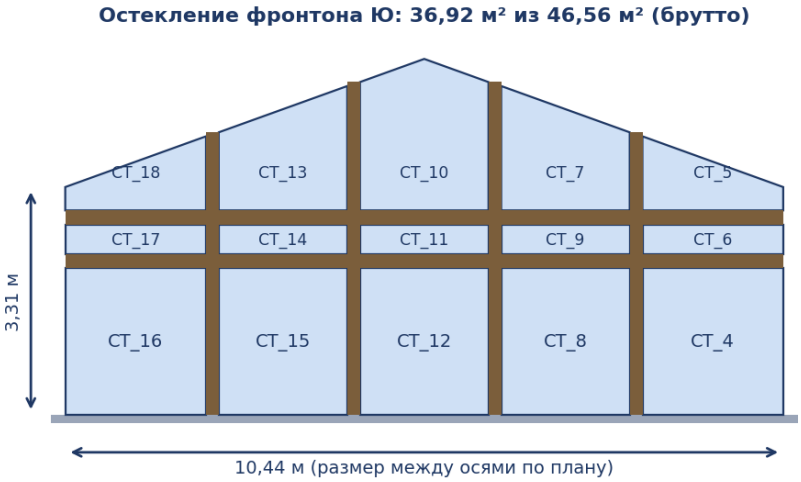


Рис. 1. Фронтон с остеклением (по ведомости чертежа, размеры в масштабе).

1.3 Материалы и допущения

Материал / параметр	Значение	Источник	Статус
Каменная вата Технониколь Техноблок, λ	0,043 Вт/(м·°C)	Задание	принято по заданию
LOGICPIR ТЕХНОНИКОЛЬ, λ	0,024 Вт/(м·°C)	Задание	принято по заданию
XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO, λ (пол)	0,034 Вт/(м·°C)	Принято с запасом; λ_А/λ_Б по техническому листу CARBON ECO	принято по заданию
Древесина поперёк волокон, λ	0,18 Вт/(м·°C)	Справочное значение (прил. М СП 50.13330)	
R стеклопакетов СТ / окон ПВХ / двери	1,3 / 1,0 / 1,0	Задание (1,3 и 1,0); для окон ПВХ с рамой принято 1,0	подтвердить паспортами
Доля дерева: стена 20 % / кровля 12 %	0,20 / 0,12	Оценка по фасадам: колонны 250 мм, ригели 210 мм, стойки панелей	ключевое допущение
Глубина стоек фронтона Ю	185 мм	Ширина по чертежам, глубина принята равной	допущение
Добавка на узлы и мостики	5 % от Q стен и кровли	Заменитель Σψ·L и Σχ·n (прил. Г); узел цоколя — отдельно, см. раздел 6	допущение
Воздухообмен	0,35·V, ≥ 30 м³/ч на чел.	СП 50.13330.2024, прил. Б.3б (заселённость 30,2 м²/чел ≥ 20)	норматив
Площадь жилых помещений А_ж	85 м²	Оценка по плану (спальни, гостиная-кухня)	уточнить по проекту

Не входят в тепловой контур и в расчёте не учтены (идёт в запас): гипсокартон с подсистемой, диффузионная мембрана и наружная отделка стены, стяжка с тёплым полом и чистовой пол, а также слои кровли за вентилируемым зазором (ОСП, подкладочный ковёр, мягкая черепица).



Рис. 2. Конструкции по чертежам: закрашенные слои учтены в расчёте, штриховка — не входит в комплект контура.

2. Порядок расчёта и используемые формулы



Рис. 3. Последовательность расчёта: результаты теплотехнического расчёта (3) используются в теплопотерях (4) и в классе (5).

№	Формула	Смысл и обозначения	Источник
F1	ГСОП = (t_в − t_от)·z_от	градусо-сутки отопительного периода; t_в = 20 °C	СП 50.2024, (5.2)
F2	R_req = a·ГСОП + b	нормируемое сопротивление теплопередаче; m_р = 1	СП 50.2024, (5.1), табл. 3
F3	R_door ≥ 0,6·(t_в − t_н)/(Δt_н·α_в)	входная дверь (непрозрачная)	СП 50.2024, (5.4)
F4	R = δ/λ; R₀ = 1/α_в + ΣR + 1/α_н	сопротивление слоя и условное сопротивление конструкции	СП 50.2024, (Г.6), (Г.7)
F5	R_пр = 1/(Σa_i/R_i + Σψ·l + Σχ·n)	приведённое сопротивление; доли площадей a_i; мостики ψ, χ	СП 50.2024, (Г.1)
F6	R_con = (R_a + 2R_b)/3	консервативная оценка неоднородного слоя (R_a — параллельные пути, R_b — последовательные)	СП 23-101, п. 9
F7	R_пол = ΣA / Σ(A_i/R_i); R_i = R_гр,i + δ/λ	пол по грунту, зоны шириной 2 м; R_гр = 2,1 / 3,8 / 5,2 / 7,7	СП 50.2024, (Г.15), (Г.16), табл. Г.3
F8	τ = t_в − (t_в − t_н)/(R₀·α_в)	температура внутренней поверхности; сравнивается с точкой росы (φ = 55 %) и 3 °C для остекления	СП 50.2024, п. 5.7
F9	Q = A/R₀·Δt	теплопотери через ограждение; Δt = t_в − t_н	СП 60.13330.2020, прил. А
F10	Q_в = 0,28·L·ρ·c·Δt·(1 − η)	вентиляционные потери; ρ = 353/(273 + t_н); c = 1,005 кДж/(кг·°C)	СП 60.2020; СП 50.2024, (Б.3)
F11	k_об = Σ(A/R_пр)/V_от	удельная теплозащитная характеристика; площади по внутреннему обмеру	СП 50.2024, (Д.1)
F12	k_вент = 0,28·c·L·ρ·n_вент·(1 − k_эф)/(168·V_от)	удельная вентиляционная; ρ при t_от; L = 0,35·V (Б.3б)	СП 50.2024, (Б.3), (Б.4)
F13	q_р = k_об + k_вент − β·(k_быт + k_рад)	расчётная удельная характеристика; β = K_рег/(1 + 0,5·n_в)	СП 50.2024, (Б.1), (Б.2)
F14	δ = (q_р/q_тр − 1)·100 %	отклонение от нормируемого; q_тр — табл. 14; класс — по шкале δ	СП 50.2024, (10.1), табл. 14

3. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций

3.1 Нормируемые значения R_req

Поэлементное требование: приведённое сопротивление теплопередаче R_0 ограждения не должно быть ниже нормируемого R_req, которое для здания жилого назначения зависит от ГСОП (табл. 3 СП 50.13330.2024, графы для стен, покрытий, полов по грунту и светопрозрачных конструкций). Коэффициент m_p принят 1, то есть не использована предусмотренная нормой возможность снижения требований при выполнении требования к удельному расходу q (оно здесь выполнено с запасом). Для окон норма задаёт значения таблицей (0,63 при 4000 и 0,73 при 6000 °С·сут) и ГСОП 4756 попадает между ними, поэтому применена линейная интерполяция.

Конструкция	Формула	Подстановка	R_req, м²·°С/Вт
Стены	0,00035·ГСОП + 1,4	0,00035·4756 + 1,4	3,065
Покрытие (скатная кровля)	0,0005·ГСОП + 2,2	0,0005·4756 + 2,2	4,578
Пол по грунту	0,00045·ГСОП + 1,9	0,00045·4756 + 1,9	4,040
Окна и светопрозрачные конструкции	интерполяция табл. 3 по ГСОП	0,63 + (0,73 − 0,63)·(4756 − 4000)/2000	0,668
Входная дверь (непрозрачная)	0,6·(t_в − t_н)/(Δt_н·α_в)	0,6·46/(4,0·8,7)	0,793

Если входная дверь входит в состав светопрозрачного фасада, требование к ней равно требованию для светопрозрачных конструкций (0,668). Принятое по заданию R = 1,0 выполняет оба варианта.

3.2 Наружная стена (панельная часть)

Стена состоит из плиты LOGICPIR ТЕХНОНИКОЛЬ (сплошной слой, швы проклеены), каменной ваты между стойками и деревянных включений (стойки панелей, колонны, ригели), на которые принята доля 20 % площади. Дерево имеет теплопроводность в четыре раза выше ваты и «закорачивает» утеплитель, поэтому расчёт ведётся для неоднородного слоя. Сопротивления теплообмена: R_si = 1/α_в = 1/8,7 (табл. 4) и R_se = 1/α_н = 1/23 (табл. 6).

Слой (изнутри наружу)	δ, мм	λ	R = δ/λ
Внутренняя поверхность R_si (α_в = 8,7)	—	—	0,115
Плита LOGICPIR ТЕХНОНИКОЛЬ	50	0,024	2,083
Каменная вата Технoблок между стойками	100	0,043	2,326
Древесина (стойки, колонны, ригели) на ту же толщину	100	0,18	0,556
Наружная поверхность R_se (α_н = 23)	—	—	0,043

Показатель	Формула	Значение
Сечение по вате R_1	R_LOGICPIR + R_вата	4,409
Сечение по дереву R_2	R_LOGICPIR + R_дерево	2,639
Параллельные пути R_a	1/((1 − f)/R_1 + f/R_2), f = 0,20	3,887
Последовательные плоскости R_b	R_LOGICPIR + δ/((1 − f)λ_в + fλ_д)	3,504
Отношение R_a/R_b	≤ 1,25 — метод применим	1,109
R_0 = R_si + (R_a + 2R_b)/3 + R_se	принято для проверки	**3,790**
R_req	0,00035·ГСОП + 1,4	3,065
Минимальная толщина ваты при LOGICPIR 50 мм	R_0 ≥ R_req	55 мм
Минимальная толщина LOGICPIR при вате 100 мм	R_0 ≥ R_req	35 мм
Предельная доля дерева	R_0 = R_req	66 %

Вывод: стена **проходит** (R_0 = 3,79 при требуемом 3,06, запас 24 %). Заданных 100 мм ваты и 50 мм LOGICPIR достаточно: минимум по норме — 55 мм ваты при LOGICPIR 50 мм либо 35 мм LOGICPIR при вате 100 мм. Конструкция сохраняет соответствие норме при доле древесины до 66 %.

Три способа определения R стены

Способ	R_0, м²·°C/Вт	Комментарий
Однородный слой (без дерева)	4,567	Верхняя граница; для сравнения
Прил. Г, (Г.1): плоские элементы, параллельные пути с поверхностями	4,054	Без учёта линейных потерь ψ; верхняя граница для данной неоднородности
Принято: (R_a + 2R_b)/3	**3,790**	Консервативный инженерный метод, используется во всех расчётах
Двумерное тепловое поле (сетка 1,25 мм)	3,987	Численное решение уравнения теплопроводности для ячейки 0,6 м с учётом растекания тепла
Последовательные плоскости R_b (нижняя граница)	3,662	Нижняя граница

Принятое значение лежит между нижней границей и двумерным результатом (3,79 ≤ 3,99 ≤ 4,05), то есть метод осторожен: двумерное моделирование даёт значение выше на 5,2 %.

3.3 Скатная кровля

Утеплитель: вата 200 мм между стропилами (доля 12 %) и сплошной слой ваты 50 мм поверх стропил. Слои за вентилируемым зазором (контробрешётка, обрешётка, ОСП, подкладочный ковёр, мягкая черепица) в расчёте не учитываются, наружная поверхность принимается с $\alpha_н = 12$ (табл. 6, строка 3, ограждения с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом), то есть $R_{se} = 1/12$.

Показатель	Формула	Значение
R слоя ваты 200 мм / 50 мм	δ/λ	4,651 / 1,163
R стропил на 200 мм	δ/λ_д	1,111
R_a (параллельные пути)	1/((1 − f)/(R_ут + R_кр) + f/(R_стр + R_кр)), f = 0,12	4,899
R_b (последовательные)	δ/((1 − f)λ_в + fλ_д) + R_кр	4,528
R_0 = R_si + (R_a + 2R_b)/3 + R_se	R_si = 0,115; R_se = 0,083	**4,850**
R_req	0,0005·ГСОП + 2,2	4,578
Минимальная толщина ваты между стропилами при 50 мм сверху	$R_0 \geq$ R_req	184 мм
Толщина для запаса 10 %	$R_0 \geq 1{,}1 \cdot$R_req	215 мм
Предельная доля стропил	R_0 = R_req	16,0 %
2D-проверка (сетка 1,25 мм) / параллельные пути (Г.1)	для контроля	5,005 / 5,131

Вывод: кровля **проходит** (R_0 = 4,85 при 4,58, запас 5,9 %). Расчётный минимум ваты между стропилами 184 мм при заданных 200 мм: запас по толщине около 16 мм (9 %), по сопротивлению 5,9 %. Двумерное моделирование даёт R_0 = 5,01, что на 3 % выше, поэтому фактическое соответствие надёжнее, чем показывает консервативный метод. Для запаса не менее 10 % по принятому методу рекомендуется 215 мм ваты между стропилами или более толстый перекрёстный слой.

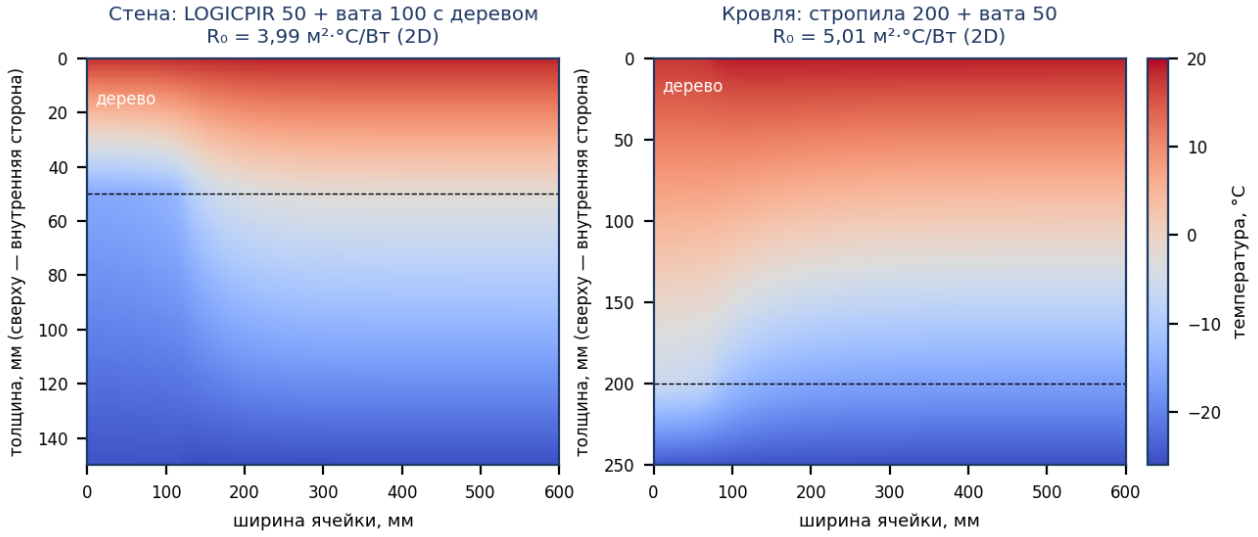


Рис. 4. Двумерные температурные поля фрагментов стены и кровли (наружный воздух −26 °C, внутренний +20 °C). Слева на каждом поле — деревянный элемент: через него идёт больший поток тепла.

3.4 Пол по плите

Приведённое сопротивление пола по грунту определяется методом зон шириной 2 м вдоль наружных стен (прил. Г.7, формулы Г.15, Г.16, табл. Г.3). Для утеплённого пола к базовому сопротивлению зоны добавляется δ/λ слоя XPS. Теплопроводность грунта принята базовой (1,6 Вт/(м·°С)), поэтому множитель λ_гр/1,6 равен единице.

Зона	Ширина от наружной стены	A, м²	R грунта (табл. Г.3)	R = R_гр + δ/λ
I	0–2 м	72,08	2,1	5,041
II	2–4 м	40,08	3,8	6,741
III	4–6 м	8,74	5,2	8,141
IV	более 6 м	0,00	7,7	10,641

Пол по плите: зоны шириной 2 м от внутренней поверхности наружных стен (XPS 100 мм по всей площади)

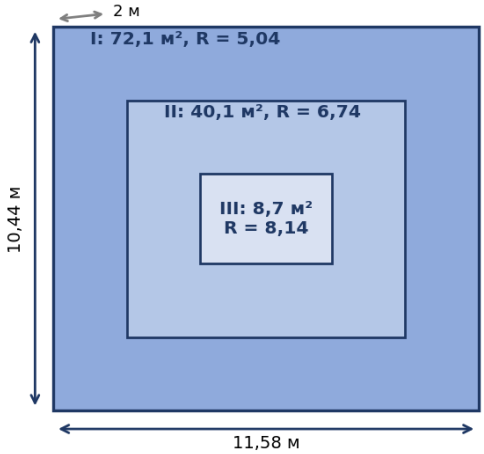


Рис. 5. Зоны пола по грунту.

R XPS 100 мм = 0,100/0,034 = 2,941. Эквивалентное сопротивление пола R = ΣA/Σ(A/R) = **5,67** при требуемом 4,04 (запас 40 %): пол **проходит**. Минимальная толщина XPS по норме — **50 мм**; при 50 мм R = 4,15 и норма не выполняется, поэтому принято 100 мм. Узел цоколя (линейные потери в стыке пола и стены, формула Г.15) в основной расчёт включён только общей добавкой 5 %; его влияние оценено в разделе 6.

3.5 Светопрозрачные конструкции и дверь

Сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций в проекте принимается по результатам испытаний изделия или по СП 345.1325800.2017 (п. 11.4); значения приняты по заданию. Для безрамных стеклопакетов с тёплой рамкой R = 1,3 (U = 0,77 Вт/(м²·°С)) применено ко всей площади панели. Для окон ПВХ принято 1,0: стекло R = 1,3 и рама R ≈ 0,7 при доле рамы около 30 % дают U = 0,7/1,3 + 0,3/0,7 ≈ 0,97 Вт/(м²·°С), то есть R ≈ 1,0. Значение 1,3 оптимистично для двухкамерного пакета 4М1-Н14-4М1-Н14-4М1, поэтому в разделе 6 показан результат при 0,8.

Конструкция	R_0	$U = 1/R_0$	R_req	Итог
Стеклопакеты СТ	1,30	0,769	0,668	**проходит**
Окна ПВХ	1,00	1,000	0,668	**проходит**
Входная дверь	1,00	1,000	0,793	**проходит**

3.6 Санитарно-гигиенические требования

Проверка	Расчёт	Норма	Итог
Стена: $R_0 \geq R_{min} = \Delta t/(\Delta t_н \cdot \alpha_в)$	3,79 ≥ 1,32	$\Delta t_н$ = 4 °C	**проходит**
Кровля: $R_0 \geq R_{min}$	4,85 ≥ 1,76	$\Delta t_н$ = 3 °C	**проходит**
Пол: $R_{экв} \geq R_{min}$	5,67 ≥ 2,64	$\Delta t_н$ = 2 °C	**проходит**
Стойки фронтона: τ выше точки росы	τ = 20 − 46/(1,19·8,7) = 15,5 °C	точка росы 10,7 °C (55 %)	**проходит**
Остекление (центр): τ ≥ 3 °C	τ = 20 − 46/(1,3·8,0) = 15,6 °C	≥ 3 °C; у кромки — по температурному полю	**проходит**
Доля остекления для требования ΔT ≤ 8 °C	35 % площади стен	требование при > 50 %	**не применяется**

Для кромки стеклопакетов и мест примыкания остекления к деревянным колоннам норма (п. 5.7) требует температуру не ниже 3 °C на всей поверхности остекления; она определяется расчётом температурного поля узла и не выполнялась (см. раздел 8).

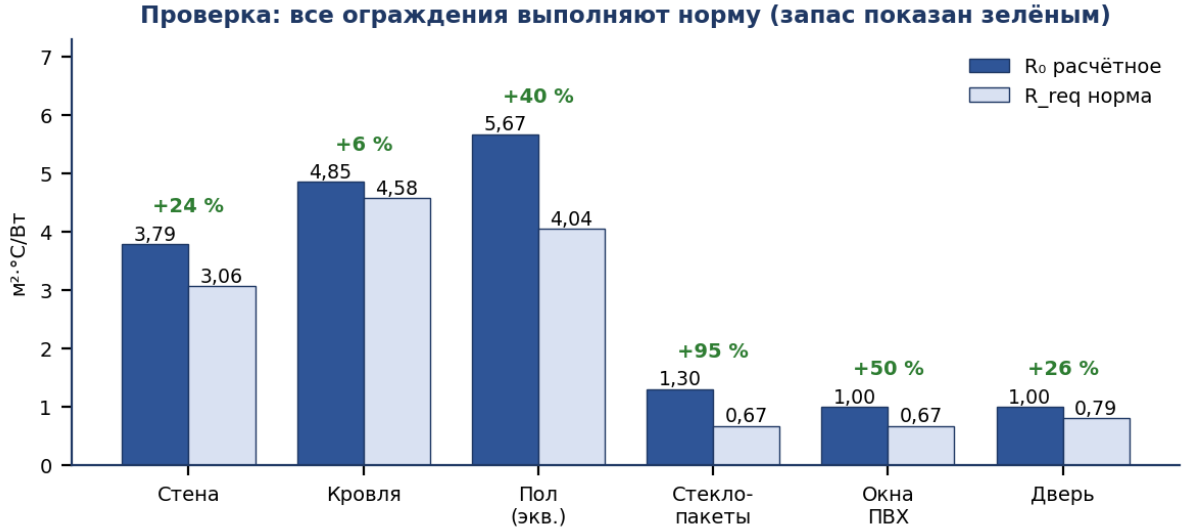


Рис. 6. Сопоставление расчётных и нормируемых сопротивлений теплопередаче.

4. Расчёт теплопотерь

4.1 Метод

Расчётные потери тепла через каждое ограждение: $Q = A/R_0 \cdot \Delta t$, где $\Delta t = 20 - (-26) = 46$ °C. Площади приняты по наружным размерам здания, что даёт небольшой запас (при обмере по внутренним поверхностям потери через ограждения меньше примерно на 4 %, суммарные — на 2,6 %); площади светопрозрачных элементов — по ведомости остекления. Добавки на ориентацию по сторонам света не применяются: в формулах приложения А СП 60.13330.2020 в редакции с изменениями они отсутствуют, а влияние теплотехнических неоднородностей учитывается через линейные ψ и точечные χ потери. Поскольку ψ и χ для узлов проекта неизвестны, использована общая добавка 5 % к потерям стен и кровли. Потери пола считаются по зонам грунта.

4.2 Площади ограждений

Фасад	Брутто, м²	Остекление и двери, м²	Глухая часть, м²	Состав остекления
Ю (фронтон)	46,56	36,92	9,64	CT_4…CT_18 (15 шт.); глухая часть — деревянные стойки и ригели
С (фронтон)	46,56	10,00	36,56	CT_1, CT_2, окно 800×2100
В (карниз)	39,72	5,46	34,26	2 окна 800×2100, входная дверь 1000×2100
З (карниз)	39,72	7,33	32,39	CT_3, 2 окна 800×2100
Итого стены	**172,56**	**59,70**	**112,86**	

4.3 Теплопотери по элементам

Ограждение	A, м²	R₀	U	Q, Вт	Доля
Фронтон Ю: стойки и ригели между стёклами	9,64	1,19	0,843	374	3,9 %
Фронтон С: глухая стена	36,56	3,79	0,264	444	4,6 %
Стена В (карниз): глухая часть	34,26	3,79	0,264	416	4,3 %
Стена З (карниз): глухая часть	32,39	3,79	0,264	393	4,1 %
Стеклопакеты СТ, фронтон Ю	36,92	1,30	0,769	1306	13,6 %
Стеклопакеты СТ, фронтон С	8,32	1,30	0,769	294	3,1 %
Стеклопакеты СТ, стена З	3,97	1,30	0,769	140	1,5 %
Окна ПВХ, фронтон С	1,68	1,00	1,000	77	0,8 %
Окна ПВХ, стена В	3,36	1,00	1,000	155	1,6 %
Окна ПВХ, стена З	3,36	1,00	1,000	155	1,6 %
Входная дверь, стена В	2,10	1,00	1,000	97	1,0 %
Кровля скатная утеплённая	138,51	4,85	0,206	1314	13,7 %
Пол по плите, зона I	72,08	5,04	0,198	658	6,8 %
Пол по плите, зона II	40,08	6,74	0,148	273	2,8 %
Пол по плите, зона III	8,74	8,14	0,123	49	0,5 %
Пол по плите, зона IV	0,00	10,64	0,094	0	0,0 %
Добавка на узлы и мостики холода (5 %)				147	1,5 %
Итого через ограждения Q_тр				**6292**	65,4 %

4.4 Вентиляция

Принята естественная приточно-вытяжная вентиляция. По СП 50.13330.2024 (прил. Б.36) воздухообмен для жилых зданий с заселённостью не менее 20 м² на человека равен 0,35·h_эт·A_об, но не менее 30 м³/ч на человека. Для открытого помещения под кровлей h_эт принято как средняя высота V/A, поэтому 0,35·V. Плотность воздуха определена при расчётной температуре −26 °C. Инфильтрация отдельно не прибавляется: при естественной вентиляции жилого дома она входит в нормативный воздухообмен, а формула Б.6 относится к лестничным клеткам.

Величина	Формула	Значение
Воздухообмен по кратности	L_n = 0,35·V = 0,35·514	179,8 м³/ч
Минимум по жильцам	L_p = 4 чел · 30 м³/ч	120,0 м³/ч
Принятый воздухообмен	L = max(L_n; L_p)	179,8 м³/ч
Плотность наружного воздуха	ρ = 353/(273 + t_н)	1,429 кг/м³
Вентиляционные потери	Q_в = 0,28·179,8·1,429·1,005·46·(1 − 0)	**3327 Вт**

4.5 Итог и мощность источника тепла

Показатель	База (0,35·V)	Консервативно (3·A_ж)
Через ограждения Q_тр	6292 Вт	6292 Вт
Вентиляция Q_в	3327 Вт	4717 Вт
Суммарные теплопотери Q	**9619 Вт = 9,62 кВт**	**11010 Вт = 11,01 кВт**
Удельные потери на 1 м² отапливаемой площади	79,6 Вт/м²	91,1 Вт/м²
Мощность источника с запасом 15 % (без ГВС)	**11,06 кВт → не менее 11,1 кВт**	**12,66 кВт → не менее 12,7 кВт**

Базовый вариант соответствует нормативной формуле СП 50.13330.2024; консервативный (3 м³/ч на 1 м² жилых помещений, A_ж ≈ 85 м²) предназначен для подбора оборудования «с запасом по вентиляции». При подборе теплового насоса мощность определяется по температуре бивалентности и кривой производительности, а не только по этой величине. К мощности следует добавить нагрузку ГВС, если она подключена к тому же источнику.

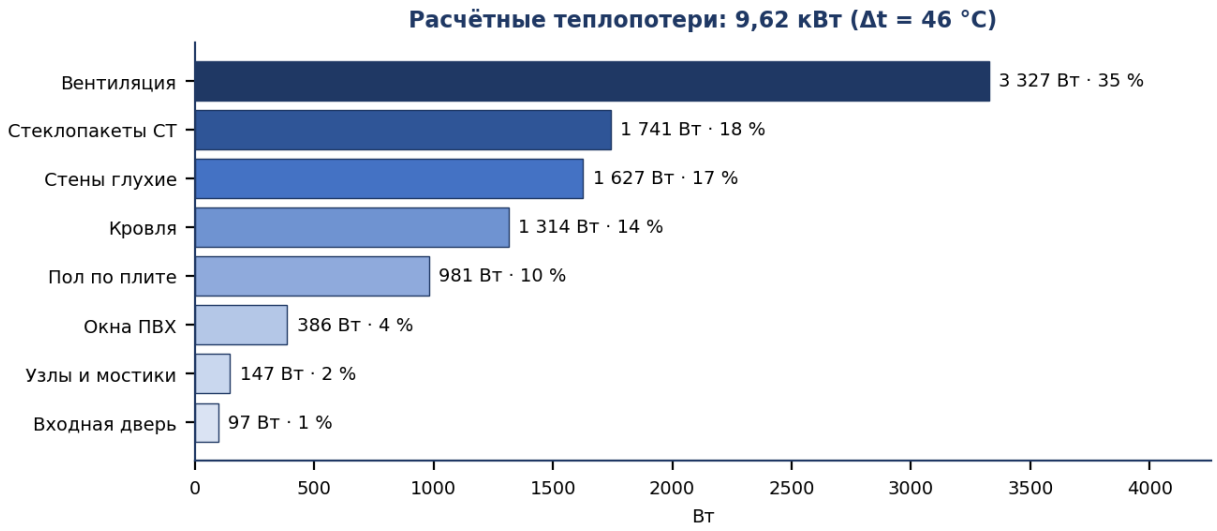


Рис. 7. Структура расчётных теплопотерь (база).

5. Класс энергетической эффективности

Класс определяется по отклонению расчётной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию $q_{от}^{р}$ от нормируемой $q_{от}^{тр}$ (прил. Б, табл. 14 СП 50.13330.2024). В действующей редакции СП 50.13330.2024 таблицы классов нет: нормируются q и энергетический паспорт (прил. В, строка 27) без шкалы. Поэтому класс присвоен по шкале СП 50.13330.2012 (табл. 15), которая сохраняется в практике. Для индивидуального жилого дома присвоение класса обязательным не является, результат ориентировочный.

B+

Класс «Высокий»

δ = −37,2 %: $q_{от}^{р}$ = 0,309 при $q_{от}^{тр}$ = 0,491 Вт/(м³·°C). Солнечные поступления в базе не учтены.

Показатель	Формула	Подстановка	Значение
Площади по внутреннему обмеру	A/R_пр для каждого фрагмента, n_t = 1	Σ A/R_пр = 131,3 Вт/°C (с узлами 5 %)	131,3 Вт/°C
Удельная теплозащитная k_об	Σ(A/R_пр)/V_от (Д.1)	131,3/514	0,2556
Нормируемая $k_{об}^{тр}$	4,74/(∛V·(0,00013·ГСОП + 0,61)) при V ≤ 960 (5.5)	4,74/(8,009·(0,00013·4756 + 0,61))	0,4818
Воздухообмен L_вент (заселённость 30,2 м²/чел ≥ 20)	0,35·V при ≥ 20 м²/чел (Б.3б)	0,35·514	179,8 м³/ч
Плотность воздуха при t_от	ρ = 353/(273 + t_от) (Б.4)	353/(273 + (−3,2))	1,308 кг/м³
Удельная вентиляционная k_вент	0,28·c·L·ρ·n_вент/(168·V_от), c = 1, n_вент = 168	0,28·179,8·1,308/514	0,1282
Кратность воздухообмена n_в	L/(β_v·V_от), β_v = 0,85 (Б.5)	179,8/(0,85·514)	0,412 ч⁻¹
Коэффициент β_КПИ	K_рег/(1 + 0,5·n_в), K_рег = 0,9 (Б.2)	0,9/(1 + 0,5·0,412)	0,746
Бытовые тепловыделения q_быт	интерполяция 17 → 10 Вт/м² по заселённости 20 → 45 м²/чел (Б.5)	17 − 7·(30,2 − 20)/25	14,14 Вт/м²
Удельная k_быт	q_быт·A_ж/(V_от·(t_в − t_от)) (Б.7)	14,14·85/(514·23,2)	0,1008
Солнечные поступления k_рад	11,6·Q_рад/(V_от·ГСОП) (Б.9)	не учтены (консервативно)	0,0000
Расчётная $q_{от}^{р}$	k_об + k_вент − β·(k_быт + k_рад)	0,2556 + 0,1282 − 0,746·0,1008	**0,3085**
Нормируемая $q_{от}^{тр}$	табл. 14, 1 этаж, линейная интерполяция	площадь здания 120,9 м²	0,4911
Отклонение δ	(q_р/q_тр − 1)·100	(0,3085/0,4911 − 1)·100	**−37,2 %**
Удельный расход за период	q·0,024·ГСОП (Б.10, Б.11)	0,3085·0,024·4756	35,2 кВт·ч/м³; 150 кВт·ч/м²; 18093 кВт·ч/год

Показатель 150 кВт·ч/(м²·год) высок из-за большой высоты открытого объёма под кровлей (h = 4,25 м); на единицу объёма расход 35,2 кВт·ч/(м³·год). Для строгой оценки годового потребления потери через пол по грунту продолжаются круглый год, а Б.12 использует только отопительный период (прил. Г.7 требует среднегодовую температуру для конструкций в грунте).

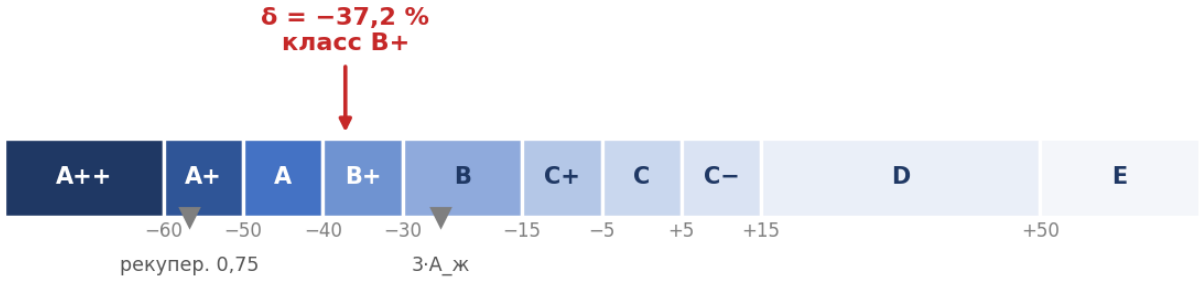


Рис. 8. Положение дома на шкале классов (шкала СП 50.13330.2012, табл. 15); серые маркеры — сценарии с изменённой вентиляцией.

Устойчивость класса к допущениям

Сценарий	q_р	δ, %	Класс
База: 0,35·V, без рекуперации, K_рег 0,9, без солнца	0,3085	−37,2	B+
K_рег = 0,8 (термостаты без авторегулирования на вводе)	0,3169	−35,5	B+
K_рег = 0,95	0,3044	−38,0	B+
K_рег = 0,6 (худший вариант системы)	0,3336	−32,1	B+
Воздухообмен 3·А_ж (255 м³/ч)	0,3672	−25,2	B
Рекуператор с КПД 0,75	0,2124	−56,8	A+
3·А_ж и рекуператор 0,75	0,2308	−53,0	A+
Солнечные поступления k_рад = 0,0186 (порог класса А)	0,2947	−40,0	A

Класс B+ сохраняется при любом допустимом K_рег и при консервативном воздухообмене остаётся «Высоким» (В). Для класса А нужны солнечные поступления Q_рад ≈ 3918 МДж/год; при остеклённом фронтоне ≈ 37 м² это вероятно достижимо, но значение следует рассчитать по СП 345.1325800 (раздел 10) с учётом реальной ориентации дома. Приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией (η = 0,75) переводит дом в класс А+.

6. Чувствительность результата к допущениям

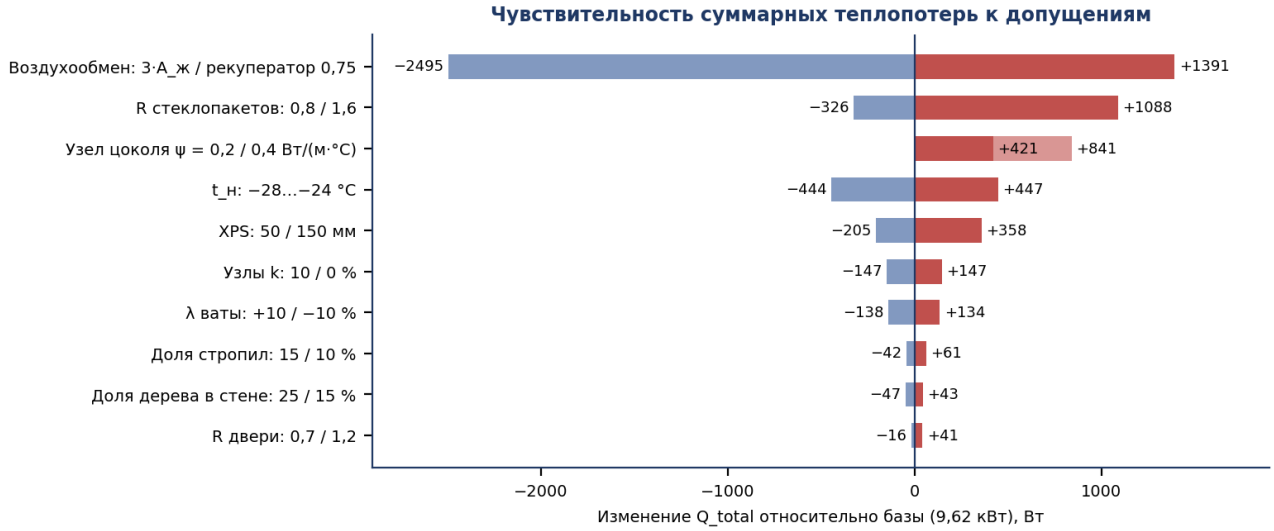


Рис. 9. Изменение суммарных теплопотерь при вариации допущений (синий — снижение, красный — рост).

R стекло-пакетов	Q, кВт	Вт/м²	Δ, кВт
1,30	9,62	80	0,00
1,10	9,94	82	0,32
0,90	10,39	86	0,77
0,80	10,71	89	1,09
0,70	11,11	92	1,49

Толщина XPS, мм	R экв. пола	Q, кВт	Норма
50	4,15	9,98	да
80	5,07	9,74	да
100	5,67	9,62	да
120	6,27	9,52	да
150	7,17	9,41	да

КПД рекуперации	Q_в, Вт	Q, кВт	Вт/м²
0,00	3327	9,62	80
0,50	1663	7,96	66
0,70	998	7,29	60
0,80	665	6,96	58

Наибольшее влияние оказывают воздухообмен и R стеклопакетов. Узел цоколя (стык неутеплённого цоколя с плитой и стеной, формула Г.15) пока не определён: при линейных потерях ψ = 0,2–0,4 Вт/(м·°C) на периметре 45,7 м добавка составит 0,42–0,84 кВт, что необходимо уточнить расчётом температурного поля узла или по СП 230.1325800.

8. Ограничения и допущения

• Размеры считаны с чертежей, обмеры на объекте не выполнялись; ориентация дома не задана и в расчёте теплопотерь не используется (в классе энергоэффективности солнечные поступления не учтены).

• Доли древесины (стена 20 %, кровля 12 %) и глубина стоек фронтона (185 мм) — оценки; LOGICPIR принят сплошным слоем, проходящим по колоннам. При другой компоновке R_0 изменится: предельные доли указаны в разделах 3.2 и 3.3.

• R стеклопакетов (1,3), окон ПВХ (1,0) и двери (1,0) приняты по заданию без паспортов; приведённое сопротивление светопрозрачных фасадов определяется испытаниями или по СП 345.1325800.2017.

• Мостики холода учтены общей добавкой 5 % и не заменяют расчёт ψ и χ по СП 230.1325800 или температурных полей. Особого внимания требуют узел цоколя (потери до 0,42–0,84 кВт), кромка стеклопакетов у колонн (п. 5.7: не ниже 3 °С) и примыкания кровли.

• Принят метод оценки неоднородных слоёв (R_a + 2R_b)/3; двумерная модель показывает запас 5 % по стене и 3 % по кровле. Для итогового проектного документа рекомендуется расчёт температурных полей узлов по прил. Г СП 50.13330.2024.

• Класс присвоен по шкале СП 50.13330.2012, так как в СП 50.13330.2024 шкала не приведена; для индивидуального дома присвоение класса не обязательно. K_рег = 0,9, A_ж = 85 м² и n_вент = 168 ч/нед приняты как допущения; k_рад не учтён.

• Не учтены теплопоступления в расчёте теплопотерь, повышенная температура в санузлах, ГВС, прерывистый режим и потери трубопроводов.

• Расчёт предварительный, не заменяет проектную документацию и энергетический паспорт; значения материалов и изделий подлежат подтверждению паспортами.

Обозначения

Обозначение	Смысл	Обозначение	Смысл
t_в, t_н	внутренняя и расчётная наружная температуры (пятидневка 0,92)	α_в, α_н	коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей
t_от, z_от	средняя температура и длительность периода ≤ 8 °С	R_si, R_se	1/α_в, 1/α_н — сопротивления теплообмену поверхностей
ГСОП	градусо-сутки отопительного периода	δ, λ, R	толщина, теплопроводность, термическое сопротивление слоя
R_req	нормируемое сопротивление теплопередаче	R_0, R_пр	приведённое сопротивление теплопередаче конструкции
f	доля деревянных включений в слое утеплителя	ψ, χ	удельные потери через линейные и точечные неоднородности
k_об, k_вент	удельные теплозащитная и вентиляционная характеристики	k_быт, k_рад	удельные характеристики бытовых и солнечных теплопоступлений
β_КПИ	коэффициент полезного использования теплопоступлений	$q_{от}^{р}$, $q_{от}^{тр}$	расчётная и нормируемая удельные характеристики расхода