

СОХТМОН ВА МЕЪМОРИЙ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК: 699.86

DOI: 10.65599/ENG5685

ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Н.М. Каримов, Д.Ф. Каландаров, М.Х. Шарипов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В настоящей статье представлен комплексный анализ современных подходов к оценке теплозащитных характеристик наружных ограждающих конструкций гражданских зданий. Особое внимание уделено повышению энергоэффективности вертикальных ограждающих конструкций зданий в климатических условиях города Худжанда. Рассмотрены расчётные методики определения теплопроводности ограждений в холодный период года и теплоустойчивости в жаркий период. Выполнен анализ теплотехнических показателей различных типов стеновых конструкций. Проведена оценка влажностного режима ограждений с построением эпюр распределения температуры и парциального давления водяного пара. Приводятся результаты расчётов на примере многослойной стеновой конструкции, подтверждающие соответствие действующим нормативам Республики Таджикистан.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, гражданские здания, теплоустойчивость, теплозащита, теплопроводность, ограждающие конструкции, сопротивление теплопередаче, влажностный режим, градус-суток отопительного периода (ГСОП).

БАҶОДИҶИИ ХУСУСИЯТҶОИ ГАРМИҶОҶДОРИИ КОНСТРУКСИЯҶОИ БЕРУНАИ ИҶОТАВИИ БИНОҶОИ ШАҲРВАНДӢ

Н.М. Каримов, Д.Ф. Қаландаров, М.Ҳ. Шарипов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақолаи мазкур таҳлили ҳамаҷонибаи равишҳои муосири арзёбии нишондиҳандаҳои гармиғоҳдории конструксияҳои берунаи иҷтавии биноҳои шаҳрвандӣ пешниҳод гардидааст. Таваҷҷуҳи махсус ба баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ конструксияҳои иҷтавии биноҳо дар шароити иқлимии шаҳри Хучанд равона шудааст. Методикаҳои ҳисоби муайян намудани гармгузаронии конструксияҳои иҷтави дар давраи сардии сол ва гармиустуворӣ дар давраи гарми сол дида баромада шудааст. Таҳлили муқоисавии нишондиҳандаҳои гармотехникии намудҳои гуногуни конструксияҳои деворӣ иҷро шудааст. Натиҷаҳои ҳисобҳо дар мисоли конструксияи девори бисёрқабата оварда шудаанд, ки мутобиқати онҳоро ба меъёрҳои амалкунандаи Ҷумҳурии Тоҷикистон тасдиқ менамоянд.

Калидвожаҳо: самаранокии энергетикӣ, сарфаҷӯӣ, биноҳои шаҳрвандӣ, гармиустуворӣ, гармиғоҳдорӣ, гармигузаронӣ, конструксияҳои иҷтави, муқовимати гармигузаронӣ, ҳарорати шабонарӯзи давраи гармидиҳӣ (ХШДГ).

ASSESSING THE THERMAL PROTECTION PERFORMANCE OF EXTERNAL ENVELOPE STRUCTURES OF CIVIL BUILDINGS

N.M. Karimov, D.F. Kalandarov, M.H. Sharipov

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This article presents a comprehensive analysis of modern approaches to evaluating the thermal protection performance of external envelope structures of civil buildings. Particular attention is paid to improving the energy efficiency of building envelopes under the climatic conditions of the city of Khujand. Calculation methods for determining thermal conductivity of enclosing structures during the cold season and thermal stability during the hot season are examined. A comparative analysis of the thermotechnical parameters of various types of wall structures has been performed. The moisture regime of the enclosures has been assessed with temperature distribution and vapor pressure diagrams. The results of calculations are provided using the example of a multilayer wall structure, confirming compliance with the current regulatory standards of the Republic of Tajikistan.

Keywords: energy efficiency, energy saving, civil buildings, thermal stability, thermal protection, thermal conductivity, building envelope structures, thermal resistance, heating degree days for the heating season(HDD).

Введение

На рубеже XX–XXI веков вопросы рационального использования энергетических ресурсов приобрели особую актуальность во всём мире. По данным Международного энергетического агентства (IEA), строительная отрасль потребляет более 40% всей производимой энергии, значительная доля которой расходуется на обогрев и кондиционирование помещений. Здания и сооружения являются крупнейшими конечными потребителями энергии, опережая промышленность и транспорт [1, 9, 10, 13].

Одной из существенных причин перерасхода топлива является недостаточный уровень теплозащиты возводимых зданий. Наблюдается нерациональное использование возможных резервов теплозащиты, а также большие потери топлива и энергии [12]. Для государств с развивающейся экономикой, в частности для Республики Таджикистан минимизация тепловых потерь в зимний период и защита от перегрева летом представляют собой ключевую задачу строительной отрасли. Республика расположена в зоне резко континентального климата, где амплитуда годовых температур достигает 55–60 °С. При этом значительная часть эксплуатируемого жилого фонда была возведена в советский период без надлежащего учёта современных требований энергосбережения, что приводит к перерасходу тепловой энергии, достигающему 40–60% по сравнению с нормативным уровнем [1, 5].

Город Худжанд, являющийся вторым по величине городом Республики Таджикистана, расположен в Согдийской области и характеризуется одними из наиболее экстремальных климатических условий в республике. Температура наиболее холодной пятидневки составляет -13,3 °С, абсолютный максимум достигает +46 °С, а продолжительность отопительного периода - 122 суток [6]. Данные климатические параметры предъявляют повышенные требования к теплозащитным характеристикам ограждающих конструкций.

В этой связи проектирование и возведение ограждающих конструкций необходимо осуществлять с учётом требований действующих нормативных документов Республики Таджикистан. Комплексный подход к оценке теплозащиты ограждений должен включать расчёт сопротивления теплопередаче для зимнего периода, оценку теплоустойчивости для летнего периода и анализ влажностного режима конструкции [5].

Целью настоящей работы является систематизация современных методических подходов к оценке теплозащитных характеристик наружных ограждающих конструкций и их практическая апробация на примере многослойной стеновой конструкции в климатических условиях г. Худжанда.

Материалы и методы исследования

Формирование системного подхода к энергосбережению в строительстве Республики Таджикистан осуществляется посредством комплекса законодательных и нормативных актов. Правовую основу государственной политики в области энергетики заложил Закон РТ «Об энергетике» (2000 г.), определивший стратегические цели обеспечения энергетической безопасности страны [4].

Важнейшим нормативным актом, регулирующим вопросы энергоэффективности, является Закон РТ «Об энергосбережении и энергоэффективности» (№ 1018 от 19.09.2013 г.), который установил принципы государственной политики в сфере продвижения энергоэффективности во всех отраслях экономики, включая строительный комплекс и жилищно-коммунальное хозяйство [4].

Таблица 1 – Нормативно-правовые акты РТ в области энергосбережения и теплозащиты зданий
Table 1 – Regulatory and Legal Acts of the Republic of Tajikistan in the Field of Energy Conservation and Thermal Protection of Buildings

№	Название документа	Год	Основное содержание
1	Закон РТ «Об энергосбережении и энергоэффективности» № 1018	2013	Основной закон, регулирующий политику энергосбережения в строительстве
2	Концепция развития ТЭК РТ на 2003–2015 гг.	2002	Стратегия развития топливно-энергетического комплекса
3	Программа использования ВИЭ на 2007–2015 гг.	2002	Внедрение солнечной, ветровой, геотермальной энергии
4	СНиП РТ 23-02-2021 «Тепловая защита зданий»	2021	Нормы теплозащиты, методики расчёта сопротивления теплопередаче
5	СНиП РТ 23.01-2018 «Строительная климатология»	2018	Климатические параметры для проектирования зданий

Непосредственно техническое регулирование теплозащиты зданий осуществляется посредством строительных норм и правил. СНиП РТ 23-02-2021 «Тепловая защита зданий» [5]

устанавливает методику расчёта сопротивления теплопередаче, критерии оценки теплозащиты и классификацию зданий по энергоэффективности. Климатические параметры для теплотехнических расчётов регламентируются СНиП РТ 23.01-2018 «Строительная климатология» [6].

Следует отметить, что нормативная база РТ в области теплозащиты зданий находится в процессе постоянного совершенствования. Введение СНиП РТ 23-02-2021 взамен ранее действовавших норм существенно повысило требования к сопротивлению теплопередаче наружных ограждающих конструкций, приблизив их к международным стандартам.

Таблица 2 – Климатические параметры основных городов РТ (СНиП РТ 23.01-2018)

Table 2 – Climatic parameters of the main cities of the RT (SNiP RT 23.01-2018)

Параметр	Душанбе	Худжанд	Бохтар	Хорог
Температура наиболее холодных суток, °C	-13,8	-14,8	-14,0	-19,6
Температура наиболее холодной пятидневки, °C	-9,5	-13,3	-11,5	-17,1
Продолжительность отопительного периода, сут.	110	122	100	166
Средняя температура июля, °C	27,1	28,6	28,7	22,7
Максимальная амплитуда температуры июля, °C	25,4	23,8	24,9	21,0
Абсолютная максимальная температура, °C	44	46	46	38
ГСОП, °C·сут.	1892	2107	1590	3785

Данные таблицы 2 наглядно демонстрируют, что г. Худжанд характеризуется наиболее высоким значением ГСОП (2107 °C·сут.) среди низинных городов республики, что обусловлено сочетанием продолжительного отопительного периода (122 сут.) и относительно низкой средней температуры наиболее холодной пятидневки (-13,3 °C). Одновременно абсолютный максимум температуры достигает +46 °C, что свидетельствует о необходимости обеспечения теплозащиты ограждений как от теплопотерь зимой, так и от перегрева летом.

В соответствии с положениями СНиП РТ 23-02-2021 «Тепловая защита зданий» [5], оценка теплозащитных свойств зданий осуществляется по трём ключевым критериям, каждый из которых имеет определённое физическое значение и практическую направленность.

Первый критерий - приведённое сопротивление теплопередаче отдельных элементов наружных ограждений. Данный критерий устанавливает минимально допустимый уровень теплоизоляции для каждого вида ограждающей конструкции (стены, покрытия, перекрытия, окна) в зависимости от градусо-суток отопительного периода. Выполнение данного критерия гарантирует, что теплопотери через каждый элемент оболочки здания не превысят нормативного значения.

Второй критерий - санитарно-гигиенический показатель, ограничивающий перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения. Для наружных стен жилых зданий данный перепад не должен превышать 4 °C, а для покрытий — 3 °C. Соблюдение данного условия предотвращает образование конденсата на внутренних поверхностях и обеспечивает комфортные санитарно-гигиенические условия проживания.

Третий критерий - относительная энергоэффективность отопления здания в целом, позволяющая оптимизировать параметры теплозащиты с учётом объёмно-планировочных решений, инженерных систем и режима эксплуатации. Данный критерий предусматривает определение удельного расхода тепловой энергии на отопление и его сопоставление с нормативным значением.

Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{\text{эф}}$ является основным расчётным параметром, характеризующим теплозащитные свойства ограждающей конструкции. Согласно СНиП РТ 23-02-2021, данная величина определяется как линейная функция градусо-суток отопительного периода (ГСОП):

$$R_{\text{сф}} = a \cdot D + b \quad (1)$$

где a, b — коэффициенты, зависящие от типа здания и вида ограждения (для наружных стен жилых зданий $a = 0,00035$, $b=1,4$); D - градусо-сутки отопительного периода (ГСОП), $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$.

Величина ГСОП вычисляется по следующему соотношению:

$$D_i = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}}) \cdot z_{\text{ht}} \quad (2)$$

где t_{int} — температура воздуха внутри помещения, принимаемая равной 20°C для жилых зданий [7]; t_{ht} — средняя температура наружного воздуха в отопительный период (при среднесуточной температуре ниже 8°C), $^{\circ}\text{C}$; z_{ht} — продолжительность отопительного периода, сут.

Для г. Худжанда расчёт ГСОП принимает вид: $D_i = (20 - 2,73) \cdot 122 = 2107^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$. Подставляя полученное значение в формулу (1), определяем нормативное сопротивление теплопередаче для наружных стен: $R_{\text{сф}} = 0,00035 \cdot 2107 + 1 = 1,73 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Общее сопротивление теплопередаче многослойной конструкции R_0 определяется с учётом сопротивлений теплоотдаче на внутренней и наружной поверхностях [5]:

$$R_0 = R_{\text{int}} + \sum R_i + R_{\text{ext}} \quad (3)$$

где $R_{\text{int}} = 1/\alpha_{\text{int}}$ - сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ($\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, $R_{\text{int}} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$); $R_{\text{ext}} = 1/\alpha_{\text{ext}}$ - сопротивление теплоотдаче наружной поверхности ($\alpha_{\text{ext}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, $R_{\text{ext}} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$); R_i - термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки.

Термическое сопротивление каждого однородного слоя [5]:

$$R_i = \delta_i / \lambda_i, \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт} \quad (4)$$

где δ_i - толщина слоя, м; λ_i - расчётный коэффициент теплопроводности материала, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Распределение температуры по толщине конструкции определяется из соотношения:

$$t_x = t_{\text{int}} - (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \cdot (R_{\text{int}} + \sum R_i(x)) / R_0 \quad (5)$$

где t_x - температура на границе x -го слоя, $^{\circ}\text{C}$; $\sum R_i(x)$ - сумма термических сопротивлений слоёв от внутренней поверхности до границы x .

Обеспечение комфортного микроклимата в жаркое время года является не менее важной задачей, чем защита от теплопотерь зимой. Для г. Худжанда, где среднемесячная температура июля составляет $28,6^{\circ}\text{C}$, а абсолютный максимум достигает $+46^{\circ}\text{C}$, данная задача приобретает особую актуальность.

В районах со среднемесячной температурой июля 21°C и выше нормативная амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности ограждающие конструкции определяется по формуле [5]:

$$A_{\text{тр}}^{\text{сг}} = 2,5 - 0,1 \cdot (t_{\text{ext}} - 21) \quad (6)$$

Для г. Худжанда: $A_{\text{тр}}^{\text{сг}} = 2,5 - 0,1 \cdot (28,6 - 21) = 2,5 - 0,76 = 1,74^{\circ}\text{C}$.

Колебания температуры наружного воздуха вызывают изменение тепловых потоков и температуры на поверхности и в толще ограждения. Эти изменения тоже являются правильными гармоническими колебаниями с периодом [11]. Расчётная амплитуда температурных колебаний на внутренней поверхности определяется как отношение расчётной амплитуды наружного воздуха к коэффициенту затухания ν . Тепловая инерция конструкции D , характеризующая способность ограждения поглощать температурные колебания [5]:

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n \quad (7)$$

где R_i - термическое сопротивление i -го слоя, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; S_i - коэффициент теплоусвоения материала i -го слоя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Чем выше значение тепловой инерции D , тем эффективнее конструкция погашает суточные колебания наружной температуры. Согласно СНиП РТ 23-02-2021, для зданий в районах со среднемесячной температурой июля выше 21°C значение D должно быть не менее 4 [5].

Коэффициент затухания температурных колебаний ν определяется по формуле, учитывающей термические сопротивления и коэффициенты теплоусвоения всех слоёв

конструкции. При значительной тепловой инерции ($D>7$) амплитуда колебаний на внутренней поверхности уменьшается до пренебрежимо малых значений, что обеспечивает стабильность микроклимата [9, 10].

Контроль влажностного состояния ограждающих конструкций является важнейшим фактором обеспечения их долговечности и теплозащитной эффективности. Увлажнение теплоизоляционного слоя приводит к существенному снижению его термического сопротивления, поскольку коэффициент теплопроводности воды ($0,58 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$) значительно превышает аналогичный показатель для воздуха ($0,026 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$).

Согласно СНиП РТ 23-02-2021, влажностный режим помещений классифицируется на четыре категории в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха [5].

Таблица 3 – Классификация влажностных режимов помещений
Table 3 – Classification of indoor humidity regimes

Температура воздуха, °C	Сухой, %	Нормальный, %	Влажный, %	Мокрый, %
до 12	до 60	60–75	свыше 75	—
12–24	до 50	50–60	60–75	свыше 75
свыше 24	до 40	40–50	50–60	свыше 60

Для определения влажностного состояния ограждения необходимо построить эпюры фактического парциального давления водяного пара $e(x)$ и максимального насыщающего давления $E(t)$ по толщине конструкции. Конденсация влаги возникает в зонах, где фактическое давление пара превышает максимальное насыщающее: $e(x)>E(t(x))$. Для предотвращения данного явления следует предусматривать пароизоляционный барьер с внутренней стороны утеплителя [5, 7, 8].

Для практической апробации рассмотренных методик выполнен комплексный теплотехнический расчёт многослойной стеновой конструкции, предназначенной для жилых зданий в климатических условиях г. Худжанда. Конструкция включает пять функциональных слоёв, характеристики которых представлены в таблице 4 и рисунке 1.

Таблица 4 – Физико-технические характеристики слоёв стеновой конструкции

№	Слой конструкции	ρ , кг/м ³	δ , м	λ , Вт/(м·°C)	S , Вт/(м ² ·°C)	R_i , м ² ·°C/Вт	D_i
1	Цементно-песчаный раствор	1800	0,02	0,76	9,60	0,026	0,25
2	Жжённый кирпич	1800	0,25	0,70	9,20	0,357	3,28
3	Минеральная вата	150	0,05	0,045	0,89	1,111	0,99
4	Воздушная прослойка	1,29	0,05	—	—	0,220	—
5	Стеклофибробетон	1850	0,02	0,52	11,09	0,038	0,42
	ИТОГО:		0,39			1,753	4,94

Таблица 5 – Распределение температуры по толщине конструкции (зимний период, г. Худжанд)
Table 5 – Temperature distribution through the thickness of the structure (winter period, Khujand)

Граница слоя	ΣR , м ² ·°C/Вт	τ , °C	$E(t)$, мм рт.ст.	$e(t)$, мм рт.ст.
Внутренняя поверхность	0,115	17,82	11,91	5,95
Кирпич / минвата	0,498	10,53	9,53	5,32
Минвата / воздушная прослойка	1,609	-10,57	1,85	2,13
Воздушная прослойка / стеклофибробетон	1,829	-14,75	1,77	1,61
Наружная поверхность	1,910	-15,0	1,77	1,35

Тепловая инерция конструкции $D=4,94>4$ (норматив) - условие теплоустойчивости выполняется. Нормативная амплитуда колебаний $A_{tr}^{eg}=1,74^\circ\text{C}$. Расчётная амплитуда на внутренней

поверхности $A_t=0,0864^{\circ}\text{C}<1,74^{\circ}\text{C}$. Таким образом, конструкция обеспечивает значительный запас теплоустойчивости.

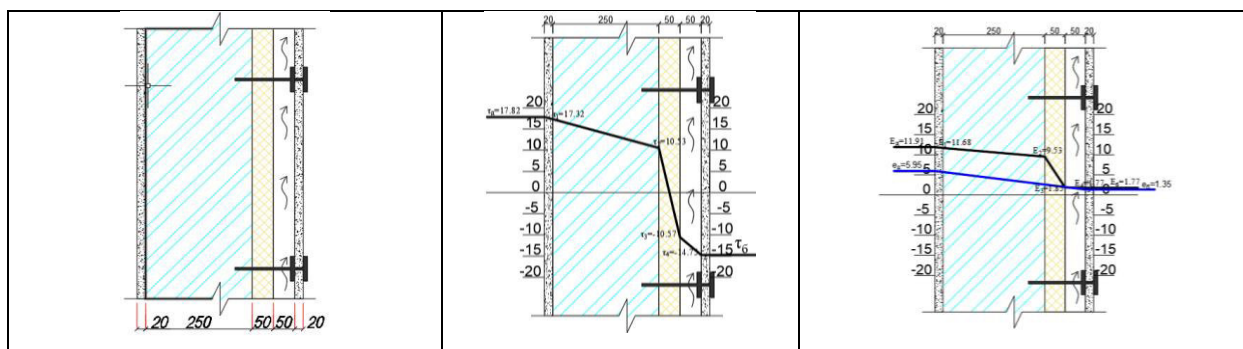


Рисунок 1 - Распределение температуры на поверхности каждой ограждающей конструкции и образование влаги в слоях

Figure 1 – Temperature distribution on the surface of each building envelope and moisture formation in layers

Из данных таблицы 5 и рисунок 1 видно, что в зоне между минеральной ватой и воздушной прослойкой фактическое парциальное давление пара (2,13 мм рт.ст.) приближается к максимальному насыщающему давлению (2,50 мм рт.ст.). Это указывает на потенциальный риск конденсации при понижении наружной температуры ниже расчётной. Для предотвращения данного явления рекомендуется установка пароизоляционного слоя между кирпичной кладкой и минеральной ватой.

Таблица 6 – Сравнительный анализ теплотехнических показателей различных стеновых конструкций для г. Худжанда
Table 6 – Comparative analysis of thermal performance indicators of various wall structures for Khujand

№	Тип конструкции	δ , мм	R_0 , $\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	D	Соотв. нормам
1	Кирпичная стена 380 мм без утепления	400	0,72	7,85	Нет
2	Кирпичная стена 250 мм + пенополистирол 50 мм	320	1,62	4,12	Нет ($R_0<1,73$)
3	Газобетон 300 мм + штукатурка	340	1,45	3,20	Нет
4	Кирпич 250 + минвата 50 + возд. просл. + стеклофйробетон	390	1,75	4,94	Да

Результаты сравнительного анализа (таблица 6) показывают, что из четырех рассмотренных конструкций лишь вариант № 4 (кирпичная кладка с минеральной ватой и вентилируемой прослойкой) полностью удовлетворяет нормативным требованиям по обоим показателям - как по сопротивлению теплопередаче ($R_0=1,74>1,73 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$), так и по тепловой инерции ($D=4,94>4$). Конструкции без утепления (вариант №1) и с недостаточной толщиной утеплителя (варианты №2) не удовлетворяют нормативным требованиям для г. Худжанда.

Для климатических условий г. Худжанда, где среднемесячная температура июля достигает $28,6^{\circ}\text{C}$ при абсолютном максимуме $+46^{\circ}\text{C}$, комплекс энергосберегающих мероприятий для снижения перегрева помещений в летний период приобретает особую значимость.

СНиП РТ 23-02-2021 предусматривает следующий комплекс градостроительных и архитектурно-конструктивных мер: применение солнцезащитных устройств на окнах и витражах (козырьки, жалюзи, специальные стёкла с низким коэффициентом пропускания солнечной радиации); рациональная ориентация зданий с учётом требований инсоляции, преобладающего направления ветров и озеленения прилегающей территории; оптимизация объёмно-планировочных решений для организации сквозного проветривания помещений [5].

К конструктивным мероприятиям относятся: устройство вентилируемых воздушных прослоек в наружных стенах толщиной 40-100 мм и в покрытиях толщиной не менее 200 мм; применение солнцезащитных материалов на наружных поверхностях (коэффициент поглощения солнечной радиации $\rho\leq 0,4$); увеличение тепловой инерции ограждений за счёт применения массивных

внутренних слоёв. Исследования показывают, что использование солнцезащитных материалов фасадов позволяет снизить эквивалентную температуру наружной поверхности на 15–20 % по сравнению с тёмными поверхностями [1].

Заключение

Представленные в статье методики теплотехнического расчёта ограждающих конструкций позволяют обоснованно оценить теплозащитные свойства стеновых конструкций как для зимнего, так и для летнего периодов эксплуатации. На основании выполненных расчётов и анализа получены следующие основные результаты:

1. Для климатических условий г. Худжанда значение ГСОП составляет $2107^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$, что является наибольшим среди равнинных городов РТ и обуславливает повышенные требования к теплозащите ограждений ($R_{\text{т.эф}}=1,73 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ для наружных стен).

2. Многослойная конструкция стены, включающая кирпичную кладку (250 мм), минеральную вату (50 мм), вентилируемую воздушную прослойку (50 мм) и стеклофибробетон (20 мм), обеспечивает $R_0=1,75 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, что превышает нормативное значение на 6,1%.

3. Тепловая инерция рассматриваемой конструкции $D=4,94$ превышает нормативное значение ($D\geq 4$), а расчётная амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности $A_{\text{т}}=0,0864^{\circ}\text{C}$ существенно ниже нормативного значения $A_{\text{т.ег}}=1,74^{\circ}\text{C}$, что гарантирует стабильность микроклимата в летний период.

4. Анализ влажностного режима выявил потенциальный риск конденсации на границе утеплителя и воздушной прослойки. Для предотвращения данного явления рекомендуется установка пароизоляционного барьера перед теплоизоляционным слоем.

5. Сравнительный анализ четырёх типов стеновых конструкций показал, что конструкции без утепления или с недостаточной толщиной утеплителя не удовлетворяют нормативным требованиям СНиП РТ 23-02-2021 для климатических условий г. Худжанда, что подтверждает необходимость применения многослойных ограждений с эффективной теплоизоляцией.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании гражданских зданий в климатических условиях Согдийской области и других районов Республики Таджикистан с аналогичными климатическими характеристиками.

Рецензент: Рахмонзода Я.Дж. – к.т.н., начальник управления науки и инноваций Министерства образования и науки Республики Таджикистан.

Литература

1. Каримов, Н.М. Принципы проектирования гражданских зданий с энергоэффективными ограждающими конструкциями (на примере Таджикистана): дис. ... д-ра PhD. - Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 2023. - 157 с.
2. Постановление Правительства Республики Таджикистан от 03.08.2002 г. № 318 «Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса РТ на 2003-2015 гг.».
3. Постановление Правительства РТ от 03.08.2002 г. № 318 «Об утверждении комплексной целевой программы по расширенному использованию возобновляемых источников энергии на 2007-2015 гг.».
4. Закон Республики Таджикистан «Об энергосбережении и энергоэффективности» от 19.09.2013 г. № 1018.
5. СНиП РТ 23-02-2021 «Тепловая защита зданий» / Комитет архитектуры и строительства при Правительстве РТ. - Душанбе, 2021. - 51 с.
6. СНиП РТ 23.01-2018 «Строительная климатология» / Комитет архитектуры и строительства при Правительстве РТ. - Душанбе, 2018. - 33 с.
7. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
8. ГОСТ 26253-2014. Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций.
9. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. - М.: Высшая школа, 1982. - 415 с.
10. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. - М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. - 256 с.
11. Хасанов, Н.Н. Инженерный метод расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в условиях жаркого климата / Н.Н. Хасанов, Н.М. Каримов, Б.А. Гулямов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2020. – № 3(53). – С. 115–118.
12. Шокиров, Р.М. Повышение теплозащитных качеств наружных стен зданий из легких блоков (на примере Таджикистана) / Р.М. Шокиров, Н.М. Каримов, Н.М. Мухибуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2020. – № 3(53). – С. 133–138.

13. Саид, П. С. Моделсозии математикии конструкцияҳои ихтисосии биноҳои истиқоматӣ дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон / П. С. Саид, Т. Р. Холмуратов // Фурӯғи илм. – 2026. – No. 1. – P. 91-102. – DOI 10.24412/3078-395X-2026-1-7-91-102. – EDN BTKNO.

References

1. Karimov, N.M. (2023). Principles of designing civil buildings with energy-efficient building envelopes (on the example of Tajikistan) (PhD dissertation). Dushanbe: Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. 157 p.
2. Resolution of the Government of the Republic of Tajikistan dated August 3, 2002, No. 318 "On approval of the Concept of development of the fuel and energy complex of the Republic of Tajikistan for 2003-2015".
3. Resolution of the Government of the Republic of Tajikistan dated August 3, 2002, No. 318 "On approval of the comprehensive target program on the expanded use of renewable energy sources for 2007-2015".
4. Law of the Republic of Tajikistan "On Energy Saving and Energy Efficiency" dated September 19, 2013, No. 1018.
5. SNiP RT 23-02-2021 "Thermal Performance of Buildings" / Committee for Architecture and Construction under the Government of the Republic of Tajikistan. - Dushanbe, 2021. - 51 p.
6. SNiP RT 23.01-2018 "Construction Climatology" / Committee for Architecture and Construction under the Government of the Republic of Tajikistan. - Dushanbe, 2018. - 33 p.
7. GOST 30494-96. Residential and public buildings. Indoor microclimate parameters.
8. GOST 26253-2014. Buildings and structures. Method for determining the thermal stability of building envelopes.
9. Bogoslovsky, V.N. (1982). Building Thermal Physics. Moscow: Vysshaya Shkola. 415 p.
10. Fokin, K.F. (2006). Building Thermal Engineering of Enclosing Parts of Buildings. Moscow: AVOK-PRESS. 256 p.
11. Khasanov, N.N., Karimov, N.M., & Gulyamov, B.A. (2020). Engineering method for calculating the thermal stability of building envelopes in hot climates. Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research, Dushanbe, No. 3 (53), pp. 115-118.
12. Shokirov, R.M., Karimov, N.M., & Mukhibullov, N.M. (2020). Improving the thermal performance of exterior walls of buildings made of lightweight blocks (on the example of Tajikistan). Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research, Dushanbe, No. 3 (53), pp. 133-138.
13. Said, P.S., & Kholmuratov, T.R. (2026). Mathematical modeling of building envelopes of residential buildings in the conditions of the Republic of Tajikistan. Furugi Ilm, No. 1, pp. 91-102. DOI: 10.24412/3078-395X-2026-1-7-91-102.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН — СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ — INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Каримов Насимҷон Мирзораҳимович	Каримов Насимджон Мирзорахимович	Karimov Nasimjon Mirzorahimovich
Доктор PhD, муаллими калон	Доктор PhD, ст.	Doctor. PhD., senior lecture
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. ак. М.С. Осими	Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi
Email: nasim_2_4@mail.ru		
TJ	RU	EN
Қаландаров Диловаршох Файзуддинович	Каландаров Диловаршох Файзуддинович	Dilovarshoh Fayzuddinovich Kalandarov
докторант	докторант	Doctor PhD
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи ак. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. ак. М.С. Осими	Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi
Email: dkalandarov48@gmail.com		
TJ	RU	EN
Шарифов Мирзобаходур Хабибович	Шарифов Мирзобаходур Хабибович	Sharifov Mirzobahodur Habibovich
магистрант	магистрант	Master degree
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи ак. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. ак. М.С. Осими	Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi