**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.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО РАСЧЕТУ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ С НАРУЖНЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ИЗ АВТОКЛАВНЫХ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Договор № 12240(2019) от «17» сентября 2019 г.

Руководитель разработки:
Ведущий научный сотрудник
лаборатории строительной теплофизики,
кандидат технических наук П.П. Пастушков

Москва, 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		3
1	Область применения	4
2	Нормативные ссылки	4
3	Термины и определения	4
4	Требования к тепловой защите и энергопотреблению зданий по действующим нормативным документам и правовым актам РФ	5
5	Теплотехнические показатели автоклавных ячеистобетонных изделий при эксплуатационных условиях в ограждающих конструкциях	15
6	Пример расчета тепловой защиты и энергопотребления ограждающей конструкции из автоклавных ячеистобетонных изделий многоквартирного здания малоэтажной застройки	24
7	Пример расчета тепловой защиты и энергопотребления ограждающей конструкции из автоклавных ячеистобетонных изделий многоквартирного здания многоэтажной застройки	36
8	Пример расчета тепловой защиты и энергопотребления ограждающей конструкции из автоклавных ячеистобетонных изделий одноквартирного здания	48
БИБЛИОГРАФИЯ		61

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в РФ прошла актуализация ряда нормативных документов в сфере тепловой защиты и энергопотребления зданий (СП 50.13330 [1], СП 230.1325800 [2]), которая в том числе предполагала ужесточение требований к наружным ограждающим конструкциям. Наряду с этим было подготовлено несколько вспомогательных документов (СП 345.1325800 [3], Методическое пособие ФАУ «ФЦС» [5]), содержащих новые методики и справочные материалы. Параллельно с актуализацией и расширением нормативной базы Минстроем РФ был принят приказ № 1550/пр от 17.11.2017 г. «Об утверждении Требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений», согласно которому показатели энергопотребления одноквартирных и многоквартирных зданий должны планово (в 3 этапа) снижаться по отношению к действующим нормативным значениям вплоть до уменьшения на 50% с 1-го января 2028 г.

В связи с вышеизложенным актуальным для специалистов является вопрос: удовлетворяют ли современные однослойные ограждающие конструкции из автоклавных ячеистобетонных изделий действующим требованиям по теплозащите и энергопотреблению зданий и будут ли они удовлетворять им на всех этапах введения приказа Минстроя РФ?

Настоящее Методическое пособие разработано авторским коллективом НИИСФ РААСН под руководством ведущего научного сотрудника, канд. техн. наук Пастушкова П.П. в развитие и дополнение к действующим нормативным документам в сфере тепловой защиты и энергопотребления зданий. Содержит всеобъемлющую методическую и справочную информацию для проведения теплотехнических расчетов зданий с наружными ограждающими конструкциями из автоклавных ячеистобетонных изделий, а также проиллюстрировано примерами таких расчетов для одноквартирных и многоквартирных зданий, показывающих возможность достижения однослойными конструкциями из автоклавного газобетона самых высоких уровней энергетической эффективности.

1 Область применения

Настоящее Методическое пособие распространяется на проектируемые, реконструируемые и эксплуатируемые жилые и общественные здания с наружными ограждающими конструкциями из автоклавных ячеистобетонных изделий, и предназначено для проведения расчетов тепловой защиты и энергопотребления таких конструкций.

Настоящее методическое пособие является вспомогательным документом к СП 50.13330 и СП 345.1325800.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом пособии использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

ГОСТ Р 56733-2015. Здания и сооружения. Метод определения удельных потерь теплоты через неоднородности ограждающей конструкции

ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме

ГОСТ 32494-2013. Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций

ГОСТ 24816–2014. Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности

СП 54.13330.2016 «СНиП 31-01-2003 «Здания жилые многоквартирные»

СП 118.13330.2012 «СНиП 31-06-2009 «Общественные здания и сооружения»

3 Термины и определения

В настоящем Методическом пособии применены термины по СП 50.13330 [1] и Методическому пособию ФАУ «ФЦС» [5].

4 Требования к тепловой защите и энергопотреблению зданий по действующим нормативным документам и правовым актам РФ

4.1 Основным нормативным документом РФ по тепловой защите и энергосбережению в зданиях является СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» [1], разработанный Научно-исследовательским институтом строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН) и введенный в действие с 01.07.2013 г. С 15.06.2019 г. введено в действие Изменение №1 к данному Своду правил. Разделы 1, 4 (пункты 4.1 - 4.4), 5 (пункты 5.1 - 5.7), 6 (пункт 6.8), 7 (пункт 7.3), 8 (подпункты "а" и "б" пункта 8.1, пункты 8.5, 8.7), 9 (пункт 9.1), приложение Г [1] внесены в перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» согласно Постановлению Правительства РФ от 04.07.2020 г. № 985.

В развитие и в дополнение к СП 50.13330.2012 [1] в лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН разработаны: СП 230.1325800.2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей (с изменением № 1) [2], введенный в действие с 30.04.2015 г., и СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты (с изменением № 1) [3], введенный в действие с 15.05.2018 г.

4.2 В СП 50.13330.2012 [1] нормирование теплозащиты зданий и расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий осуществляется тремя видами требований:

- поэлементные требования к теплозащите ограждающих конструкций: приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений – $R_{\text{о}}^{\text{пр}} \geq R_{\text{о}}^{\text{норм}}$, при этом должны быть выполнены санитарно-гигиенические

требования невыпадения конденсата на внутренней поверхности ограждающих конструкций в местах расположения теплопроводных включений и ограничения температуры на поверхностях заполнения светопроемов;

- требования к теплозащите оболочки здания (комплексное требование): удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения – $k_{об} \le k_{об}^{тр}$;
- требования к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания: расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий должно быть не больше нормируемой величины – $q_{от}^{р} \le q_{от}^{тр}$.

Ниже подробно описаны важные аспекты данных требований при их применении к зданиям с наружными ограждающими конструкциями из автоклавных ячеистобетонных изделий с учетом вышедших за последнее время актуализированных редакций нормативных документов и методических материалов к ним.

4.3 При проектировании зданий следует использовать следующий порядок расчета и проверки требований к тепловой защите и энергопотреблению:

- принимается средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность отопительного периода, сут/год, по СП 131.13330.2018 [4];
- принимается расчетная температура внутреннего воздуха здания по ГОСТ 30494;
- рассчитываются градусо-сутки отопительного периода по формуле (5.2) по [1];
- находятся базовые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания $R_{о}^{тр}$, (м^2·°С)/Вт, по таблице 3 [1];

- находятся нормируемые значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания, $R_{\text{о}}^{\text{норм}}$, (м$^2\cdot$°С)/Вт, по пункту 5.2 [1] – см. п. 4.4;
- проводится проверка приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций здания с учетом теплотехнических неоднородностей согласно приложению Е [1] – см. пп. 4.5-4.7;
- проводится проверка выполнения санитарно-гигиенических требований пункта 5.7 [1];
- проводится проверка удельной теплозащитной характеристики здания $k_{\text{об}}$, Вт/(м$^3\cdot$ °С), по п. 5.5 [1] – см. п. 4.8;
- проводится проверка требований к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по разделу 10 [1] – см. п. 4.9;
- проводится заполнение энергетического паспорта здания по форме Приложения Д [1].

При реализации данных требований к тепловой защите зданий рекомендуется также учитывать положения СП 54.13330.2016 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 (с Изменениями № 1, 2, 3) и СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (с Изменениями № 1-4).

4.4 Требования к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций зданий изложены в п. 5.2 [1]. Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_{\text{о}}^{\text{норм}}$определяется по формуле

$$R_{\text{о}}^{\text{норм}} = R_{\text{о}}^{\text{тр}} \cdot m_{\text{р}}, \qquad (4.1)$$

как произведение базового значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_{\text{о}}^{\text{тр}}$, принимаемого из таблицы 3 [1], и коэффициента $m_{\text{р}}$, учитывающего особенности региона строительства. В расчете по формуле

(1) коэффициент $m_р$ принимается равным 1, но при этом допускается снижение значения коэффициента $m_р$ в случае если при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике Приложения Г выполняются требования п. 10.1 к данной удельной характеристике. Значения коэффициента $m_р$ должны быть не менее: $m_р = 0,63$ – для стен, $m_р = 0,80$ – для остальных ограждающих конструкций (кроме светопрозрачных), $m_р = 1,00$ – для светопрозрачных конструкций.

П р и м е ч а н и е – Зачастую в проектной практике встречаются искаженные трактовки этого пункта [1], когда изначально требуется провести расчеты с $m_р = 1,00$, а уже потом допускается снижать коэффициент $m_р$, как это прописано в п. 5.2, либо же вообще не учитывать коэффициент $m_р$. Однако, ввиду обязательности в [1] расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий по методике Приложения Г для заполнения энергетического паспорта, фактически всегда допускается снижение требований таблицы 3 за счет коэффициента $m_р$ (в случае, когда он меньше 1). Исключение, после введения в действие Изменений №1 к [1], составляет светопрозрачные конструкции, у которых коэффициент $m_р$ не может быть меньше 1. Также следует отметить, что в Изменении №1 к [1] для жилых зданий были повышены базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_о^{тр}$ для светопрозрачных ограждающих конструкций кроме фонарей.

4.5 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции без вентилируемых воздушных прослоек производится в соответствии с приложением Е [1]. Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания, $R_о^{пр}$, (м^2·°С)/Вт, следует определять по формуле

$$R_{\text{o}}^{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{o}}^{\text{усл}}} + \sum 1_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum 1_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} \qquad (4.2)$$

где $R_{\text{o}}^{\text{усл}}$ – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, (м^2·°С)/Вт;

l_j – протяженность линейной неоднородности j-го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м/м^2;

Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j-го вида, Вт/(м·°С);

n_k – количество точечных неоднородностей k-го вида, приходящихся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, шт/м^2;

χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k-го вида, Вт/°С;

a_i – площадь плоского элемента конструкции i-го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м^2/м^2;

U_i – коэффициент теплопередачи однородной i-ой части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент i-го вида), Вт/(м^2·°С).

4.6 Удельные потери теплоты через линейные Ψ_j, Вт/(м·°С), и точечные χ_k, Вт/°С, неоднородности принимаются приближенно по таблицам СП 230.1325800 [2] или рассчитываются по ГОСТ Р 56733. Для ограждающих конструкций, представляющих собой кладку из блоков автоклавного ячеистого бетона, типовыми теплотехническими неоднородностями являются:

– швы кладки, включая армирование (таблицы Г.1-Г.3 из [2]);

– сопряжение с плитой перекрытия или балконной плитой (таблицы Г.5-Г.10 из [2]);
– стыки с оконными блоками (таблицы Г.29-Г.31 из [2]);
– примыкание к цокольному ограждению (таблица Г.39 из [2]);
– углы (таблица Г.27 из [2]);
– стыки с другими видами стеновых конструкций (при наличии).

4.7 Условное сопротивление теплопередаче, $R_{\text{о}}^{\text{усл}}$, (м^2·°С)/Вт, фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_{\text{о}}^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{s} R_{s} + \frac{1}{\alpha_{н}}, \qquad (4.3)$$

где $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м^2·°С), принимаемый согласно таблице 4 из [1];

$\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м^2·°С), принимаемый согласно таблице 6 из [1];

R_{s} – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м^2·°С)/Вт. Согласно Изменению №1 к [1] при его расчете для материальных слоев следует учитывать коэффициент условий эксплуатации слоя материала по формуле (формулу Е.7 [1] использовать в следующей редакции):

$$R_{s} = \frac{\delta_{s}}{\lambda_{s}} \cdot y_{s}^{\text{у.э.}}, \qquad (4.4)$$

где δ_{s} – толщина слоя, м;

λ_{s} – теплопроводность материала слоя при условиях эксплуатации конструкции А или Б, Вт/(м·°С), принимаемая по приложению Т [1]. Для изделий из автоклавного ячеистого бетона возможно использовать данные по разделу 5 настоящего Методического пособия;

$y_{s}^{\text{у.э.}}$ – коэффициент условий эксплуатации слоя материала, доли ед., принимаемый согласно приложения Е [3]. Для слоев ограждающих конструкций (как многослойных, так и однослойных) из автоклавного ячеистого бетона коэффициент условий эксплуатации следует принимать

равным 1, т.к. для данного материала нет дополнительных эксплуатационных факторов (кроме влажностного состояния, которое учитывается в расчетной теплопроводности материала), понижающих за время эксплуатации термическое сопротивление слоя из него.

4.8 Требования к удельной теплозащитной характеристике здания в [1] является основными, поскольку именно они ограничивают тепловые потери через оболочку здания, т.е. через совокупность всех ограждающих конструкций.

П р и м е ч а н и е – Величина $k_{об}$ – удельная характеристика, которую предложено называть «теплозащитной», Вт/(м^3·°С). Физический смысл этой характеристики заключается в том, что он численно равен количеству тепловой энергии, теряемой теплопередачей через оболочку здания 1 м^3 отапливаемого объема здания в единицу времени (в секунду) при перепаде температуры воздуха в 1 °С. Если умножить удельную теплозащитную характеристику на ГСОП и на размерный коэффициент 0,024, то получится количество тепловой энергии в кВт·ч, которое теряется через оболочку здания 1 м^3 отапливаемого объема за отопительный период, если это количество разделить на высоту этажа, то получится «удельный расход тепловой энергии на отопление здания», обусловленный теплопотерями через оболочку здания, измеряемый в кВт·ч/(м^2·год).

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания, $k_{об}^{тр}$, Вт/(м^3·°С), следует принимать в зависимости от отапливаемого объема здания и градусо-суток отопительного периода района строительства по таблице 7 из [1] с учетом примечаний.

Удельная теплозащитная характеристика здания, $k_{об}$, Вт/(м^3·°С), рассчитывается по приложению Ж из [1]. Согласно формуле (Ж.1) удельную теплозащитную характеристику здания можно представить в виде произведения коэффициента компактности здания, $K_{комп}$, м$^{-1}$, и общего коэффициента теплопередачи здания, $K_{общ}$, Вт/(м^2·°С).

П р и м е ч а н и е – Из такого представления удельной теплозащитной характеристики здания легко установить два пути снижения теплопотерь через оболочку здания: 1) упрощение формы здания и, соответственно, снижение коэффициента компактности; 2) повышение сопротивления теплопередаче и/или увеличение теплотехнической однородности ограждающей конструкции, т.е., соответственно, снижение общего коэффициента теплопередачи здания.

4.9 Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, $q_{от}^{тр}$, Вт/(м^3·°С), определяется по таблице 13 из [1] для малоэтажных жилых одноквартирных зданий или 14 из [1] для других различных типов жилых и общественных зданий.

Формула (Г.1) обязательного Приложения Г из [1] для определения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^{р}$, Вт/(м^3·°С), в Изменении № 1 к [1] была преобразована к виду

$$q_{от}^{р} = k_{об} + k_{вент} - \beta_{КПИ} \cdot \left(k_{быт} + k_{рад}\right), \qquad (4.5)$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м^3·°С), определяется в соответствии с приложением Ж [1];

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м^3·°С);

$k_{быт}$ – удельная характеристика внутренних теплопоступлений здания, Вт/(м^3·°С);

$k_{рад}$ – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м^3·°С);

$\beta_{КПИ}$ – коэффициент полезного использования теплопоступлений, определяемый по формуле

$$\beta_{КПИ} = K_{рег} / \left(1 + 0{,}5 \cdot n_{в}\right), \qquad (4.5а)$$

$K_{рег}$ – коэффициент эффективности регулирования подачи теплоты в системах отопления; рекомендуемые значения:

$K_{рег}$ = 0,95 – в системе отопления с местными терморегуляторами и с пофасадным авторегулированием на вводе;

$K_{рег}$ = 0,9 – в системе отопления с местными терморегуляторами и с центральным авторегулированием на вводе;

$K_{рег}$ = 0,85 – в системе отопления без местных терморегуляторов и с пофасадным авторегулированием;

$K_{рег}$ = 0,8 – в системе отопления с местными терморегуляторами и без авторегулирования на вводе;

$K_{рег}$ = 0,7 – в системе отопления без местных терморегуляторов и с центральным авторегулированием на вводе;

$K_{рег}$ = 0,6 – в системе отопления без местных терморегуляторов и без авторегулирования на вводе;

$n_в$ – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, $ч^{-1}$.

4.10 Согласно приказа Минстроя РФ № 1550/пр от 17.11.2017 г. «Об утверждении Требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений»: для вновь создаваемых зданий (в том числе многоквартирных домов), строений, сооружений удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию уменьшается по отношению к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых одноквартирных зданий (таблица 13 из [1]) или удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию (таблица 14 из [1]):

- с 1 июля 2018 г. – на 20 процентов;
- с 1 января 2023 г. – на 40 процентов;
- с 1 января 2028 г. – на 50 процентов.

Согласно данного приказа к обязательным техническим требованиям, обеспечивающим достижение показателей, характеризующих выполнение требований энергетической эффективности относятся поэлементные, комплексное и санитарно-гигиеническое требования к теплозащитной

оболочке здания, описанные в пп. 4.4-4.8 настоящего Методического пособия, а также ряд «первоочередных требований», установленных п. 8.1 Постановления Правительства РФ от 25.01.2011 г. №18:

а) для административных и общественных зданий общей площадью более 1000 м^2, подключенных к системам централизованного теплоснабжения, при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте внутренних инженерных систем теплоснабжения:

- установка (при условии технической возможности) оборудования, обеспечивающего в системе внутреннего теплоснабжения здания поддержание гидравлического режима, автоматическое регулирование потребления тепловой энергии в системах отопления и вентиляции в зависимости от изменения температуры наружного воздуха, приготовление горячей воды и поддержание заданной температуры в системе горячего водоснабжения;
- оборудование (при условии технической возможности) отопительных приборов автоматическими терморегуляторами (регулирующими клапанами с термоэлементами) для регулирования потребления тепловой энергии в зависимости от температуры воздуха в помещениях;

б) для проектируемых многоквартирных домов, подключаемых к системам централизованного теплоснабжения – установка (при условии наличия технической возможности) оборудования, обеспечивающего в системе внутреннего теплоснабжения многоквартирного дома поддержание гидравлического режима, автоматическое регулирование потребления тепловой энергии в системах отопления и вентиляции в зависимости от изменения температуры наружного воздуха, приготовление горячей воды и поддержание заданной температуры в системе горячего водоснабжения;

в) для помещений административных и общественных зданий с проектным числом работы осветительных приборов свыше 4 тыс. часов в год и систем освещения, относящихся к общему имуществу в многоквартирном доме, при

проектировании новых, а также при реконструкции и капитальном ремонте внутренних инженерных систем освещения – использование для рабочего освещения источников света со светоотдачей не менее 95 лм/Вт и устройств автоматического управления освещением в зависимости от уровня естественной освещенности, обеспечивающих параметры световой среды в соответствии с установленными нормами.

5 Теплотехнические показатели автоклавных ячеистобетонных изделий при эксплуатационных условиях в ограждающих конструкциях

5.1 При теплотехнических расчетах по п. 4.7 используется теплопроводность материала при условиях эксплуатации конструкции А или Б. Условия эксплуатации ограждающих конструкций А или Б в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района строительства, необходимые для выбора теплотехнических показателей материалов наружных ограждений, следует устанавливать по таблице 5.1.

Таблица 5.1 — **Условия эксплуатации ограждающих конструкций**

Влажностный режим помещений зданий (по таблице 5.2)	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности (по рисунку 5.1)		
	сухой (3)	нормальной (2)	влажной (1)
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

Влажностный режим помещений зданий в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха следует устанавливать по таблице 5.2. Зоны влажности территории России следует определять согласно рисунку 5.1.

Таблица 5.2 — **Влажностный режим помещений зданий**

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	св. 12 до 24	св.24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Св. 60 до 75	Св. 50 до 60	Св. 40 до 50
Влажный	Св.75	Св 60 до 75	Св 50 до 60

Мокрый	—	Св. 75	Св. 60

П р и м е ч а н и е – Таблица 5.2 устанавливает влажностный режим помещений зданий только в холодный период года и служит только для выбора условий эксплуатации наружных ограждающих конструкций по таблице 5.1. Является ошибочным использование данной таблицы для выбора материалов внутренних ограждений по другим нормативным документам, например по СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции.

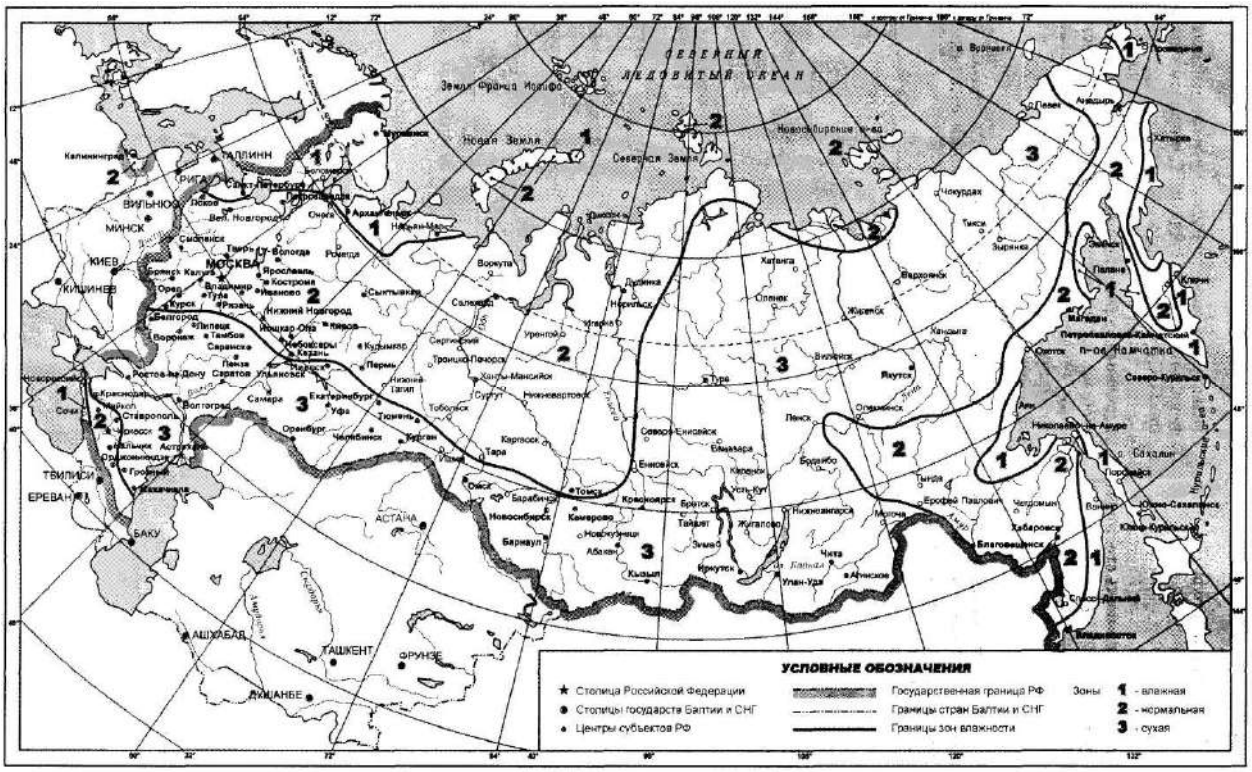

Рисунок 5.1 – Карта зон влажности

5.2 Теплопроводность строительных материалов при условиях эксплуатации конструкции А или Б, Вт/(м·°С), принимается по Приложению Т [1] – таблица расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий. К современным автоклавным ячеистобетонным изделиям можно отнести пп. 169-172 данной таблицы: «Газо- и пенобетон на цементном вяжущем» плотностью от 400 кг/м^3 до 1000 кг/м^3. Однако следует признать использование Приложения Т из [1] для назначения расчетных теплотехнических показателей автоклавного ячеистого бетона современного

производства некорректным по ряду причин:

- название «Газо- и пенобетон на цементном вяжущем» не отражает реальный класс современных материалов, отличающийся идентичным набором теплофизических свойств и, по факту, объединяет две группы ячеистых бетонов: газобетон (автоклавного твердения) и пенобетон (неавтоклавного твердения). Некоторые теплотехнические свойства могут отличаться у этих групп материалов в несколько раз (например, расчетная влажность и, соответственно, расчетная теплопроводность);
- только две марки по плотности из четырех представленных в таблице применяются в строительстве в настоящее время (400 кг/м^3 и 600 кг/м^3), при этом газобетон марок по плотности 800 кг/м^3 и 1000 кг/м^3 фактически не производится;
- в таблице нет данных для газобетона марки по плотность 500 кг/м^3, которого в настоящее время выпускается более 65% от всего объема, а так же газобетона плотностью ниже 400 кг/м^3, которого производится больше с каждым годом.

Корректное назначение теплотехнических показателей автоклавных ячеистобетонных изделий современного производства при эксплуатационных условиях в ограждающих конструкциях возможно провести благодаря подготовленным лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН в 2019 году новым нормативным документам: ГОСТ Р «Конструкции ограждающие зданий. Методы определения теплотехнических показателей теплоизоляционных материалов и изделий при эксплуатационных условиях» и Методическое пособие ФАУ «ФЦС» по назначению расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий [5]. Ниже представлены основные положения этих документов в части, касающейся теплотехнических показателей автоклавного ячеистого бетона и изделий из него при эксплуатационных условиях, а также приведены полученные по методикам из них справочные данные.

5.3 Теплопроводность строительных материалов и изделий при эксплуатационных условиях (при эксплуатационной влажности $w_э$, %), $\lambda_э$, Вт/(м·ºС), определяют по формуле

$$\lambda_э = \lambda_0(1+\eta \cdot w_э), \qquad (5.1)$$

где λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·ºС), определяемая по п. 5.4 либо по данным из п. 5.6 для автоклавных ячеистобетонных изделий;

η – коэффициент теплотехнического качества, 1/%, согласно таблице Д.1 из [3] – для ячеистого бетона равен 0,04 (1/%);

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

5.4 Теплопроводность автоклавных ячеистобетонных изделий в сухом состоянии, λ_0, Вт/(м·ºС), следует определять по методике ГОСТ 7076 с учетом дополнений и пояснений, приведенных в настоящем пункте.

Стандартно теплопроводность в сухом состоянии определяется при средней температуре в образце 25 ºС, при этом разность температур между рабочими поверхностями прибора должна устанавливаться от 10 ºС до 30 ºС. Для образцов изделий в виде пластин толщиной 50 мм оптимальной разностью температур между рабочими поверхностями является 25 ºС, т.е. для создания средней температуры в образце 25 ºС температуры на поверхностях должны быть установлены 12,5 ºС и 37,5 ºС соответственно.

Для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций, а также для сравнения теплотехнических качеств автоклавных ячеистобетонных изделий с другими видами материалов теплопроводность в сухом состоянии может определяться при средней температуре в образце 10 ºС (при условии, что теплопроводность сравниваемого материала также определена при средней температуре 10 ºС).

Для уточнения значений теплопроводности автоклавных ячеистобетонных изделий в сухом состоянии следует использовать следующий алгоритм:

– образцы высушивают в лабораторном сушильном шкафу до постоянной массы по методике при температуре 105 °С, устанавливают массу каждого образца в сухом состоянии – m_0, г;

– определяют теплопроводность каждого образца материала по методике ГОСТ 7076, обозначают ее – λ’, Вт/(м·°С);

– сразу после измерения теплопроводности каждый образец снова взвешивают, обозначают эту массу – m’, г (эта масса будет несколько выше, чем масса в сухом состоянии, ввиду сорбционной способности ячеистого бетона);

– устанавливают влажность каждого образца w’, %, после испытания теплопроводности по формуле

$$w' = \frac{m' - m_0}{m_0} \cdot 100\%; \qquad (5.2)$$

– расчетом определяют теплопроводность каждого образца материала в сухом состоянии, λ_0, Вт/(м·°С), по формуле

$$\lambda_0 = \lambda' / (1 + \eta \cdot w'), \qquad (5.3)$$

где η – тоже, что и в п. 5.3, для ячеистого бетона равен 0,04 (1/%);

– теплопроводность материала (изделия) в сухом состоянии определяют как среднеарифметическое значение всех испытанных образцов.

5.5 Теплопроводность строительных материалов и изделий при условиях эксплуатации конструкции А и Б, $\lambda_А$ и $\lambda_Б$, Вт/(м·°С) – расчетную теплопроводность, определяют, соответственно, по формулам:

$$\lambda_А = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_А), \qquad (5.1а)$$

$$\lambda_Б = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_Б), \qquad (5.1б)$$

где λ_0, η – то же, что в формуле (5.1);

$w_А$, $w_Б$ – расчетные влажности материалов для условий эксплуатации конструкции А и Б, %, соответственно, принимаемые по приложению Т СП 50.13330 для данного типа материала либо определяемые по результатам серии натурных экспериментов.

5.6 По обобщению нескольких серий экспериментальных исследований теплопроводности ячеистого бетона автоклавного твердения, проведенных за последние 10 лет в лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН, найдена и обоснована линейная зависимость теплопроводности данного типа материала от плотности. Для стандартных автоклавных ячеистобетонных изделий современного производства теплопроводность в сухом состоянии, λ_0, Вт/(м·ºС), при средней температуре 25 ºС может быть найдена в зависимости от плотности, ρ, кг/м^3 по формуле

$$\lambda_0 = 0{,}0002\rho + 0{,}026 . \qquad (5.4)$$

Для автоклавных ячеистобетонных изделий с улучшенными теплотехническими свойствами (за счет модификации состава либо оптимизации технологии производства) зависимость теплопроводности в сухом состоянии, λ_0, Вт/(м·ºС), при средней температуре 25 ºС от плотности, ρ, кг/м^3, выражается формулой

$$\lambda_0 = 0{,}00018\rho + 0{,}026 . \qquad (5.5)$$

П р и м е ч а н и е – В некоторых случаях, для удобства, теплопроводность в сухом состоянии, λ_0, при средней температуре 25 ºС обозначается, как λ_{25}, а теплопроводность при средней температуре 10 ºС – λ_{10}. При обозначении теплопроводности в сухом состоянии λ_0 индекс 0 обозначает влажность материала при определении теплопроводности; при обозначении λ_{25} и λ_{10} – среднюю температуру в образце в ºС при определении.

Теплопроводность в сухом состоянии автоклавных ячеистобетонных изделий при средней температуре 10 ºС, λ_{10}, Вт/(м·ºС), может быть примерно определена по значению теплопроводности в сухом состоянии при средней температуре 25 ºС, λ_{25}, Вт/(м·ºС), по формуле

$$\lambda_{10} = 0{,}096 \cdot \lambda_{25} . \qquad (5.6)$$

Найденные по формулам (5.4)-(5.6) примерные значения теплопроводности в сухом состоянии для автоклавных ячеистобетонных изделий в зависимости от плотности представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 — **Теплопроводность АЯБ в сухом состоянии в зависимости от плотности**

Плотность материала, ρ, кг/м^3	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С), при средней температуре 25 °С		Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{10}, Вт/(м·°С), при средней температуре 10 °С	
	Стандартные изделия	Изделия с улучшенными теплотехническими свойствами	Стандартные изделия	Изделия с улучшенными теплотехническими свойствами
100	0,047	0,044	0,045	0,042
200	0,068	0,062	0,065	0,060
300	0,089	0,080	0,085	0,077
400	0,110	0,098	0,106	0,094
500	0,131	0,116	0,126	0,111
600	0,152	0,134	0,146	0,129
700	0,173	0,152	0,166	0,146
800	0,194	0,170	0,186	0,163

Представленные зависимости теплопроводности в сухом состоянии от плотности автоклавного ячеистого бетона позволяют в рамках одного производства (с одним сырьем и производственной базой), определив на одной марке по плотности теплопроводность изделия, спрогнозировать теплопроводность изделий других марок по плотности.

5.7 Основным способом определения эксплуатационной влажности строительных материалов являются натурные исследования, т.к. по их результатам возможно установить распределение влажности для конкретной конструкции при конкретных условиях эксплуатации. Однако результаты натурных исследований даже для одного типа конструкций при одних и тех же эксплуатационных условиях могут иметь большой разброс. Именно по статистическим данным большого количества натурных исследований, а

также по экспертным оценкам были назначены значения расчетной влажности в условиях эксплуатации А и Б из приложения Т [1]. Эти значения переносятся в СНиП «Тепловая защита зданий» (ранее СНиП «Строительная теплотехника») из редакции в редакцию лишь с небольшими изменениями и дополнениями, и для автоклавного ячеистого бетона, где влажности в условиях эксплуатации А и Б приняты равными 8 % и 12 %, соответственно, их следует признать устаревшими. Эти данные были получены для ячеистых бетонов, производимых до 90-х годов XX века и имевших другие тепловлажностные характеристики. С того времени был практически полностью заменен парк оборудования для производства, изменились технологии и составы, из-за повышения норм к теплозащите более широкое применение получили марки пониженной плотности.

Практический интерес представляют собой результаты численных расчетов влажностного режима по методике ГОСТ 32494 ограждающих конструкций из автоклавных ячеистобетонных изделий. Во многих случаях результаты натурных исследований и численных расчетов по данному методу показывают хорошую сходимость [5], однако, иногда, численные расчеты показывают неоправданно низкие значения эксплуатационной влажности. При таком подходе, если в формуле (5.1) использовать значение эксплуатационной влажности, полученное численным расчетом по методике ГОСТ 32494, необходимо сравнить его со значением максимальной сорбционной влажности, полученное по методике ГОСТ 24816, и подставлять наибольшее из этих значений.

Для назначения обобщенной эксплуатационной влажности при условиях А или Б (расчетной влажности) оправдано использовать сочетание методов натурных испытаний и численных расчетов, как это описано в Методическом пособии ФАУ ФЦС по назначению расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий.

5.8 По обобщению серии натурных экспериментов и численных расчетов, проведенных лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН,

согласно Методического пособия ФАУ ФЦС по назначению расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий, были установлены расчетные влажности автоклавных ячеистобетонных изделий современного производства для условий эксплуатации конструкции А и Б, %, которые составили: $w_А$ = 4 %, $w_Б$ = 6 %. Эти значения внесены также в Приложение Б «Обобщенные расчетные влажности строительных материалов при условиях эксплуатации конструкции А и Б» Методического пособия ФАУ ФЦС по назначению расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий.

5.9 В таблице 5.4 представлены расчетные теплопроводности для автоклавных ячеистобетонных изделий современного производства, полученные по формулам (5.1а) и (5.1б), согласно данных по теплопроводности в сухом состоянии при средней температуре 25 °С и 10 °С из табл. 5.3, коэффициента теплотехнического качества для ячеистого бетона η = 0,04 (1/%) и расчетных влажностей по п. 5.7 $w_А$ = 4 %, $w_Б$ = 6 %.

Таблица 5.4 — **Расчетная теплопроводность АЯБ**

Плотность материала, ρ, кг/м^3	Расчетная теплопроводность от λ_{25} при условиях эксплуатации А и Б, Вт/(м·°С)				Расчетная теплопроводность от λ_{10} при условиях эксплуатации А и Б, Вт/(м·°С)			
	Стандартные изделия		Изделия с улучшенными теплотехническими свойствами		Стандартные изделия		Изделия с улучшенными теплотехническими свойствами	
	$\lambda_А$	$\lambda_Б$	$\lambda_А$	$\lambda_Б$	$\lambda_А$	$\lambda_Б$	$\lambda_А$	$\lambda_Б$
100	0,055	0,058	0,051	0,055	0,052	0,056	0,049	0,052
200	0,079	0,084	0,072	0,077	0,076	0,081	0,069	0,074
300	0,103	0,110	0,093	0,099	0,099	0,106	0,089	0,095
400	0,128	0,136	0,114	0,122	0,122	0,131	0,109	0,117
500	0,152	0,162	0,135	0,144	0,146	0,156	0,129	0,138
600	0,176	0,188	0,155	0,166	0,169	0,181	0,149	0,160
700	0,201	0,215	0,176	0,188	0,193	0,206	0,169	0,181
800	0,225	0,241	0,197	0,211	0,216	0,231	0,189	0,202

6 Пример расчета тепловой защиты и энергопотребления ограждающей конструкции из автоклавных ячеистобетонных изделий многоквартирного здания малоэтажной застройки

6.1 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 $t_н$=*-25* °С;
- средняя годовая температура $t_г$=*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* °С, $\varphi_в$=*55*%. Точка росы для данных параметров внутреннего воздуха составляет $t_{т.р.}$=*10,7* °С.

Согласно СП 50.13330.2012 [1] 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

$$ГСОП = (t_в - t_{от}) \cdot z_{от}, \quad ГСОП = (20 - (-2{,}2)) \cdot 205 \approx 4551 \ °С·сут/год.$$

Климат и микроклимат жилых домов в г. Москва, согласно п. 5.1, соответствуют расчетным условиям «Б», что учитывается при выборе характеристик строительных материалов.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче для стен определяется согласно п. 5.2 [1] с учетом п. 4.4:

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

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче для кровли определяется согласно п. 5.2 [1] с учетом п. 4.4:

$$R_{\text{о, кровля}}^{\text{норм}} = 0{,}8 \cdot (0{,}00055 \cdot 4551 + 1{,}9) \approx 3{,}16\,(\text{м}^2 \cdot °\text{C})/\text{Вт}.$$

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче для светопрозрачных ограждающих конструкций определяется интерполяцией согласно п. 5.2 [1]: $R_{\text{о,к}}^{\text{норм}} \approx 0{,}66\,(\text{м}^2 \cdot °\text{C})/\text{Вт}$.

6.2 Описание исследуемой ограждающей конструкции

Исследуется 2-секционный 3-этажный жилой дом с ограждающей конструкцией из однослойной кладки из автоклавного газобетона марки по плотности D400 толщиной 0,4 м. Стена оштукатурена с наружной и внутренней стороны штукатурным составом для отделки по газобетону. Цоколь облицован плиткой из керамогранита.

Согласно п. 4.6 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, оштукатуренная с двух сторон – плоский элемент 1;
- Примыкание оконного блока к стене – линейный элемент 1;
- Сопряжение плиты перекрытия с перфорацией – линейный элемент 2;
- Кладочные швы – линейный элемент 3.

6.3 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции

Фасад здания, включая светопроемы, имеет общую площадь 1494 м^2. Стена содержит следующие светопроемы: 1800×1900 мм – 24 шт, 1500×1900

мм – 6 шт, 1800×1150 мм – 6 шт, 1800×630 мм – 6 шт, 4160×1900 мм – 12 шт, 2725×1150 мм – 12 шт, 1100×1900 мм – 6 шт, 900×1900 мм – 6 шт. Суммарная площадь светопроемов составляет 269 м^2.

Площадь поверхности стены составляет (площадь плоского элемента): A = 1494 – 269 = 1225 м^2.

Общая длина проекции оконных откосов, определяется по экспликации оконных проемов и равна 656 м. Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента (удельная геометрическая характеристика линейного элемента 1) равна: $l_1 = \frac{656}{1225} = 0{,}535$ м$^{-1}$.

Суммарная протяженность торцов перекрытий, на фасаде составляет 238 м. Длина проекции этих торцов перекрытий, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента равна (удельная геометрическая характеристика линейного элемента 2) $l_2 = \frac{238}{1225} = 0{,}194$ м$^{-1}$

Согласно табл. 5.4 расчетная теплопроводность при условиях эксплуатации Б для стандартных изделий составляет $\lambda_Б$ = 0,136 Вт/(м·°С), тогда по п. 4.7 для плоского элемента 1 условное сопротивление теплопередаче и удельные потери теплоты равны:

$R_o^{усл} = 1/8{,}7 + 0{,}4/0{,}136 + 1/23 = 3{,}10$ м^2·°С/Вт; $U = \frac{1}{R_o^{усл}} = \frac{1}{3{,}1} \approx 0{,}323$ Вт/(м^2·°С).

Значение удельных потерь теплоты Ψ_1 для оконных откосов определяются интерполяцией по данным табл. Г.31 из [2] для значения толщины рамы 120 мм, $d_з$=0 мм, $d_{кл}$=400 мм, $\lambda_{кам}$=0,136 Вт/(м °С): Ψ_1 = 0,035 Вт/(м °С).

Перекрытие толщиной 210 мм, на которое опирается стена, перфорировано в соотношении 3:1. Значение удельных потерь теплоты Ψ_2 для торцов перекрытий определяются интерполяцией по данным табл. Г.7 из [2] для значения толщины перекрытия 210 мм, при перфорации 3:1, $d_{кл}$=400 мм, $\lambda_{кам}$=0,136 Вт/(м °С): Ψ_2 = 0,230 Вт/(м °С).

Удельные потери теплоты Ψ_3, Вт/(м·°С), для узла прохождения

растворного шва при использовании клея толщиной 2 мм по табл. Г.1 из [2] составляют: Ψ_3 = 0 Вт/(м·°С), поэтому дальнейший расчет приведенного сопротивления теплопередаче ведется без учета этой величины.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены по формуле (4.2) составляет:

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j} = \frac{1}{1 \cdot 0{,}323 + 0{,}535 \cdot 0{,}035 + 0{,}194 \cdot 0{,}230} = 2{,}59 \text{ (м}^2\cdot^{\text{o}}\text{С)/Вт.}$$

Полученное приведенное сопротивление теплопередаче стены больше найденного выше нормируемого значения, таким образом поэлементное требование по теплозащите из [1] выполнено.

6.4 Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

В технических помещениях и лестничных площадках температура внутреннего воздуха отличается от основных (жилых) помещений здания. В среднем за отопительный период она составляет $t_{ЛЛУ}$=18 °С.

Коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры ЛЛУ от температуры жилых помещений, составляет $n_{ЛЛУ} = \frac{t_{ЛЛУ} - t_{от}}{t_{в} - t_{от}} = \frac{18-(-2{,}2)}{20-(-2{,}2)} = 0{,}910.$

Подвальные помещения не отапливаются, поэтому они не входят в отапливаемый объем здания. В среднем за отопительный период температура воздуха в подвале составляет $t_{под}$=5 °С.

Коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры подвала от температуры наружного воздуха, составляет $n_{под} = \frac{t_{в} - t_{под}}{t_{в} - t_{от}} = \frac{20-5}{20-(-2{,}2)} = 0{,}676.$

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

а) Наружная стена здания площадью 1215,5 м^2 из кладки из газобетонных блоков, оштукатуренная с двух сторон. Приведенное сопротивление теплопередаче этой стены определено выше и составляет 2,59 (м^2·°С)/Вт.

b) Совмещенное кровельное покрытие. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{кр2}=4,47$ (м^2·°С)/Вт (требуемое согласно п. 5.2 без учета понижающего коэффициента $m_р = 0,80$). Площадь кровельного покрытия данной конструкции составляет $A_{кр}=568,1$ м^2.

c) Перекрытие над подвалом. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{цок}=3,95$ (м^2·°С)/Вт (требуемое согласно п. 5.2 с без учета понижающего коэффициента $m_р = 0,80$). Площадь перекрытия данной конструкции составляет $A_{цок}=568,1$ м^2.

d) Окна. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{ок}=0,8$ (м^2·°С)/Вт (выше требуемого согласно п. 5.2 с учетом коэффициента $m_р = 1$ по Изменению №1 к [1]). Площадь окон составляет по основной части здания $A_{ок}=248,6$ м^2, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{окЛЛУ}=20,5$ м^2.

e) Входные двери. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{дв}=0,83$ (м^2·°С)/Вт. Площадь входных дверей составляет $A_{дв}=9,6$ м^2

Отапливаемый объем здания $V_{от}=4653,8$ м^3.

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по Приложению Ж [1]:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{ф,i}}{R^{пр}_{o,i}} \right) = \frac{1}{4653,8} \left[\frac{1134,2}{2,59} + \frac{248,6}{0,8} + \frac{538,5}{4,47} + 0,676 \cdot \frac{568,1}{3,95} + \right.$$
$$\left. + 0,910 \cdot \left(\frac{81,3}{2,59} + \frac{29,6}{4,47} + \frac{20,5}{0,8} + \frac{9,6}{0,83} \right) \right] = \frac{1001,4}{4653,8} = 0,222 \text{ Вт/(м}^3\text{·°С).}$$

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле:

$$k^{тр}_{об} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{4653,8}}}{0,00013 \cdot 4551 + 0,61} = \frac{0,307}{1,202} = 0,255 \text{ Вт/(м}^3\text{·°С)}$$

Удельная теплозащитная характеристика здания меньше нормируемой величины, следовательно, оболочка удовлетворяет комплексному требованию из [1] и основное требование к теплозащите здания выполнено.

6.5 Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий

Под первым этажом расположен подвал и технические помещения. Средняя за отопительный период расчетная температура воздуха в помещениях $t_{под}=5$ °С. Средняя за отопительный период расчетная температура воздуха в помещениях $t_{жил}=20$ °С. Объемно – планировочные показатели: Отапливаемый объем здания $V_{от}=4653,8$ м^3. В том числе:

- отапливаемый объем жилой части здания: $V_{от1}=4336,7$ м^3;
- отапливаемый объем технических помещений и ЛЛУ: $V_{от2}=317,1$ м^3;
- сумма площадей этажей здания: $A_{от}=1692$ м^2;
- площадь жилых помещений: $A_{ж}=1272,3$ м^2;
- расчетное количество жителей: $m_{ж}= 60$чел;
- высота здания от пола первого этажа до обреза вытяжной шахты: 12,05 м;
- общая площадь наружных ограждающих конструкций: $A_{н}^{сум}=2630,5$ м^2;
- площадь стен жилой части здания: 1134,2 м^2;
- то же, технических помещений и ЛЛУ: 81,3 м^2;
- то же, совмещенного кровельного покрытия: 568,1 м^2;
- то же, перекрытий над подвалом: 568,1 м^2.

Площадь надземного остекления по сторонам света:

Сторона света	Площадь, м^2
С	-
СВ	29,5
В	-
ЮВ	121,6
Ю	-
ЮЗ	29,5
З	-
СЗ	88,5
Всего	269

Всего остекления 269 м^2; площадь входных дверей: 9,6 м^2; коэффициент компактности здания: $K_{комп}=0,57$; коэффициент остекленности здания: $f=0,18$.

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

a) Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитана выше:

$$k_{об} = 0{,}222 \text{ Вт/(м}^3 \text{ °С)}$$

b) Удельная вентиляционная характеристика здания согласно Изменению № 1 к [1] определяется по формуле (Г.2):

$$k_{\text{вент}} = 0{,}28 \cdot c \cdot \left(L_{\text{вент}} \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} \cdot n_{\text{вент}} \cdot \left(1 - k_{\text{эф}}\right) + G_{\text{инф}} \cdot n_{\text{инф}}\right) / \left(168 \cdot V_{\text{от}}\right) = 0{,}163 \text{ Вт/(м}^3 \text{ °С)}$$

В расчетах приняты следующие параметры, определяемые по Приложению Г из [1]:

Количество приточного воздуха в здание, $L_{\text{вент}}$, м^3/ч, согласно (Г.3) из [1] определяется, как большее из двух значений:

$$L_{вент1} = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ м}^3\text{/ч}, \; L_{вент2} = 3 \cdot A_{ж} = 3 \cdot 1272 = 3816 \text{ м}^3\text{/ч}$$

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

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, $\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$, кг/м^3, определяемая по формуле:

$$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 353 / \left[273 + t_{\text{от}}\right] = 353 / 270{,}8 = 1{,}30 \text{ кг/м}^3$$

Число часов работы механической вентиляции в течение недели, $n_{\text{вент}}$, ч, равно168.

Коэффициент эффективности рекуператора, $k_{\text{эф}}$, равен 0,5 (средняя эффективность).

Количество инфильтрующегося воздуха в здание, $G_{\text{инф}}$, кг/ч, определяется по формуле (Г.5) из [1]:

$$G_{\text{инф}} = \left(A_{\text{ок}} / R_{\text{и, ок}}^{тр}\right) \cdot \left(\Delta p_{\text{ок}} / 10\right)^{2/3} + \left(A_{\text{дв}} / R_{\text{и, дв}}^{тр}\right) \cdot \left(\Delta p_{\text{дв}} / 10\right)^{1/2} =$$
$$= (248{,}6 / 0{,}42) \cdot (2{,}1 / 10)^{2/3} + (9{,}6 / 0{,}3) \cdot (2{,}1 / 10)^{1/2} = 223{,}7 \text{ кг/ч}$$

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

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

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{быт} \cdot A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}} \cdot \left(t_{в} - t_{от}\right)} = \frac{16{,}7 \cdot 1272{,}3}{4653{,}8 \cdot 22{,}2} = 0{,}206 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)},$$

где $q_{быт}$ принимается с в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции между 17 Вт/м^2 при заселенности 20 м^2 на человека и 10 Вт/м^2 при заселенности 45 м^2 на человека.

Расчетная заселенность квартир составляет 21,2 м^2 на человека, тогда:

$$q_{\text{быт}} = 17 + \frac{10-17}{45-20}(21{,}2-20) = 16{,}7 \text{ Вт/м}^2$$

d) Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11{,}6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{(V_{\text{от}} \cdot ГСОП)} = \frac{11{,}6 \cdot 139721}{(4653{,}8 \cdot 4551)} = 0{,}077 \text{ Вт/(м}^3\cdot^{\text{o}}\text{C)}.$$

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

$Q_{рад}^{год} = \tau_F \cdot k_F \cdot (A_{F1} \cdot I_{F1} + A_{F2} \cdot I_{F2} + A_{F3} \cdot I_{F3} + A_{F4} \cdot I_{F4}) + \tau_{scy} \cdot k_{scy} \cdot A_{scy} \cdot I_{hor} =$ *0,8·0,74·(29,5·677+ 88,5·677+ 121,6·1285+29,5·1285)= 139721* МДж.

e) коэффициент полезного использования теплопоступлений, $\beta_{КПИ}$, определяемый по формуле (4.5а):

$$\beta_{КПИ} = K_{\text{рег}} / (1 + 0{,}5 \cdot n_{\text{в}}) = 0{,}9 / 1{,}25 = 0{,}72$$

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

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

$$n_{\text{в}} = \left[(L_{\text{вент}} n_{\text{вент}})/168 + (G_{\text{инф}} \cdot n_{\text{инф}})/(168 \rho_{в}^{вент})\right]/(\beta_v V_{\text{от}}) = (1972)/(0{,}85 \cdot 4653{,}8) = 0{,}5 \text{ ч}^{-1}$$

Подставляя полученные значения в формулу (4.5), получаем, что расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период равна:

$$q_{\text{от}}^{p} = k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - \beta_{КПИ} \cdot (k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}) = 0{,}222 + 0{,}163 - 0{,}72 \cdot (0{,}206 + 0{,}077) = 0{,}181 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше

0,372 Вт/(м^3·°С) – величины нормируемой (базовой) по табл. 14 [1] для многоквартирных домой. Снижение от требуемого значения составляет 51 %, что соответствует классу энергосбережения здания «А+» согласно табл. 15 [1].

Таким образом, выполняется третий этап приказа Минстроя РФ № 1550/пр от 17.11.2017 г. «Об утверждении Требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений», начинающего действовать с 1 января 2028 г.

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

$$Q_{от}^{год} = 0{,}024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от}^{р} = 0{,}024 \cdot 4551 \cdot 4653{,}8 \cdot 0{,}181 \approx 92214 \text{ кВт·ч/год}$$

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

$$Q_{общ}^{год} = 0{,}024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot (k_{об} + k_{вент}) = 0{,}024 \cdot 4551 \cdot 4653{,}8 \cdot (0{,}222 + 0{,}163) \approx 195722 \text{ кВт·ч/год}$$

h) Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q, кВт·ч/(м^2·год), определяется по формуле (Г.9а):

$$q = \frac{Q_{от}^{год}}{А_{от}} = \frac{92214}{1692} = 54{,}5 \text{ кВт·ч/(м}^2 \cdot \text{год)}.$$

Ниже представлен энергетический паспорт здания, заполненный по форме Приложения Д из [1] согласно полученным в настоящем разделе показателям.

6.6 Энергетический паспорт здания

1 Общая информация

Дата заполнения (число, месяц, год)	
Адрес здания	
Разработчик проекта	
Адрес и телефон разработчика	
Шифр проекта	
Назначение здания, серия	Блокированный 2-секционный жилой дом
Этажность, количество секций	2 секции по 3 этажа
Количество квартир	18
Расчетное количество жителей или служащих	60
Размещение в застройке	Отдельно стоящее
Конструктивное решение	Однослойное из газобетонных блоков

2 Расчетные условия

№ п.п.	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	$t_н$	°С	-25
2	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	-2,2
3	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	205
4	Градусо-сутки отопительного периода	*ГСОП*	°С·сут/год	4551
5	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_в$	°С	20
6	Расчетная температура чердака	$t_{черд}$	°С	-
7	Расчетная температура техподполья	$t_{подп}$	°С	5

3. Показатели геометрические

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения		Расчетное проектное значение	Фактическое значение
8	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}$, м^2	–	1692	
9	Площадь жилых помещений	$A_ж$, м^2	–	1272,3	
10	Расчетная площадь (общественных зданий)	$A_р$, м^2	–	-	
11	Отапливаемый объем	$V_{от}$, м^3	–	4953,8	
12	Коэффициент остекленности фасада здания	f		0,18	
13	Показатель компактности здания	$K_{комп}$, м$^{-1}$		0,57	
14	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_н^{сум}$, м^2		2630,5	
	стены из кладки из газобетонных блоков оштукатуренные	$A_{ст1}$		1215,54	
	входных дверей	$A_{дв}$		9,6	
	покрытий (совмещенных) эксплуатируемой кровли	$A_{кр1}$		568,1	
	перекрытий над техническими подпольями	$A_{кр2}$		-	
	перекрытий над проездами или под эркерами	$A_{цок1}$		568,1	
	окон и балконных дверей	$A_{цок2}$		-	
	окон лестнично-лифтовых узлов				
	окон по сторонам света	$A_{ок.1}$		248,6	
	С			20,5	
	СВ	$A_{ок.2}$			

	В ЮВ Ю ЮЗ З СЗ			- 29,5 - 121,6 - 29,5 88,5	

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:	$R_o^{пр}$, м^2·°С/Вт			
	стены из кладки из газобетонных блоков оштукатуренные	$R_{ст1}$	1,89	2,59	
	окон и балконных дверей				
	окон лестнично-лифтовых узлов	$R_{ок.1}$	0,65	0,8	
	входных дверей	$R_{ок.2}$	0,65	0,8	
	покрытий (совмещенных)	$R_{дв}$	0,78	0,83	
	перекрытий над техническими подпольями	$R_{кр1}$	3,58	4,47	
		$R_{цок1}$	3,16	3,95	

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·°С)		0,323
17	Кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	n_a, $ч^{-1}$		0,5
18	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{быт}$, Вт/м^2	-	16,7
19	Тарифная цена тепловой энергии для проектируемого здания	$C_{тепл}$, руб/кВт ч		

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 °С)	0,255	0,222
21	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}$, Вт/(м^3 °С)		0,163
22	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}$, Вт/(м^3 °С)		0,206
23	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}$, Вт/(м^3 °С)		0,077

7 Коэффициенты

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя	Нормативное значение показателя
24	Коэффициент эффективности рекуператора	$k_{эф}$	0,5

8 Комплексные показатели расхода тепловой энергии

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
25	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{р}$, Вт/(м^3·°С) [Вт/(м^2·°С)]	0,181
26	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{тр}$, Вт/(м^3·°С) [Вт/(м^2·°С)]	0,372
27	Класс энергосбережения		А+
28	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите		ДА

9 Энергетические нагрузки здания

№ п.п.	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
29	Удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	q	кВт·ч/(м^3·год) кВт·ч/(м^2·год)	54,5
30	Расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	$Q_{от}^{год}$	кВт·ч/год	92214
31	Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q_{общ}^{год}$	кВт·ч/год	195722

7. Пример расчета тепловой защиты и энергопотребления ограждающей конструкции из автоклавных ячеистобетонных изделий многоквартирного здания многоэтажной застройки

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

Те же, что и в п. 6.1.

7.2 Описание исследуемой ограждающей конструкции

Исследуется жилой 22-этажный дом П-образной формы с двухслойными наружными стенами из автоклавного газобетона марки по плотности D300 толщиной 0,3 м, облицованными кирпичом толщиной 0,12 м.

Согласно п. 4.6 в исследуемой ограждающей конструкции выделяются узлы, влияющие на тепловые потери. Для рассмотренного типа ограждения – это узлы сопряжения плиты перекрытия, примыкания оконных блоков к стене и цоколю, углы конструкции, швы кладки. Таким образом, исследуемая конструкция разбивается на условные элементы:

- Газобетонная кладка с облицовкой из пустотелого кирпича на цементно-песчаном растворе – плоский элемент 1;
- Примыкание оконного блока к стене – линейный элемент 1;
- Примыкание к цоколю – линейный элемент 2;
- Кладочные швы – линейный элемент 3;
- Сопряжение плиты перекрытия с перфорацией – линейный элемент 4;
- Углы – линейный элемент 5.

7.3 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции

Фасад здания, включая светопроемы, имеет общую площадь 34811 м^2. В конструкции рассматриваемого здания применено 8 различных типов окон и 3 типа входных дверей:

1) *ОК-1 1585×1550 мм:* периметр одного окна 6,27 м; площадь одного окна 2,46 м^2; количество окон 1468 шт.

2) *ОК-2 1585×1000 мм:* периметр одного окна 5,17 м; площадь одного окна 1,59 м^2; количество окон 169 шт.
3) *ОК-3 1585×2500 мм:* периметр одного окна 8,17 м; площадь одного окна 3,96 м^2; количество окон 801 шт.
4) *ОК-4 1585×3320 мм:* периметр одного окна 9,87 м; площадь одного окна 5,26 м^2; количество окон 168 шт.
5) *ОК-5 1585×4150 мм:* периметр одного окна 11,47 м; площадь одного окна 6,58 м^2; количество окон 84 шт.
6) *ОК-6 1700×2650 мм:* периметр одного окна 8,7 м; площадь одного окна 4,51 м^2; количество окон 37 шт.
7) *ОК-7 2550×2650 мм:* периметр одного окна 10,4 м; площадь одного окна 6,76 м^2; количество окон 34 шт.
8) *ОК-8 850×2650 мм:* периметр одного окна 7 м; площадь одного окна 2,25 м^2; количество окон 8 шт.
9) *ДВ-1 2050×1300 мм:* периметр одной двери 6,7 м; площадь одной двери 2,67 м^2; количество дверей 95 шт.
10) *ДВ-2 2950×2550 мм:* периметр одной двери 11 м; площадь одной двери 7,52 м^2; количество дверей 15 шт.
11) *ДВ-3 4150×2650 мм:* периметр одной двери 13,6 м; площадь одной двери 11 м^2; количество дверей 1 шт.

Площадь поверхности стены составляет (площадь плоского элемента): A = 34811– 9276 = 25535 м^2.

Общая длина проекции оконных откосов, определяется по экспликации оконных проемов и равна 20780 м. Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента (удельная геометрическая характеристика линейного элемента 1) равна: $l_1 = \frac{20780}{25535} = 0{,}814$ м$^{-1}$.

Суммарная протяженность торцов перекрытий, на фасаде составляет 491,2 м. Длина проекции этих торцов перекрытий, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента равна (удельная геометрическая характеристика

линейного элемента 2) $l_2=\frac{491,2}{25535}=0,019$ м$^{-1}$

Суммарная протяженность торцов балконных плит перекрытий, на фасаде составляет 3418 м. Длина проекции этих торцов перекрытий, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента равна (удельная геометрическая характеристика линейного элемента 2) $l_2=\frac{3418}{25535}=0,134$ м$^{-1}$

Здание имеет 6 выпуклых и 2 вогнутых угла.

Согласно табл. 5.4 расчетная теплопроводность при условиях эксплуатации Б для стандартных изделий составляет $\lambda_Б = 0,110$ Вт/(м·°С), для кирпичной кладки из пустотного кирпича плотностью 1400 кг/м^3 на цементно-песчаном растворе согласно приложения Т из [1] – $\lambda_Б = 0,64$ Вт/(м·°С), тогда по п. 4.7 для плоского элемента 1 условное сопротивление теплопередаче и удельные потери теплоты равны:

$$R_o^{усл}=\frac{1}{8,7}+\frac{0,12}{0,64}+\frac{0,3}{0,110}+\frac{1}{23}=3,07 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}; \; U=\frac{1}{R_o^{усл}}=\frac{1}{3,38}\approx 0,325 \text{ Вт/(м}^2\cdot°\text{С)}.$$

Значение удельных потерь теплоты Ψ_1 для оконных откосов определяются интерполяцией по данным табл. Г.29 из [2] для значения толщины рамы 60 мм, $d_з$=60 мм, $d_{кл}$=300 мм, $\lambda_{кам}$=0,110 Вт/(м °С): $\Psi_1 = 0,032$ Вт/(м °С).

Перекрытие толщиной 180 мм, на которое опирается стена, перфорировано в соотношении 3:1. Значение удельных потерь теплоты Ψ_2 для торцов перекрытий определяются интерполяцией по данным табл. Г.7 [2] для значения толщины перекрытия 180 мм, при перфорации 3:1, $d_{кл}$=300 мм, $\lambda_{кам}$=0,110 Вт/(м °С): $\Psi_2 = 0,214$ Вт/(м °С).

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

Балконные перекрытие толщиной 180 мм, перфорированы в соотношении 3:1. Значение удельных потерь теплоты Ψ_4 для торцов перекрытий определяются интерполяцией по данным табл. Г.7 [2] для

значения толщины перекрытия 180 мм, при перфорации 3:1, $d_{кл}$=300 мм, $\lambda_{кам}$=0,110 Вт/(м °С): Ψ_4 = 0,214 Вт/(м °С).

Удельные потери теплоты Ψ_5 для углов кладки определены по таблице Г.27 из [2] и составляют: Ψ_5 = 0,56 Вт/(м °С) и Ψ_6 = -0,160 Вт/(м °С) для выпуклого и вогнутого угла, соответственно.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены по формуле (4.2) составляет:

$$R_o^{np}=\frac{1}{\sum a_i U_i+\sum l_j \Psi_j}=\frac{1}{1\cdot 0,325+0,814\cdot 0,032+0,019\cdot 0,214+0,134\cdot 0,214+0,017\cdot 0,056-0,006\cdot 0,160}=\frac{1}{0,38}=2,60 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт.}$$

Полученное приведенное сопротивление теплопередаче стены больше найденного выше нормируемого значения, таким образом поэлементное требование по теплозащите из [1] выполнено.

7.4 Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

В технических помещениях и лестничных площадках температура внутреннего воздуха отличается от основных (жилых) помещений здания. В среднем за отопительный период она составляет $t_{ЛЛУ}$=18 °С.

Коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры ЛЛУ от температуры жилых помещений, составляет $n_{ЛЛУ}=\frac{t_{ЛЛУ}-t_{от}}{t_в-t_{от}}=\frac{18-(-2,2)}{20-(-2,2)}=0,910$.

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

a) Наружная стена здания площадью 25535 м^2 из кладки из газобетонных блоков с облицовкой из пустотелого кирпича. Приведенное сопротивление теплопередаче этой стены определено выше и составляет 2,60 (м^2·°С)/Вт. по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{НС.ЛЛУ}$=*1502,4* м^2.
b) Совмещенное кровельное покрытие. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{кр2}$=*4,47* (м^2·°С)/Вт (требуемое согласно п. 5.2 без учета понижающего коэффициента $m_р = 0,80$). Площадь кровельного покрытия данной конструкции составляет $A_{кр}$=*3461,9* м^2.

c) Пол 1-го этажа. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{цок}=3,95$ (м^2·°С)/Вт (требуемое согласно п. 5.2 с без учета понижающего коэффициента $m_р = 0,80$). Площадь перекрытия данной конструкции составляет $A_{цок}=3461,9$ м^2.

d) Окна. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{ок}=0,8$ (м^2·°С)/Вт (выше требуемого согласно п. 5.2 с учетом коэффициента $m_р = 1$ по Изменению №1 к [1]). Площадь окон составляет по основной части здания $A_{ок}=8899,4$ м^2, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{окЛЛУ}=267,9$ м^2.

e) Входные двери. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{дв}=0,83$ (м^2·°С)/Вт. Площадь входных дверей составляет $A_{дв}=377$ м^2.

Отапливаемый объем здания $V_{от}=232745$ м^3.

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по Приложению Ж [1]:

$$k_{об}=\frac{1}{V_{от}}\sum_i\left(n_{t,i}\frac{A_{ф,i}}{R^{пр}_{o,i}}\right)=\frac{1}{232745}\left[\frac{25535}{2,60}+\frac{3461,9}{4,47}+\frac{3461,9}{3,95}+\right.$$

$$\left.+0,910\cdot\left(\frac{1502,4}{2,60}+\frac{3461,9}{4,47}+\frac{267,9}{0,8}+\frac{377}{0,83}\right)\right]=0,124\ \text{Вт/(м}^3\cdot{}^{o}\text{С).}$$

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле:

$$k^{тр}_{об}=\frac{0,16+\frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013\cdot ГСОП+0,61}=\frac{0,16+\frac{10}{\sqrt{232745}}}{0,00013\cdot 4551+0,61}=\frac{0,181}{1,202}=0,150\ \text{Вт/(м}^3\cdot{}^{o}\text{С)}$$

Удельная теплозащитная характеристика здания меньше нормируемой величины, следовательно, оболочка удовлетворяет комплексному требованию из [1] и основное требование к теплозащите здания выполнено.

7.5 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 $V_{от}=232745$ м^3. В том числе:

– отапливаемый объем жилой части здания: $V_{от1}=231907$ м^3;
– отапливаемый объем технических помещений и ЛЛУ: $V_{от2}=838$ м^3;
– сумма площадей этажей здания: $A_{от}=72700$ м^2;
– площадь жилых помещений: $A_{ж}=72441$ м^2;
– расчетное количество жителей: $m_{ж}=2520$ чел;
– высота здания от пола первого этажа до обреза вытяжной шахты: 73,5 м;
– общая площадь наружных ограждающих конструкций: $A_н^{сум}=2630,5$ м^2;
– площадь стен жилой части здания: 25535 м^2;
– то же, технических помещений и ЛЛУ: 1502 м^2;
– то же, совмещенного кровельного покрытия: 3462 м^2;
– то же, пол первого этажа: 3462 м^2.

Площадь надземного остекления по сторонам света:

Сторона света	Площадь, м^2
С	-
СВ	1658
В	-
ЮВ	1708
Ю	-
ЮЗ	2775
З	-
СЗ	3136
Всего	9276

Всего остекления 8894 м^2; площадь входных дверей 377 м^2; коэффициент компактности здания: $K_{комп}=0,18$; коэффициент остекленности здания: $f=0,36$.

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

a) Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитана выше:

$$k_{об}=0,124 \text{ Вт/(м}^3\,^{\circ}\text{C)}$$

b) Удельная вентиляционная характеристика здания согласно Изменению № 1 к [1] определяется по формуле (Г.2):

$$k_{вент}=0,28\cdot c\cdot\left(L_{вент}\,\rho_в^{вент}\cdot n_{вент}\cdot\left(1-k_{эф}\right)+G_{инф}\cdot n_{инф}\right)/(168\cdot V_{от})=0,174 \text{ Вт/(м}^3\,^{\circ}\text{C)}$$

В расчетах приняты следующие параметры, определяемые по Приложению Г из [1]:

Количество приточного воздуха в здание, $L_{вент}$, м^3/ч, согласно (Г.3) из [1] определяется, как большее из двух значений:

$$L_{вент1} = 30 \cdot 2520 = 75600 \text{ м}^3/\text{ч},\ L_{вент2} = 3 \cdot A_{ж} = 3 \cdot 72700 = 218100 \text{ м}^3/\text{ч}$$

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

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, $\rho_{в}^{вент}$, кг/м^3, определяемая по формуле:

$$\rho_{в}^{вент} = 353/[273 + t_{от}] = 353/270{,}8 = 1{,}30 \text{ кг/м}^3$$

Число часов работы механической вентиляции в течение недели, $n_{вент}$, ч, равно168.

Коэффициент эффективности рекуператора, $k_{эф}$, равен 0,5 (средняя эффективность).

Количество инфильтрующегося воздуха в здание, $G_{инф}$, кг/ч, определяется по формуле (Г.5) из [1]:

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

$$= (8899{,}4/17{,}67) \cdot (88{,}37/10)^{\frac{2}{3}} + (377/12{,}62) \cdot (88{,}37/10)^{\frac{1}{2}} = 2279{,}9 \text{ кг/ч}$$

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

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

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} \cdot A_{ж}}{V_{от} \cdot (t_{в} - t_{от})} = \frac{14{,}5 \cdot 72700}{231907 \cdot 22{,}2} = 0{,}205 \text{ Вт/(м}^3 \cdot {}^{o}\text{C)},$$

где $q_{быт}$ принимается с в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции между 17 Вт/м^2 при заселенности 20 м^2 на человека и 10 Вт/м^2 при заселенности 45 м^2 на человека.

Расчетная заселенность квартир составляет 28,8 м^2 на человека, тогда:

$$q_{быт} = 17 + \frac{10\text{-}17}{45\text{-}20}(28{,}8\text{-}20) = 14{,}5 \text{ Вт/м}^2$$

d) Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации:

$$k_{рад} = \frac{11,6 \cdot Q_{рад}^{год}}{(V_{от} \cdot ГСОП)} = \frac{11,6 \cdot 5845262,7}{(231907 \cdot 4551)} = 0,064 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

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

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

$0,8 \cdot 0,74 \cdot (1658 \cdot 677 + 1708 \cdot 677 + 2775 \cdot 1285 + 3136 \cdot 1285) = 584526,7$ МДж.

e) коэффициент полезного использования теплопоступлений, $\beta_{КПИ}$, определяемый по формуле (4.5а):

$$\beta_{КПИ} = K_{рег} / (1 + 0,5 \cdot n_в) = 0,9/1,12 = 0,61$$

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 [1] равна:

$$n_в = \left[\frac{(L_{вент} n_{вент})}{168} + \frac{(G_{инф} \cdot n_{инф})}{(168 \rho_в^{вент})}\right] / (\beta_v V_{от}) = \left[\frac{(218100 \cdot 168)}{168} + \frac{(2279,9 \cdot 168)}{(1681,3)}\right] / (0,85 \cdot 231907) = 1,12 \text{ ч}^{-1}$$

Подставляя полученные значения в формулу (4.5), получаем, что расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период равна:

$$q_{от}^{р} = k_{об} + k_{вент} -$$

$$\beta_{КПИ} \cdot (k_{быт} + k_{рад}) = 0,124 + 0,174 - 0,61 \cdot (0,205 + 0,064) = 0,134 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше 0,290 Вт/(м^3·°С) – величины нормируемой (базовой) по табл. 14 [1] для многоквартирных домов. Снижение от требуемого значения составляет примерно 54 %, что соответствует классу энергосбережения здания «А+» согласно табл. 15 [1].

Таким образом, выполняется третий этап приказа Минстроя РФ № 1550/пр от 17.11.2017 г. «Об утверждении Требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений», начинающего действовать с 1 января 2028 г.

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

$Q_{от}^{год}=0,024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от}^{р}$=0,024·4551·231907·0,134≈3391915 кВт·ч/год

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

$Q_{общ}^{год}=0,024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot (k_{об}+k_{вент})$=0,024·4551·231907·(0,124+0,174)≈7548283 кВт·ч/год

h) Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q, кВт·ч/(м^2·год), определяется по формуле (Г.9а):

$$q=\frac{Q_{от}^{год}}{A_{от}}=\frac{3388509}{72441}=46,8 \text{ кВт·ч/(м}^2 \cdot \text{год)}.$$

Ниже представлен энергетический паспорт здания, заполненный по форме Приложения Д из [1] согласно полученным в настоящем разделе показателям.

7.6 Энергетический паспорт здания

1 Общая информация

Дата заполнения (число, месяц, год)	
Адрес здания	
Разработчик проекта	
Адрес и телефон разработчика	
Шифр проекта	
Назначение здания, серия	Блокированный 5-секционный жилой дом
Этажность, количество секций	5 секций по 22 этажа
Количество квартир	1113
Расчетное количество жителей или служащих	
Размещение в застройке	Отдельно стоящее
Конструктивное решение	Двуслойное из газобетонных блоков, облицованных кирпичом

2 Расчетные условия

№ п.п.	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	$t_н$	°С	-25
2	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	-2,2
3	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	205
4	Градусо-сутки отопительного периода	*ГСОП*	°С·сут/год	4551
5	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_в$	°С	20
6	Расчетная температура чердака	$t_{черд}$	°С	-
7	Расчетная температура техподполья	$t_{подп}$	°С	5

3. Показатели геометрические

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения		Расчетное проектное значение	Фактическое значение
8	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}$, м^2	–	72700	
9	Площадь жилых помещений	$A_{ж}$, м^2	–	72441	
10	Расчетная площадь (общественных зданий)	$A_р$, м^2	–	-	
11	Отапливаемый объем	$V_{от}$, м^3	–	231907	
12	Коэффициент остекленности фасада здания	f		0,36	
13	Показатель компактности здания	$K_{комп}$, м$^{-1}$		0,18	
14	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_н^{сум}$, м^2		41735	
	стены из кладки из газобетонных блоков, облицованных кирпичом	$A_{ст1}$		25535	
	входных дверей	$A_{дв}$		377	
	покрытий (совмещенных)	$A_{кр1}$		3417	
	эксплуатируемой кровли	$A_{кр2}$		-	
	перекрытий над техническими подпольями	$A_{цок1}$		-	
	перекрытий над проездами или под эркерами	$A_{цок2}$		-	
	окон и балконных дверей	$A_{ок.1}$		8899,4	
	окон лестнично-лифтовых узлов			268	
	окон по сторонам света	$A_{ок.2}$			
	С			-	
	СВ			1658	

	В ЮВ Ю ЮЗ З СЗ			- 1708 - 2775 - 3136	

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:	$R_o^{пр}$, м^2·°С/Вт			
	стены из кладки из газобетонных блоков оштукатуренные	$R_{ст1}$	1,89	2,60	
	окон и балконных дверей				
	окон лестнично-лифтовых узлов	$R_{ок.1}$	0,65	0,8	
	входных дверей	$R_{ок.2}$	0,65	0,8	
	покрытий (совмещенных)	$R_{дв}$	0,78	0,83	
	перекрытий над техническими подпольями	$R_{кр1}$	3,58	4,47	
		$R_{цок1}$	3,16	3,95	

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·°С)		0,656
17	Кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	n_a, $ч^{-1}$		1,12
18	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{быт}$, Вт/м^2	-	14,5
19	Тарифная цена тепловой энергии для проектируемого здания	$C_{тепл}$, руб/кВт ч		

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 °С)	0,150	0,124
21	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}$, Вт/(м^3 °С)		0,163
22	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}$, Вт/(м^3 °С)		0,205
23	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}$, Вт/(м^3 °С)		0,064

7 Коэффициенты

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя	Нормативное значение показателя
24	Коэффициент эффективности рекуператора	$k_{эф}$	0,5

8 Комплексные показатели расхода тепловой энергии

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
25	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{р}$, Вт/(м^3·°С) [Вт/(м^2·°С)]	0,134
26	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{тр}$, Вт/(м^3·°С) [Вт/(м^2·°С)]	0,290
27	Класс энергосбережения		А+
28	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите		ДА

9 Энергетические нагрузки здания

№ п.п.	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
29	Удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	q	кВт·ч/(м^3·год) кВт·ч/(м^2·год)	46,8
30	Расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	$Q_{от}^{год}$	кВт·ч/год	3391915
31	Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q_{общ}^{год}$	кВт·ч/год	7548283

8. Пример расчета тепловой защиты и энергопотребления ограждающей конструкции из автоклавных ячеистобетонных изделий одноквартирного здания

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

Те же, что и в п. 6.1.

8.2 Описание и расчет приведенного сопротивления теплопередаче исследуемой ограждающей конструкции стен

Исследуется одноэтажный одноквартирный жилой дом с ограждающей конструкцией из однослойной кладки из автоклавного газобетона марки по плотности D400 толщиной 0,4 м. Стена оштукатурена с наружной стороны штукатурным составом для отделки по газобетону.

Согласно п. 4.6 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 0,4 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 158,36 м^2.

В конструкции рассматриваемого здания применено 5 различных типов окон и 1 тип входных дверей:

1) *ОК-1 1000×1500 мм:* периметр одного окна 5 м; площадь одного окна 1,5 м^2; количество окон 1 шт.

2) *ОК-21000×750 мм:* периметр одного окна 3,5 м; площадь одного окна 0,75 м^2; количество окон 1 шт.

3) *ОК-31300×1500 мм:* периметр одного окна 5,6 м; площадь одного окна 1,95 м^2; количество окон 1 шт.

4) *ОК-41000×1000 мм:* периметр одного окна 4 м; площадь одного окна 1 м^2; количество окон 3 шт.

5) *ОК-51500×1500 мм:* периметр одного окна 6 м; площадь одного окна 2,25 м^2; количество окон 1 шт.

6) *ДВ-71000×2100 мм:* периметр одной двери 6,2 м; площадь одной двери 2,1 м^2; количество дверей 6 шт.

Площадь поверхности стены составляет (площадь плоского элемента): A = 158,36 – (9,45+2,1) = 146,81 м^2.

Общая длина проекции оконных и дверных откосов, определяется по экспликации проемов и равна 30,3 м. Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента (удельная геометрическая характеристика линейного элемента 1) равна: $l_1 = \frac{30,3}{146,81} = 0,206$ м$^{-1}$.

Согласно табл. 5.4 расчетная теплопроводность при условиях эксплуатации Б для стандартных изделий составляет $\lambda_Б$ = 0,136 Вт/(м·°С), тогда по п. 4.7 для плоского элемента 1 условное сопротивление теплопередаче и удельные потери теплоты равны:

$$R_{стен}^{усл} = 1/8,7+0,4/0,122+1/23 = 3,10 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}; \quad U = \frac{1}{R_{стен}^{усл}} = \frac{1}{3,10} \approx 0,323 \text{ Вт/(м}^2\cdot°\text{С)}.$$

Значение удельных потерь теплоты Ψ_1 для оконных откосов определяются интерполяцией по данным табл. Г.31 из [2] для значения толщины рамы 120 мм, $d_з$=0 мм, $d_{кл}$=400 мм, $\lambda_{кам}$=0,136 Вт/(м °С): Ψ_1 = 0,032 Вт/(м °С).

Примыкание стен к цокольному ограждению. Значение удельных потерь теплоты Ψ_2 определяются интерполяцией по данным табл. Г.39 из [2] для значения толщины перекрытия, при $R_{ут}$=3,41(м^2·°С)/Вт, $d_{кл}$=400 мм, $\lambda_{кам}$=0,136 Вт/(м °С): Ψ_2 = 0,097 Вт/(м °С).

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

Удельные потери теплоты Ψ_4, Вт/(м·°С), для угла кладки по табл. Г.27 из [2] при $d_{кл}$=400 мм, $\lambda_{кам}$=0,136 Вт/(м °С) составляют: Ψ_4= 0,069 Вт/(м·°С).

Приведенное сопротивление теплопередаче стены по формуле (4.2) составляет:

$$R_o^{np}=\frac{1}{\sum a_i U_i+\sum l_j \Psi_j}=\frac{1}{1\cdot 0,291+0,206\cdot 0,032+0,265\cdot 0,097+0,023\cdot 0,069}=\frac{1}{0,36}=2,80\ (м^2\cdot °С)/Вт.$$

Полученное приведенное сопротивление теплопередаче стены больше найденного выше нормируемого значения, таким образом поэлементное требование по теплозащите из [1] выполнено.

8.3 Описание и расчет приведенного сопротивления исследуемой ограждающей конструкции кровли

В исследуемом здании представлена кровля следующей конструкции: тротуарная плитка на регулируемых опорах 100 мм, иглопробивной геотекстиль 300 г/м^2, кровельная ПВХ мембрана 1,5 мм, стеклохолст 100 г/м^2, экструзионный пенополистирол 200 мм, биполь ЭПП 3 мм, сборно-монолитное перекрытие 200 мм.

Площадь кровельного покрытия составляет 98,03 м^2.

Исследуемая конструкция разбивается на условные элементы:

- Плоскость крыши, указанной выше конструкции – плоский элемент 1;
- Примыкание к плите перекрытия – линейный элемент 1;
- Тарельчатые анкера – точечный элемент 1.

Согласно Приложения Т из [1] расчетная теплопроводность монолитного железобетона при условиях эксплуатации Б составляет: $\lambda_Б$ = 2,04 Вт/(м·°С), экструдированного пенополистирола – $\lambda_Б$ = 0,032 Вт/(м·°С), тогда по п. 4.7 для плоского элемента 1 условное сопротивление теплопередаче и удельные потери теплоты равны:

$$R^{усл}_{кровля}=1/8,7+0,2/2,04+0,2/0,034+1/23=6,51\ м^2\cdot{}^oC/Вт;$$

$$U=\frac{1}{R^{усл}_{кровля}}=\frac{1}{6,14}\approx 0,154\ Вт/(м^2\cdot°C).$$

Значение удельных потерь теплоты узла примыкание стен к плите перекрытия кровли Ψ_2 определяются интерполяцией по данным табл. Г.39 [2] для значения толщины перекрытия, при $R_{ут}$=4,41(м$^2\cdot{}^o$C)/Вт, $d_{кл}$=400 мм, $\lambda_{кам}$=0,136 Вт/(м^{o}C): Ψ_2 = 0,089 Вт/(м^{o}C).

Удельные потери теплоты χ_1, Вт/(м·°С), для тарельчатого анкера по табл. Г.1 из [2] составляют: χ_1=0,006 Вт/(м·°С), при удельной геометрической характеристики равной n=5 (1/м^2).

Приведенное сопротивление теплопередаче кровли по формуле (4.2) составляет:

$$R^{пр}_{o}=\frac{1}{\sum a_i U_i+\sum l_j\Psi_j+\sum nj\chi_j}=\frac{1}{1\cdot 0,154+0,43\cdot 0,089+5\cdot 0,006}=\frac{1}{0,222}=4,51\ (м^2\cdot{}^oC)/Вт.$$

Полученное приведенное сопротивление теплопередаче кровли больше найденного выше нормируемого значения, таким образом поэлементное требование по теплозащите из [1] выполнено.

8.4 Описание и расчет приведенного сопротивления исследуемой ограждающей конструкции пола

В исследованном здании конструкция пола состоит: отделка пола 20 мм, стяжка М 150 армированная, трубы теплого пола сетка Вр-1 ⌀4, яч. 100х100 мм 80 мм, экструдированный пенополистирол 150 мм, фундаментная плита 250 мм, песчаная подушка 300 мм, геотекстиль 200 г/м^2, естественное основание.

Исследуемая конструкция разбивается на условные элементы:

- Плоскость пола, указанной выше конструкции – плоский элемент 1;
- Тарельчатые анкера – точечный элемент 1.

Удельные потери теплоты χ_1, Вт/(м·°С), для тарельчатого анкера по табл. Г.1 из [2] составляют: χ_1=0,006 Вт/(м·°С), при удельной геометрической характеристики равной n=5 (1/м^2).

$$R_{пол}^{усл}=116/(96/7{,}21+32/9{,}41+4/13{,}71)=6{,}82 м^2\cdot{}^oC/Вт;$$

$$U=\frac{1}{R_{стен}^{усл}}=\frac{1}{6{,}82}\approx 0{,}146\ Вт/(м^2\cdot{}^\circ C).$$

Приведенное сопротивление теплопередаче пола по формуле (4.2) составляет:

$$R_o^{пр}=\frac{1}{\sum a_i U_i+\sum l_j \Psi_j+\sum nj\chi_j}=\frac{1}{1\cdot 0{,}146+5\cdot 0.006}=\frac{1}{0{,}176}=5{,}68\ (м^2\cdot{}^oC)/Вт.$$

Полученное приведенное сопротивление теплопередаче пола больше нормируемого значения, таким образом поэлементное требование по теплозащите из [1] выполнено.

8.5 Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

В технических помещениях и лестничных площадках температура внутреннего воздуха отличается от основных (жилых) помещений здания. В среднем за отопительный период она составляет $t_{ЛЛУ}$=18 °С. Общая площадь таких помещений составляет $A_{ЛЛУ}$= 16,48 м^2.

Коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры ЛЛУ от температуры жилых помещений, составляет $n_{ЛЛУ}=\frac{t_{ЛЛУ}-t_{от}}{t_в-t_{от}}=\frac{18-(-2{,}2)}{20-(-2{,}2)}=0{,}910$.

Подвальные помещения отсутствуют.

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

a) Наружная стена здания площадью по основной части здания *118,61 м^2*, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{стены.ЛЛУ}$*=28,2 м^2*. из кладки из газобетонных блоков, оштукатуренная с наружной стороны. Приведенное сопротивление теплопередаче этой стены определено выше и составляет *2,80* (м^2·°С)/Вт.

b) Совмещенное кровельное покрытие. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{кровля}$*=4,51* (м^2·°С)/Вт. Площадь кровельного покрытия данной конструкции по основной части здания составляет $A_{кр}$*=81,55* м^2, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{крЛЛУ}$*=16,48 м^2*.

c) Перекрытие над подвалом. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{пол}=5,68$ (м^2·°С)/Вт. Площадь перекрытия данной конструкции по основной части здания составляет $A_{цок}=74,96$ м^2, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{пол.ЛЛУ}=16,48$ м^2.

d) Окна. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{ок}=0,8$ (м^2·°С)/Вт (выше минимально допустимого согласно п. 5.2). Площадь окон составляет по основной части здания $A_{ок}=7,7$ м^2, по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{окЛЛУ}=1,75$ м^2.

e) Входные двери. Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{дв}=0,83$ (м^2·°С)/Вт. Площадь входных дверей составляет $A_{дв}=2,1$ м^2

Отапливаемый объем здания$V_{от}=274,32$м^3.

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по Приложению Ж [1]:

$$k_{об}=\frac{1}{V_{от}}\sum_i\left(n_{t,i}\frac{A_{ф,i}}{R^{пр}_{о,i}}\right)=\frac{1}{274,32}\left[\frac{118,61}{2,80}+\frac{81,55}{4,51}+\frac{74,96}{5,68}+\frac{7,7}{0,8}+\right.$$

$$\left.+0,910\cdot\left(\frac{28,2}{2,80}+\frac{16,48}{4,51}+\frac{16,48}{5,68}+\frac{2,1}{0,83}\right)\right]=0,366 \quad \text{Вт/(м}^3\cdot^{\circ}\text{С)}$$

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле (5.5) из [1] с учетом того, что отапливаемый объем менее 960 м^3:

$$k_{об}^{тр}=\frac{4,74}{0,00013\cdot ГСОП+0,61}\cdot\frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}}=\frac{4,74}{0,00013\cdot 4551+0,61}\cdot\frac{1}{\sqrt[3]{274,32}}=0,607 \text{ Вт/(м}^3\cdot^{\circ}\text{С)}$$

Удельная теплозащитная характеристика здания меньше нормируемой величины, следовательно, оболочка удовлетворяет комплексному требованию из [1] и основное требование к теплозащите здания выполнено.

8.6 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 $V_{от}=274,32$м^3. В том числе:

- отапливаемый объем жилой части здания: $V_{от1}=224,88$м^3;
- отапливаемый объем технических помещений и ЛЛУ: $V_{от2}=49,44$м^3;
- сумма площадей этажей здания: $A_{от}=91,44$ м^2;
- площадь жилых помещений: $A_{ж}=74,96$м^2;
- расчетное количество жителей: $m_{ж}=4$ чел;
- высота здания от пола первого этажа до обреза вытяжной шахты: 3,975 м;
- общая площадь наружных ограждающих конструкций: $A_{н}^{сум}=347,83$ м^2;
- площадь стен жилой части здания: 146,81м^2;
- то же, технических помещений и ЛЛУ: 28,2м^2;
- то же, совмещенного кровельного покрытия: 81,55 м^2;

Площадь надземного остекления по сторонам света:

Сторона света	Площадь, м^2
С	-
СВ	1,75
В	-
ЮВ	4,2
Ю	-
ЮЗ	-
З	-
СЗ	3,5

Всего остекления 9,45 м^2; площадь входных дверей: 2,1 м^2; коэффициент компактности здания: $K_{комп}=0,54$; коэффициент остекленности здания: $f=0,06$.

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

a) Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитана выше:

$$k_{об} = 0,366 \text{ Вт/(м}^3\,^{o}\text{C)}$$

b) Удельная вентиляционная характеристика здания согласно

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

$$k_{вент} = 0,28 \cdot c \cdot \left(L_{вент} \cdot \rho_{в}^{вент} \cdot n_{вент} \cdot \left(1 - k_{эф}\right) + G_{инф} \cdot n_{инф}\right) / \left(168 \cdot V_{от}\right) = 0,091 \text{ Вт/(м}^3\,^{o}\text{C)}$$

В расчетах приняты следующие параметры, определяемые по Приложению Г из [1]:

Количество приточного воздуха в здание, $L_{вент}$,м^3/ч, согласно (Г.3) из [1] определяется, как большее из двух значений:

$$L_{вент1} = 30 \cdot 4 = 120 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$L_{вент2} = 0{,}35 \cdot 3 \cdot A_{ж} = 0{,}35 \cdot 3 \cdot 74{,}96 = 78{,}7 \text{ м}^3/\text{ч}$$

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

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, $\rho_{в}^{вент}$, кг/м^3, определяемая по формуле:

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

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

Коэффициент эффективности рекуператора, $k_{эф}$, равен 0,5 (средняя эффективность).

Количество инфильтрующегося воздуха в здание,$G_{инф}$, кг/ч, определяется по формуле (Г.5) из [1]:

$$G_{инф} = \left(A_{ок} / R_{и,ок}^{тр}\right) \cdot \left(\Delta p_{ок}/10\right)^{2/3} + \left(A_{дв} / R_{и,дв}^{тр}\right) \cdot \left(\Delta p_{дв}/10\right)^{1/2} =$$
$$= (9{,}45/0{,}42) \cdot (2{,}1/10)^{2/3} + (2{,}1/0{,}3) \cdot (2{,}1/10)^{1/2} = 11{,}15 \text{ кг/ч}$$

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

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

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} \cdot A_{ж}}{V_{от} \cdot (t_{в} - t_{от})} = \frac{16{,}2 \cdot 91{,}44}{274{,}32 \cdot 22{,}2} = 0{,}243 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^{o}\text{C)},$$

где $q_{быт}$ принимается с в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции между 17 Вт/м^2 при заселенности 20 м^2 на человека и 10 Вт/м^2 при заселенности 45 м^2 на человека.

d) Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11{,}6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{(V_{\text{от}} \cdot ГСОП)} = \frac{11{,}6 \cdot 139721}{(4653{,}8 \cdot 4551)} = 0{,}049 \quad \text{Вт/(м}^3\cdot^{\text{o}}\text{C)}.$$

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

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

$0{,}8 \cdot 0{,}74 \cdot (1{,}75 \cdot 677 + 3{,}5 \cdot 677 + 4{,}2 \cdot 1285) = 5299{,}14$МДж.

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

$$\beta_{КПИ} = K_{\text{рег}} / (1 + 0{,}5 \cdot n_{\text{в}}) = 0{,}705$$

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

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

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

Подставляя полученные значения в формулу (4.5), получаем, что расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период равна:

$$q_{\text{от}}^{p} = k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - \beta_{КПИ} \cdot (k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}) = 0{,}366 + 0{,}091 - 0{,}705 \cdot (0{,}243 + 0{,}049) = 0{,}251$$

$$\text{Вт/(м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше 0,528 Вт/(м^3·°С) – величины нормируемой (базовой) по табл. 13 [1] для одноквартирных зданий. Снижение от требуемого значения составляет 52 %, что соответствует классу энергосбережения здания «А+» согласно табл. 15 [1].

Таким образом, выполняется третий этап приказа Минстроя РФ № 1550/пр от 17.11.2017 г. «Об утверждении Требований энергетической

эффективности зданий, строений, сооружений», начинающего действовать с 1 января 2028 г.

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

$$Q_{от}^{год} = 0{,}024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от}^{р} = 0{,}024 \cdot 4551 \cdot 274{,}32 \cdot 0{,}249 \approx 7515 \text{ кВт·ч/год}$$

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

$$Q_{общ}^{год} = 0{,}024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot (k_{об} + k_{вент}) = 0{,}024 \cdot 4551 \cdot 274{,}32 \cdot (0{,}366 + 0{,}091) \approx 13693 \text{ кВт·ч/год}$$

h) Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q, кВт·ч/(м^2·год), определяется по формуле (Г.9а):

$$q = \frac{Q_{от}^{год}}{А_{от}} = \frac{13693}{91{,}44} = 82{,}2 \text{ кВт·ч/(м}^2 \cdot \text{год).}$$

Ниже представлен энергетический паспорт здания, заполненный по форме Приложения Д из [1] согласно полученным в настоящем разделе показателям.

8.7 Энергетический паспорт здания

1 Общая информация

Дата заполнения (число, месяц, год)	
Адрес здания	
Разработчик проекта	
Адрес и телефон разработчика	
Шифр проекта	
Назначение здания, серия	Жилой дом
Этажность, количество секций	1 этаж
Количество квартир	1
Расчетное количество жителей или служащих	4
Размещение в застройке	Отдельно стоящее
Конструктивное решение	Однослойное из газобетонных блоков

2 Расчетные условия

№ п.п.	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	$t_н$	°С	-25
2	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	-2,2
3	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	205
4	Градусо-сутки отопительного периода	*ГСОП*	°С·сут/год	4551
5	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_в$	°С	20
6	Расчетная температура чердака	$t_{черд}$	°С	-
7	Расчетная температура техподполья	$t_{подп}$	°С	-

3. Показатели геометрические

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения		Расчетное проектное значение	Фактическое значение
8	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}$, м^2		91,44	
9	Площадь жилых помещений	$A_ж$, м^2		74,96	
10	Расчетная площадь (общественных зданий)	$A_р$, м^2		-	
11	Отапливаемый объем	$V_{от}$, м^3		224,88	
12	Коэффициент остекленности фасада здания	f		0,06	
13	Показатель компактности здания	$K_{комп}$, м$^{-1}$		0,54	
14	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_н^{сум}$, м^2		347,83	
	стены из кладки из газобетонных блоков оштукатуренные	$A_{ст1}$		146,81	
	входных дверей	$A_{дв}$		2,1	
	покрытий (совмещенных)	$A_{кр1}$		98,03	
	эксплуатируемой кровли	$A_{кр2}$		-	
	перекрытий над техническими подпольями	$A_{цок1}$		91,44	
	перекрытий над проездами или под эркерами	$A_{цок2}$		-	
	окон и балконных дверей	$A_{ок.1}$		9,45	
	окон лестнично-лифтовых узлов			-	

	окон по сторонам света	$A_{ок.2}$			
	С			-	
	СВ			1,75	
	В			-	
	ЮВ			4,2	
	Ю			-	
	ЮЗ			-	
	З			-	
	СЗ			3,5	

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:	$R_o^{пр}$, м^2·°С/Вт			
	стены из кладки из газобетонных блоков оштукатуренные	$R_{ст1}$	1,89	2,80	
	окон и балконных дверей				
	окон лестнично-лифтовых узлов	$R_{ок.1}$	0,66	0,8	
	входных дверей	$R_{ок.2}$	0,66	-	
	покрытий (совмещенных)	$R_{дв}$	0,78	0,83	
	перекрытий над техническими подпольями	$R_{кр1}$	3,58	4,51	
		$R_{цок1}$	3,16	5,68	

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·°С)		0,319
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		

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 °С)	0,607	0,366
21	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}$, Вт/(м^3 °С)		0,091
22	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}$, Вт/(м^3 °С)		0,243
23	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}$, Вт/(м^3 °С)		0,049

7 Коэффициенты

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя	Нормативное значение показателя
24	Коэффициент эффективности рекуператора	$k_{эф}$	0,5

8 Комплексные показатели расхода тепловой энергии

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
25	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{р}$, Вт/(м^3·°С) [Вт/(м^2·°С)]	0,251
26	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{тр}$, Вт/(м^3·°С) [Вт/(м^2·°С)]	0,528
27	Класс энергосбережения		А+
28	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите		ДА

9 Энергетические нагрузки здания

№ п.п.	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
29	Удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	q	кВт·ч/(м^3·год) кВт·ч/(м^2·год)	82,2
30	Расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	$Q_{от}^{год}$	кВт·ч/год	7515
31	Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q_{общ}^{год}$	кВт·ч/год	13693

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» (с изменением № 1)

[2] СП 230.1325800.2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» (с изменением № 1)

[3] СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты (с изменением № 1)

[4] СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»

[5] Методическое пособие по назначению расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий. М.: ФАУ «ФЦС», 2019