

**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНСТРОЙ РОССИИ)**

**федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук»
(НИИСФ РААСН)**

Research Institute of Building Physics
Russian Academy of Architecture and Construction Science (NIISF RAACS)



УТВЕРЖДАЮ
Директор НИИСФ РААСН


Шубин И.Л.
« » 2020 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

по теме:

**Определение теплотехнических характеристик кладки из блоков
автоклавного газобетона YTONG марки D400**

Договор № 12380(2019) от «23» декабря 2020 г.

Рук.сектора испытаний теплофизических
характеристик строительных материалов,
вед.науч.сотр. лаб. строит. теплофизики, к.т.н.



П.П. Пастушков

Москва, 2020 г.

В рамках договора № 12380(2019) от «23» декабря 2019 года с ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр» в секторе испытаний теплофизических характеристик строительных материалов лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН был проведен комплекс исследований по определению сопротивления теплопередаче кладки из блоков автоклавного газобетона YTONG марки по плотности D400, а также эффективной теплопроводности материала в кладке в сухом состоянии и при эксплуатационной влажности.

Газобетонные блоки YTONG D400 размерами 200x250x625 мм были доставлены в сектор испытаний в заводской упаковке. Монтаж кладки был осуществлен на следующий день после доставки блоков – 26 мая 2020 г. Перед монтажом блоки специально не высушивались. Таким образом была смоделирован случай, когда блоки в состоянии отпускной влажности смонтированы в кладку непосредственно перед или в холодный период года.

Кладка была возведена перед проемом климатической камеры ПКА КТК 3000, сопряжение кладки и проема камеры было тщательно заделано эффективными утеплителями и монтажной пеной (рис. 1). В лабораторном помещении, где установлена камера, поддерживалась положительная температура, характерная для жилого помещения. Данное техническое решение позволило смоделировать условия наиболее холодного периода эксплуатации строительного материала в умеренной климатической зоне РФ при установившемся стационарном тепловом режиме фрагмента стены. С обеих сторон кладки симметрично продольной оси были установлены датчики температуры на поверхности и температуры воздуха (всего 20 шт.) и теплового потока (20 шт.) – рис. 2-4. Для проведения испытаний были использованы измерители плотности теплового потока и температуры ИТПМГ4.03/Х(1) «ПОТОК» (свидетельство о поверке №411/2020, выдано 14.01.2020 г., действительно до 13.01.2021 г.). Схема установки датчиков представлена на рис. 5. Датчики модулей 1340А и 1342А располагались на наружной стороне, модулей 1802А и 1802В – внутри камеры.



Рис. 1 Процесс монтажа кладки перед проемом климатической камеры

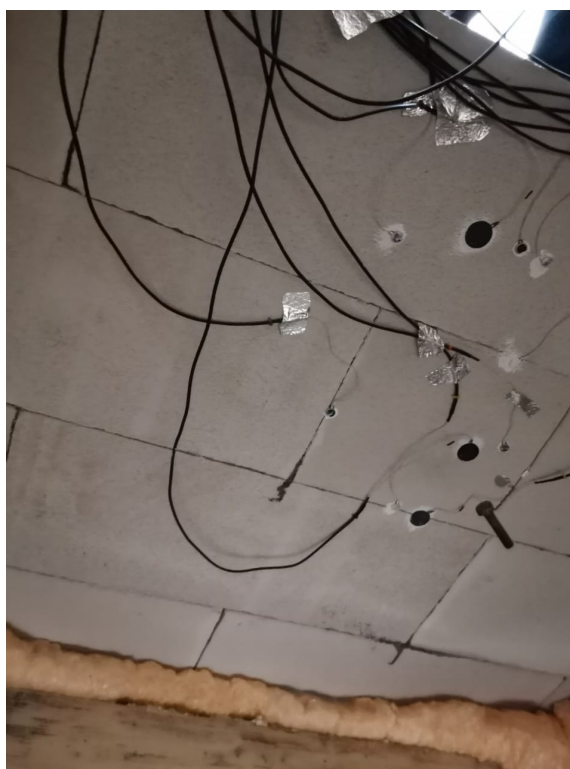


Рис. 2 Установка датчиков на поверхности кладки, обращенной в пространство климатической камеры (с «холодной» стороны)



Рис. 3 Смонтированная кладка перед установкой датчиков с внешней стороны



Рис. 4 Поверхность кладки, обращенная в лабораторное помещение, с установленными датчиками (с «теплой» стороны)

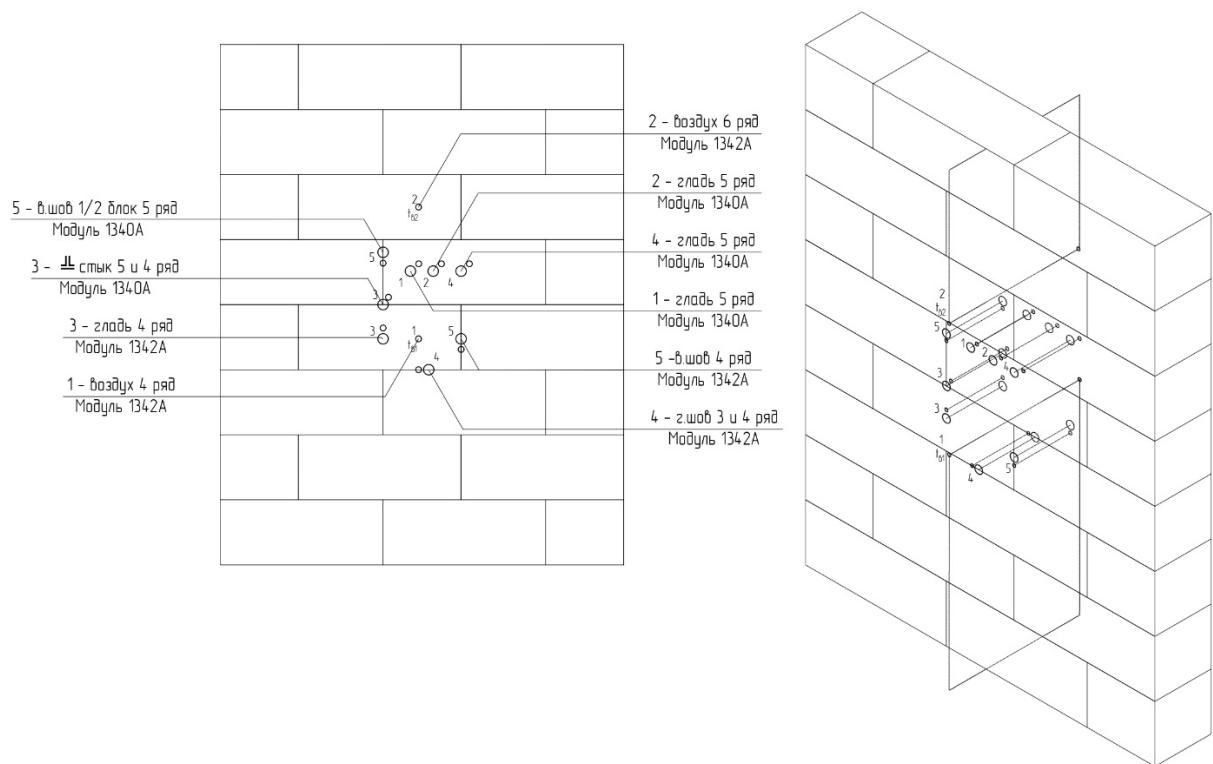


Рис. 5 Схема расстановки датчиков температур и тепловых потоков на кладке

При исследовании проводился круглосуточный сбор данных (с автоматической записью в память прибора каждые 10 минут) по распределению температуры и удельного потока теплоты на двух поверхностях кладки (с «теплой» и «холодной» стороны) в узлах, являющихся характерными фрагментами теплозащитной оболочки зданий и сооружений (плоские элементы, вертикальные и горизонтальные узлы), а также контроль влажностного режима кладки.

Общая продолжительность испытаний составила 43 суток. Все испытание было разбито на 5 этапов:

- 1) Моделирование наиболее холодных условий эксплуатации (температура в климатической камере около $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) для кладки из блоков, находящихся в состоянии отпускной влажности – 10 суток.
- 2) Моделирование переходных периодов эксплуатации (выключение камеры): уравнивание температуры внутри камеры с температурой в помещении – около 5 суток, период с одинаковой температурой по

разные стороны от кладки (около 23 °С) – 7 суток. Период постепенного выхода влаги из кладки.

- 3) Повторное моделирование наиболее холодных условий эксплуатации (температура в климатической камере около -20 °С) – 7 суток.
- 4) Моделирование наиболее жарких условий эксплуатации (температура в климатической камере около 40 °С) – 7 суток. Период интенсивного выхода влаги из кладки.
- 5) Третье моделирование наиболее холодных условий эксплуатации (температура в климатической камере около -20 °С) – 7 суток.

Раз в неделю из разных участков кладки проводился отбор проб на влажность. Пробы отбирались специальным приспособлением – шлямбуром с шагом 2-3 см на всю толщину кладки (т.е. кладка проходила насквозь).

Обработка результатов исследований теплотехнических характеристик проводилась по ранее отработанной внутренней методике НИИСФ РААСН. Методика заключается в статистическом анализе полученной выборки данных – построения линейной аппроксимации для зависимости измеряемого параметра от времени, анализа углового коэффициента линейной аппроксимации и нахождения по нему разброса измеряемого параметра за отрезок по времени измерения. Если этот разброс не превосходит показатель абсолютной погрешности используемого оборудования, то свободный член линейной аппроксимации является искомым параметром за время измерения. В противном случае, по анализу графика измеряемого параметра от времени отбрасывается отрезок измерений, который выпадает из общей зависимости, но так чтобы оставшийся отрезок по времени не был менее 5 суток. Применяемая методика позволила полностью исключить влияние нестационарного характера изменения климатических условий на точность проводимых измерений (в отличие от широко распространенного метода осреднения полученных экспериментальных данных).

Результаты испытаний, полученные по описанной методике, по глади кладки, представлены в табл. 1.

Табл. 1 Результаты испытаний теплотехнических характеристик кладки

№ этапа	Перепад температур воздуха по разные стороны кладки, Δt , °С	Средняя влажность в кладке, $w_{ср}$, %	Термическое сопротивление по глади кладки, R_T , м ² ·°С/Вт	Эффективная теплопроводность материала кладки, λ , Вт/м·°С
1	47,9	39,1	0,940	0,213
3	49,8	30,2	1,163	0,172
5	43,7	4,0	1,670	0,120

По итогам испытаний не было получено значение эффективной теплопроводности материала кладки в сухом состоянии, т.к. в натуральных условиях невозможно полностью просушить кладку, а материал в нем будет всегда находиться в некотором влажностном состоянии, как минимум соответствующему сорбционной влажности.

Значение эффективной теплопроводности материала кладки в сухом состоянии, λ_0 , Вт/м·°С, было получено расчетом, исходя из методики Приложения Д СП 345.1325800.2017 [1]:

$$\lambda_0 = \lambda_э / (1 + \eta \cdot w_э),$$

где $\lambda_э$ – эксплуатационная теплопроводность (при эксплуатационной влажности $w_э$, %), Вт/(м·°С);

η – коэффициент теплотехнического качества, 1/%, согласно таблице Д.1 из [1]– для ячеистого бетона равен 0,04 (1/%);

$w_э$ – эксплуатационная влажность материала, % по массе.

Таким образом, для испытанного материала кладки – блоков автоклавного газобетона YTONG марки по плотности D400, эффективная теплопроводность в сухом состоянии составила: $\lambda_0 = 0,103$ Вт/м·°С. При этом средняя температура в кладке составляла 25 °С.

Согласно ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия» [2] расчетные влажности автоклавных ячеистобетонных изделий современного производства для условий эксплуатации конструкции А и Б, %, составляют, соответственно: $w_A = 4$ %, $w_B = 5$ %.

Таким образом, полученное значение эффективной теплопроводности материала кладки на 5 этапе испытаний соответствовало теплопроводности при условиях эксплуатации конструкции А: $\lambda_A = 0,120 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$.

Теплопроводность материала кладки при условиях эксплуатации конструкции Б, λ_B , Вт/м·°С, была получена расчетом, по формуле из Приложения Д [1]: $\lambda_B = \lambda_0(1 + \eta \cdot w_B)$ и, соответственно, составила : $\lambda_B = 0,124 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного комплекса исследований теплотехнических характеристик кладки из блоков автоклавного газобетона YTONG марки D400 установлено:

- термическое сопротивление по глади кладки толщиной 200 мм:
 $R_T = 1,670 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}$ при влажности в кладке 4%;
- эффективная теплопроводность материала кладки в сухом состоянии:
 $\lambda_0 = 0,103 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$;
- эффективная теплопроводность материала кладки при условиях эксплуатации конструкции А и Б: $\lambda_A = 0,120 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$, $\lambda_B = 0,124 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$;

– в приложении к заключению проведен расчет теплозащитных характеристик и показателей энергопотребления типового многоквартирного здания с ограждающей конструкцией из автоклавного газобетона YTONG марки D400 в климатических условиях г. Москвы с использованием полученных по результатам исследований теплотехнических характеристик кладки, показывающий выполнение действующих нормативных требований по СП 50.13330.2012 для таких конструкций.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Пример расчета теплозащитных характеристик и показателей энергопотребления типового многоквартирного здания с ограждающей конструкцией из автоклавного газобетона YTONG марки D400

Для проверки действующих нормативных требований СП 50.13330.2012 [3] были проведены расчеты тепловой защиты и энергопотребления по методикам [3] на примере типового многоквартирного здания с ограждающей конструкцией из автоклавного газобетона YTONG марки D400 (рис. 1) в климатических условиях г. Москвы с использованием полученных по результатам исследований теплотехнических характеристик кладки.



Рис. 1 Рассмотренный вариант типового здания с ограждающей конструкцией из автоклавного газобетона YTONG марки D400

1. Расчетные характеристики климата и микроклимата помещений здания. Нормируемые характеристики теплозащиты

При теплотехнических расчетах климатические параметры района строительства принимались по СП 131.13330.2018 [4] для г. Москва. Эти параметры имеют следующие значения:

- средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_H = -25$ °С;
- средняя годовая температура $t_T = 5,4$ °С;
- средняя температура отопительного периода $t_{от} = -2,2$ °С;
- продолжительность отопительного периода $z_{от} = 205$ сут.

Основными расчетными параметрами микроклимата помещения являются температура и относительная влажность внутреннего воздуха. В помещениях исследуемого объекта по проекту принимается $t_{в} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{в} = 55\%$. Точка росы для данных параметров внутреннего воздуха составляет $t_{т.р.} = 10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно СП 50.13330.2012 [3] минимальная температура внутренней поверхности ограждающих конструкций в расчетных условиях не должна быть ниже точки росы.

На основе климатических характеристик района строительства и микроклимата помещения рассчитывается величина градусо-суток отопительного периода

$$\text{ГСОП} = (t_{г} - t_{от}) \cdot z_{от}, \text{ ГСОП} = (20 - (-2,2)) \cdot 205 \approx 4551\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}.$$

Климат и микроклимат жилых домов в г. Москва, согласно [3], соответствуют расчетным условиям «Б», что учитывается при выборе характеристик строительных материалов.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче для стен определяется согласно п. 5.2 [3] и составляет:

$$R_{о}^{\text{норм}} = 0,63 \cdot (0,00035 \cdot 4551 + 1,4) \approx 1,89\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}.$$

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче для кровли определяется согласно п. 5.2 [3] и составляет:

$$R_{о, \text{ кровля}}^{\text{норм}} = 0,8 \cdot (0,00045 \cdot 4551 + 1,9) \approx 3,16\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}.$$

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче для светопрозрачных ограждающих конструкций определяется интерполяцией согласно п. 5.2 [3] и составляет: $R_{о,к}^{\text{норм}} \approx 0,66\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}.$

2. Описание и расчет приведенного сопротивления теплопередаче исследуемой ограждающей конструкции стен

Исследуется двухэтажный многоквартирный жилой дом с ограждающей конструкцией из однослойной кладки из автоклавного газобетона марки по плотности D400 толщиной 0,375 м, с наружной отделкой легкой штукатуркой с полистиролом, усиленной волокном, толщиной 0,025 м

Согласно Приложения Е [3] в исследуемой ограждающей конструкции выделяются узлы, влияющие на тепловые потери. Для рассмотренного типа ограждения – это узлы сопряжения плиты перекрытия и примыкания оконных блоков к стене и швы кладки. Таким образом, исследуемая конструкция разбивается на условные элементы:

- Газобетонная кладка толщиной 0,375 м, оштукатуренная с двух сторон – плоский элемент 1;
- Примыкание оконного и дверного блоков к стене – линейный элемент 1;
- Примыкание к цокольному ограждению (пол по грунту) – линейный элемент 2;
- Кладочные швы – линейный элемент 3;
- Углы здания – линейный элемент 4.

Фасад здания, включая светопроемы, имеет общую площадь 252,9 м².

В конструкции рассматриваемого здания применено 4 различных типа окон и 3 типа входных дверей:

- 1) ОК-1 1100×1500 мм: периметр одного окна 5,2 м; площадь одного окна 1,65 м²; количество окон 4 шт.
- 2) ОК-2 2000×750 мм: периметр одного окна 5,5 м; площадь одного окна 1,5 м²; количество окон 2 шт.
- 3) ОК-3 750×1000 мм: периметр одного окна 3,5 м; площадь одного окна 0,75 м²; количество окон 4 шт.
- 4) ОК-4 1100×2000 мм: периметр одного окна 6,2 м; площадь одного окна 2,2 м²; количество окон 5 шт.
- 5) ДП-1 1000×2100 мм: периметр одной двери 6,2 м; площадь одной двери 2,1 м²; количество дверей 1 шт.
- 6) ДП-4 900×2100 мм: периметр одной двери 6 м; площадь одной двери 1,89 м²; количество дверей 1 шт.
- 7) ДП-8 1100×2100 мм: периметр одной двери 6,4 м; площадь одной двери 2,31 м²; количество дверей 1 шт.

Площадь поверхности стены составляет (площадь плоского элемента): *A*

$$= 252,9 - (23,6+6,3) = 223 \text{ м}^2.$$

Общая длина проекции оконных и дверных откосов, определяется по экспликация проемов и равна 95,4 м. Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м² площади фрагмента (удельная геометрическая характеристика линейного элемента 1) равна: $l_1 = \frac{95,4}{223} = 0,43 \text{ м}^{-1}$.

Согласно проведенным исследованиям расчетная теплопроводность при условиях эксплуатации Б составляет: $\lambda_B = 0,128 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. Для штукатурки по проекту: $\lambda_B = 0,3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. Тогда по Приложению Е [3] для плоского элемента 1 условное сопротивление теплопередаче и удельные потери теплоты равны:

$$R_{\text{стен}}^{\text{усл}} = 1/8,7 + 0,375/0,124 + 0,025/0,3 + 1/23 = 3,27 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт};$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{стен}}^{\text{усл}}} = \frac{1}{3,27} \approx 0,306 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}.$$

Значение удельных потерь теплоты Ψ_1 для оконных откосов определяются интерполяцией по данным табл. Г.31 из СП 230.1325800.2015 [5] для значения толщины рамы 120 мм, $d_3 = 0$ мм, $d_{\text{кл}} = 375$ мм, $\lambda_{\text{кам}} = 0,124 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$: $\Psi_1 = 0,033 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

Примыкание стен к цокольному ограждению. Значение удельных потерь теплоты Ψ_2 определяются интерполяцией по данным табл. Г.39 из [5] для значения толщины перекрытия, при $R_{\text{ут}} = 3,23 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$, $d_{\text{кл}} = 375$ мм, $\lambda_{\text{кам}} = 0,124 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$: $\Psi_2 = 0,09 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. Удельный геометрический показатель этого элемента $l_2 = \frac{43,9}{223} = 0,197 \text{ м}^{-1}$.

Удельные потери теплоты Ψ_3 , $\text{Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, для узла прохождения растворного шва при использовании клея толщиной 2 мм по табл. Г.1 из [5] составляют: $\Psi_3 = 0 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, поэтому дальнейший расчет приведенного сопротивления теплопередаче ведется без учета этой величины.

Удельные потери теплоты Ψ_4 , $\text{Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, для выпуклого угла кладки по табл. Г.27 из [5] при $d_{\text{кл}} = 375$ мм, $\lambda_{\text{кам}} = 0,124 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ составляют: $\Psi_4 = 0,064 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. Удельный геометрический показатель этого элемента $l_4 = \frac{24,9}{223} = 0,112 \text{ м/м}^2$.

Для вогнутого при $d_{\text{кл}} = 375$ мм, $\lambda_{\text{кам}} = 0,124 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ составляют:

$\Psi_5 = -0,179 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$. Удельный геометрический показатель этого элемента $l_5 = \frac{24,9}{223} = 0,037 \text{ м}/\text{м}^2$.

Тогда, приведенное сопротивление теплопередаче стены по формуле (Е.1) составляет:

$$R_o^{\text{пр}} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j} = \frac{1}{1 \cdot 0,306 + 0,43 \cdot 0,033 + 0,197 \cdot 0,09 + 0,112 \cdot 0,064 + 0,37 \cdot (-0,179)} = \frac{1}{0,338} = 2,95 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}/\text{Вт}.$$

Полученные приведенные сопротивления теплопередаче стены больше найденного выше нормируемого значения, таким образом поэлементное требование по теплозащите из [3] выполнено.

3. Описание и расчет приведенного сопротивления исследуемой ограждающей конструкции кровли

В исследуемом здании представлена кровля следующей конструкции: черепица Braas, гидроизоляционная пленка Klover, утеплитель Rockwool толщиной $d = 200 \text{ мм}$, ГКЛ с внутренней отделкой.

Исследуемая конструкция разбивается на условные элементы:

- Плоскость крыши, указанной выше конструкции – плоский элемент 1;
- Прохождение стропил через утеплитель – линейный элемент 1.

Согласно Приложения Т из [3] теплотехнические характеристики материалов конструкций скатной кровли имеют следующие показатели:

- Утеплитель: $d = 0,2 \text{ м}$, $\lambda_B = 0,048 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$;
- ГКЛ: $d = 0,01 \text{ м}$, $\lambda_B = 0,56 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$;

$$R_{\text{кровля}}^{\text{усл}} = 1/8,7 + 0,2/0,048 + 0,01/0,56 + 1/23 = 4,34 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт};$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{кровля}}^{\text{усл}}} = \frac{1}{4,34} \approx 0,230 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Значение удельных потерь теплоты для линейного элемента 1 определяются интерполяцией по данным табл. Г.103 [5] при значениях $d_{\text{гт}} = 200 \text{ мм}$ $d_{\text{доп}} = 0 \text{ мм}$: $\Psi_1 = 0,027 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$. Протяженность данного элемента $l_I = \frac{18}{180} = 0,1 \text{ м}/\text{м}^2$.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче скатной кровли по формуле (Е.1) из [3] составляет:

$$R_o^{np1} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j} = \frac{1}{1 \cdot 4,34 + 0,1 \cdot 0,027} = \frac{1}{0,233} = 4,30 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

В доме имеется неотапливаемый чердак, отапливаемый объем от которого отделяет покрытие второго этажа. Междуетажной перекрытие по деревянным балкам представлена отделкой из подвесного потолка, закрепленной между ребрами и балками минеральной ваты, и отделкой со стороны чердака шпунтованной доской.

- Плоскость крыши, указанной выше конструкции – плоский элемент 1;
- Прохождение стропил через утеплитель – линейный элемент 1;
- Прохождение стены – линейный элемент 2.

Согласно Приложения Т из [3] теплотехнические характеристики материалов конструкций межэтажного перекрытия имеют следующие показатели:

- Шпунтованная доска: $d = 0,05$ м, $\lambda_B = 0,18$ Вт/(м °С);
- Утеплитель: $d = 0,15$ м, $\lambda_B = 0,048$ Вт/(м °С);
- ГКЛ: $d = 0,01$ м, $\lambda_B = 0,56$ Вт/(м °С).

$$R_{\text{кровля } 1}^{\text{усл}} = 1/8,7 + 0,05/0,18 + 0,15/0,048 + 0,01/0,56 + 1/23 = 3,58 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{кровля } 1}^{\text{усл}}} = \frac{1}{3,58} \approx 0,279 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Значение удельных потерь теплоты линейного элемента 1 определяются интерполяцией по данным табл. Г.103 [5] при значениях $d_{\text{ут}} = 150$ мм $d_{\text{доп}} = 0$ мм: $\Psi_1 = 0,034$ Вт/(м °С).

$$\text{Протяженность данного элемента } l_1 = \frac{15}{79,6} = 0,19 \text{ м/м}^2$$

Значение удельных потерь теплоты для линейного элемента 2 определяются интерполяцией по данным табл. Г.105 [5] при значениях $d_{\text{ст}} = 375$ мм и $R_{\text{ут}} = 3,13$ (м²·°С)/Вт: $\Psi_2 = 1,4$ Вт/(м °С). Протяженность данного элемента $l_2 = \frac{8,45}{79,6} = 0,11$ м/м².

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче межэтажного перекрытия по формуле (Е.1) из [3] составляет:

$$R_{\text{кровля } 2}^{\text{пр1}} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j} = \frac{1}{1 \cdot 0,279 + 0,19 \cdot 0,034 + 0,11 \cdot 1,4} = \frac{1}{0,439} = 2,28 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Полученное приведенное сопротивление теплопередаче кровли меньше найденного выше нормируемого значения, однако, наружная температура для помещений второго этажа отличается от принятых в расчете ГСОП, следовательно, базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции чердачного перекрытия умножается на коэффициент n :

$$n = \frac{t_{в} - t_{г}}{t_{г} - t_{ом}} = \frac{20 - 5}{20 - (-2,2)} = 0,676$$

$$R_{\text{кровля } 2}^{\text{пр1}} = 2,28 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > R_{\text{пер}}^{\text{тр}} = 3,16 \cdot 0,676 = 2,13 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

4. Описание и расчет приведенного сопротивления исследуемой ограждающей конструкции пола

В исследованном здании конструкция пола состоит: Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе $h = 3$ мм, $\lambda_{Б} = 0,35$ Вт/(м °C); армированная стяжка $h = 50$ мм, $\lambda_{Б} = 2,04$ Вт/(м °C); утеплитель «Пеноплекс» $h = 100$ мм, $\lambda_{Б} = 0,031$ Вт/(м °C); гидроизоляция на битумной основе; ж/б плита перекрытия $h = 150$ мм, $\lambda_{Б} = 2,04$ Вт/(м °C).

$$R_{\text{пол}}^{\text{усл}} = 0,003/0,35 + 0,05/2,04 + 0,1/0,031 + 0,15/2,04 = 3,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

Исследуемая конструкция разбивается на условные элементы:

- Плоскость пола, указанной выше конструкции – плоский элемент 1;

$$R_{\text{пол}}^{\text{пр}} = 116 / (96/5,43 + 32/7,63 + 4/11,93) = 6,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

Полученное приведенное сопротивление теплопередаче пола больше нормируемого значения, таким образом поэлементное требование по теплозащите из [3] выполнено.

5. Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

Коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры неотапливаемого чердака от температуры жилых помещений, составляет

$$n = \frac{t_{в} - t_{г}}{t_{г} - t_{ом}} = \frac{20 - 5}{20 - (-2,2)} = 0,676$$

Для ЛЛУ и технических помещений:

$$n = \frac{t_g - t_{om}}{t_g - t_{om}} = \frac{18 - (-2,2)}{20 - (-2,2)} = 0,910$$

Подвальные помещения отсутствуют.

На исследуемом здании использованы несколько различных по своему составу видов ограждающих конструкций:

- a) Наружная стена здания площадью по основной части здания $A_{cm} = 164,4 \text{ м}^2$ из кладки из газобетонных блоков, оштукатуренная с наружной стороны, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{cm,ЛЛУ} = 60,6 \text{ м}^2$. Приведенное сопротивление теплопередаче этой стены определено выше и составляет $2,95 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.
- b) Скатная кровля. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{\text{кровля}} = 3,58 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Площадь кровельного покрытия по основной части здания составляет $A_{\text{кр}} = 75,6 \text{ м}^2$, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{\text{кр,ЛЛУ}} = 8,0 \text{ м}^2$.
- c) Пол 1-го этажа. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{\text{пол}} = 6,02 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Площадь данной конструкции по основной части здания составляет $A_{\text{пол}} = 83,25 \text{ м}^2$, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{\text{пол,ЛЛУ}} = 11,25 \text{ м}^2$.
- d) Чердачное перекрытие. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{\text{кр}} = 2,28 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Площадь перекрытия данной конструкции по основной части здания составляет $A_{\text{кр}} = 70,8 \text{ м}^2$, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{\text{кр,ЛЛУ}} = 8,8 \text{ м}^2$.
- e) Окна. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{\text{ок}} = 0,67 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ (выше минимально допустимого согласно п. 5.2). Площадь окон составляет по основной части здания $A_{\text{ок}} = 19,9 \text{ м}^2$, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{\text{ок,ЛЛУ}} = 3,7 \text{ м}^2$.
- f) Входные двери. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{\text{дв}} = 0,78 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Площадь входных дверей составляет $A_{\text{дв}} = 4,41 \text{ м}^2$ по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{\text{дв,ЛЛУ}} = 1,89 \text{ м}^2$.

Отапливаемый объем здания $V_{\text{от}} = 600,6 \text{ м}^3$.

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по Приложению Ж из [3] и составляет:

$$k_{об} = \frac{I}{V_{от}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{np}} \right) = \frac{1}{600,6} \left[\frac{162,4}{2,95} + \frac{75,6}{3,58} + \frac{83,25}{6,02} + \frac{19,9}{0,67} + \frac{4,41}{0,78} + 0,676 \cdot \left(\frac{70,8}{2,28} \right) + 0,910 \cdot \left(\frac{60,6}{2,95} + \frac{8,0}{3,58} + \frac{8,8}{2,28} + \frac{11,25}{6,02} + \frac{3,7}{0,67} + \frac{1,89}{0,78} \right) \right] = 0,299 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле (5.5) из [3] и с учетом того, что отапливаемый объем менее 960 м³, составляет:

$$k_{об}^{тр} = \frac{4,74}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} \cdot \frac{I}{\sqrt[3]{V_{от}}} = \frac{4,74}{0,00013 \cdot 4551 + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{600,6}} = 0,468 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

Удельная теплозащитная характеристика здания меньше нормируемой величины, следовательно, оболочка удовлетворяет комплексному требованию из [3] и основное требование к теплозащите здания выполнено.

6. Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий

Средняя за отопительный период расчетная температура воздуха в помещениях $t_{жил} = 20$ °С. Объемно–планировочные показатели: Отапливаемый объем здания $V_{от} = 600,6$ м³. В том числе:

- отапливаемый объем жилой части здания: $V_{от1} = 600,6$ м³;
- сумма площадей этажей здания: $A_{от} = 171,45$ м²;
- площадь жилых помещений: $A_{ж} = 137,2$ м²;
- расчетное количество жителей: $m_{ж} = 4$ чел;
- высота здания от пола первого этажа до обреза вытяжной шахты: 9,7 м;
- общая площадь наружных ограждающих конструкций: $A_{н}^{сум} = 510,6$ м²;
- площадь стен жилой части здания: 162,4 м²;
- то же, технических помещений и ЛЛУ: 60,6 м²;
- то же, кровельного покрытия: 75,6 м²;

Площадь надземного остекления по сторонам света:

Сторона света	Площадь, м ²
С	5,5
СВ	-
В	6,05
ЮВ	-
Ю	3,15
ЮЗ	-
З	5,84
СЗ	-

Всего остекления 23,6 м²; площадь входных дверей: 6,3 м²; коэффициент компактности здания: $K_{\text{комп}}=0,85$; коэффициент остекленности здания: $f=0,1$.

Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление надземной жилой части здания:

а) Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитана выше:

$$k_{об}=0,299 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$$

б) Удельная вентиляционная характеристика здания согласно

Изменению № 1 к [3] определяется по формуле (Г.2) и составляет:

$$k_{\text{вент}}=0,28 \cdot c \cdot (L_{\text{вент}} \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} \cdot n_{\text{вент}} \cdot (1-k_{\text{эф}}) + G_{\text{инф}} \cdot n_{\text{инф}}) / (168 \cdot V_{\text{от}}) = 0,080 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$$

В расчетах приняты следующие параметры, определяемые по Приложению Г из [3]:

Количество приточного воздуха в здание, $L_{\text{вент}}, \text{м}^3/\text{ч}$, согласно (Г.3) из [3] определяется, как большее из двух значений:

$$L_{\text{вент}1} = 30 \cdot 4 = 120 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$L_{\text{вент}2} = 0,35 \cdot 3 \cdot A_{\text{ж}} = 0,35 \cdot 3 \cdot 74,96 = 78,7 \text{ м}^3/\text{ч}$$

В данном случае первое значение больше, поэтому в расчете используется оно.

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, $\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$, кг/м³, определяемая по формуле:

$$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 353 / [273 + t_{\text{от}}] = 353 / 270,8 = 1,30$$

Число часов работы механической вентиляции в течение недели, $n_{\text{вент}}$, ч, равно 168.

Количество инфильтрующегося воздуха в здание, $G_{\text{инф}}$, кг/ч, определяется по формуле (Г.5) из [3]:

$$G_{инф} = (A_{ок}/R_{u,ок}^{mp}) \cdot (\Delta p_{ок}/10)^{2/3} + (A_{дв}/R_{u,дв}^{mp}) \cdot (\Delta p_{дв}/10)^{1/2} =$$

$$= (23,6/2,62) \cdot (13,12/10)^{2/3} + (6,3/1,87) \cdot (13,12/10)^{1/2} = 14,63 \text{ кг/ч}$$

Число часов учета инфильтрации в течение недели, $n_{инф}$, ч, равно 168 ч для зданий со сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией.

- с) Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания определяется по формуле (Г.6) из [1]:

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} \cdot A_{ж}}{V_{ом} \cdot (t_{в} - t_{ом})} = \frac{16,2 \cdot 137,2}{600,6 \cdot 22,2} = 0,167 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)},$$

где $q_{быт}$ принимается с в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции между 17 Вт/м² при заселенности 20 м² на человека и 10 Вт/м² при заселенности 45 м² на человека.

- д) Удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации:

$$k_{рад} = \frac{11,6 \cdot Q_{рад}^{zод}}{(V_{ом} \cdot ГСОП)} = \frac{11,6 \cdot 11467,9}{(600,6 \cdot 4551)} = 0,049 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

Тепlopоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода $Q_{рад}^{zод}$, МДж, определяется по формуле (10.2) из [3]:

$$Q_{рад}^{zод} = \tau_F \cdot k_F \cdot (A_{F1} \cdot I_{F1} + A_{F2} \cdot I_{F2} + A_{F3} \cdot I_{F3} + A_{F4} \cdot I_{F4}) + \tau_{scy} \cdot k_{scy} \cdot A_{scy} \cdot I_{hor} =$$

$$0,8 \cdot 0,74 \cdot (5,5 \cdot 677 + 6,05 \cdot 677 + 3,15 \cdot 1285 + 5,84 \cdot 1285) = 11467,9 \text{ МДж}.$$

- е) Коэффициент полезного использования тепlopоступлений, $\beta_{КПИ}$, определяемый по формуле (4.5а):

$$\beta_{КПИ} = K_{рег} / (1 + 0,5 \cdot n_{в}) = 0,706$$

В рассматриваемом здании $K_{рег} = 0,9$ (в системе отопления с местными терморегуляторами и с центральным авторегулированием на вводе).

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период $n_{в}$, ч⁻¹, по формуле (Г.4) из [3] равна:

$$n_{в} = [(L_{вент} \cdot n_{вент}) / 168 + (G_{инф} \cdot n_{инф}) / (168 \rho_{в}^{вент})] / (\beta_v V_{от}) = 0,55 \text{ ч}^{-1}$$

Подставляя полученные значения в формулу (Г.1) из [3], получаем, что расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период равна:

$$q_{от}^p = k_{об} + k_{вент} - \beta_{КПИ} \cdot (k_{быт} + k_{рад}) = 0,299 + 0,08 - 0,706 \cdot (0,167 + 0,049) = 0,227 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°С})$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше 0,483 Вт/(м³·°С) – величины нормируемой (базовой) по табл. 13 из [3] для многоквартирных зданий. Снижение от требуемого значения составляет 53 %, что соответствует классу энергосбережения здания «А+» согласно табл. 15 [1].

- f) Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, определяется по формуле (Г.10):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от}^p = 0,024 \cdot 4551 \cdot 600,6 \cdot 0,230 \approx 14873 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$$

- g) Общие теплотери здания за отопительный период $Q_{общ}^{год}$, кВт·ч/год, определяются по формуле (Г.11):

$$Q_{общ}^{год} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot (k_{об} + k_{вент}) = 0,024 \cdot 4551 \cdot 600,6 \cdot (0,302 + 0,08) \approx 24845,7$$

кВт·ч/год

- h) Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q , кВт·ч/(м²·год), определяется по формуле (Г.9а):

$$q = \frac{Q_{от}^{год}}{A_{от}} = \frac{15069,4}{171,45} = 86,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

Ниже представлен энергетический паспорт здания, заполненный по форме Приложения Д из [3] согласно полученным показателям.

7. Энергетический паспорт здания

7.1. Общая информация

Назначение здания, серия	Индивидуальный жилой дом «МАРБУРГ/MARBURG»
Этажность, количество секций	2 этажа
Количество квартир	1
Расчетное количество жителей или служащих	4
Размещение в застройке	Отдельно стоящее
Конструктивное решение	Однослойное из газобетонных блоков

7.4. Показатели теплотехнические

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Нормируемое значение показателя	Расчетное проектное значение	Фактическое значение
15	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в том числе: стены из кладки из газобетонных блоков оштукатуренные окон и балконных дверей окон лестнично-лифтовых узлов входных дверей покрытий (совмещенных) перекрытий над техническими подпольями	R_o^{np} , м ² ·°C/Вт			
		$R_{ст1}$	1,89	2,95	
		$R_{ок.1}$	0,66	0,67	
		$R_{дв}$	0,66	0,78	
		$R_{кр1}$	0,78	4,30/2,28	
$R_{цок1}$	3,58	6,02			
			3,16	-	

7.5. Показатели вспомогательные

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Нормируемое значение показателя	Расчетное проектное значение показателя
16	Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_{общ}$, Вт/(м ² ·°C)		0,339
17	Кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	n_a , ч ⁻¹		0,55
18	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{быт}$, Вт/м ²	-	16,2
19	Тарифная цена тепловой энергии для проектируемого здания	$C_{тепл}$, руб/кВт ч		

7.6. Удельные характеристики

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Нормируемое значение показателя	Расчетное проектное значение показателя
20	Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{об}$, Вт/(м ³ ·°C)	0,468	0,299
21	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}$, Вт/(м ³ ·°C)		0,080
22	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}$, Вт/(м ³ ·°C)		0,167
23	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}$, Вт/(м ³ ·°C)		0,049

7.7. Комплексные показатели расхода тепловой энергии

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
24	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^p$, Вт/(м ³ ·°C) [Вт/(м ² ·°C)]	0,227
25	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{np}$, Вт/(м ³ ·°C) [Вт/(м ² ·°C)]	0,483
26	Класс энергосбережения		A+
27	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите		ДА

7.8. Энергетические нагрузки здания

№ п.п.	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
28	Удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	q	кВт·ч/(м ³ ·год) кВт·ч/(м ² ·год)	86,8
29	Расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	$Q_{от}^{год}$	кВт·ч/год	14873,0
30	Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q_{общ}^{год}$	кВт·ч/год	24845,7

Вывод: на рассмотренном примере показано, что типовое многоквартирное здание с однослойной (без использования эффективных утеплителей) ограждающей конструкцией из автоклавного газобетона YTONG марки D400 с толщиной кладки 375 мм в климатических условиях г. Москвы удовлетворяет действующим нормативным требованиям по СП 50.13330.2012 в части тепловой защиты и энергопотребления.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты (с изменением № 1)
- [2] ГОСТ 31359-2007 Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия
- [3] СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» (с изменением № 1)
- [4] СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»
- [5] СП 230.1325800.2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» (с изменением № 1)