

Оптимизация конструкции наружных стен гражданских зданий с учетом требований энергоэффективности

А.С. Асрорзода, Р.М. Шокиров, Х.Ш. Валиев, С.А. Миралиев

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

Аннотация: В условиях современного строительства особое внимание уделяется вопросам повышения энергоэффективности зданий. Одним из ключевых элементов, влияющих на энергозатраты, является конструкция наружных стен, которая напрямую определяет теплотери здания. Целью данной работы является анализ и оптимизация конструкции наружных стен гражданских зданий с учетом современных требований энергоэффективности, а также исследование влияния различных теплоизоляционных материалов на снижение энергозатрат. В рамках исследования рассмотрены различные типы наружных стен, включая однослойные и многослойные конструкции, а также возможности улучшения их теплотехнических характеристик с применением современных теплоизоляционных материалов.

Ключевые слова: энергоэффективность зданий, теплозащита, многослойные конструкции, неоднородные ограждения, теплотери, тепловое сопротивление, утепление, мостики холода, минеральная вата, газобетон, тепловая модернизация.

В условиях глобальных изменений климата и роста стоимости энергетических ресурсов, проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности зданий становятся особенно актуальными. Одним из основных факторов, влияющих на теплотехнические характеристики и энергозатраты, является конструкция наружных стен зданий.

Наружные стены, являясь важнейшими элементами ограждающих конструкций, непосредственно влияют на теплотери через наружные ограждения и, соответственно, на уровень энергоэффективности здания. Исходя из этого, оптимизация конструкции наружных стен с применением современных теплоизоляционных материалов становится ключевым направлением для повышения общей энергоэффективности зданий.

Целью настоящего исследования является анализ и оптимизация конструктивных решений наружных стен гражданских зданий с учетом

требований энергоэффективности. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Рассмотреть и проанализировать существующие решения для утепления наружных стен.
- Оценить влияние различных типов теплоизоляционных материалов на теплотехнические характеристики наружных стен.
- Выявить эффективные методы утепления и оптимизации конструктивных решений с точки зрения энергоэффективности.
- Оценить экономическую эффективность внедрения технологий теплоизоляции.

В Республике Таджикистан принят ряд нормативных правовых актов, направленных на энергосбережение и повышение энергоэффективности, в том числе: Закон Республики Таджикистан "О энергосбережении и энергоэффективности", основная цель которого заключается в повышении эффективности использования энергетических ресурсов и продвижении рационального использования энергетических запасов [1]. Закон регулирует отношения в сфере энергосбережения и энергоэффективности, устанавливает государственную политику, полномочия уполномоченного органа, требования к госпрограммам и надзору, а также основы для нормирования и стимулирования эффективности в отраслях, включая строительство и здания. Для выполнения этих требований необходимо особое внимание уделять ограждающим конструкциям зданий – внешним стенам, покрытиям, перекрытиям над подвалами, окнам и дверям, то есть всему тому, что образует тепловую оболочку здания [2]. Через ограждающие конструкции происходит значительная часть теплопотерь: например, около 35% тепла уходит через стены и неизолированные стыки окон/дверей, около 25% – через крышу, и -10% – через полы. Таким образом, улучшение теплозащиты внешней оболочки прямо ведет к повышению энергоэффективности здания.

За последние десятилетия технологии строительства существенно изменились. Если раньше наружные стены зданий часто выполнялись из одного массивного материала (например, сплошной кирпичной кладки), то современные энергосберегающие решения обычно используют неоднородные многослойные конструкции. Структура ограждающей оболочки стала более сложной и многокомпонентной, насыщенной материалами с разными свойствами. Применяются сочетания несущих слоёв, теплоизоляционных материалов, воздушных прослоек, облицовок и специальных покрытий. Такой «слоёный пирог» позволяет достичь высокой теплозащиты без чрезмерного утолщения стен. В данной статье рассматриваются преимущества применения неоднородных ограждающих конструкций для повышения энергоэффективности гражданских зданий, приводятся расчёты теплотехнических показателей, практические примеры, а также даны рекомендации по учёту теплотехнической неоднородности при проектировании.

Ограждающие конструкции служат барьером между тёплым помещением и окружающей средой. Их теплотехническая эффективность во многом определяет объём тепловых потерь здания в холодный период года.

Повышение энергоэффективности здания часто начинают именно с утепления и улучшения характеристик ограждающих конструкций. Чем выше термическое сопротивление стены или крыши, тем меньше теплопотери при прочих равных условиях. Термическое сопротивление R ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) показывает способность конструкции сопротивляться прохождению тепла: чем больше R , тем лучше утепляет данная ограждающая конструкция. Соответственно, теплопотери через элемент ограждения могут быть оценены как $Q = \frac{1}{R} \cdot \Delta T \cdot A$ Вт, например, если R стены удаётся увеличить с 0,6 до 3,0 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, то теплопотери через неё при одинаковой площади и температурном перепаде снизятся примерно в 5 раз. Настолько

существенная экономия энергоресурса делает задачи теплозащиты оболочки здания приоритетными.

Регулирующие документы устанавливают минимально допустимые показатели теплозащиты. Согласно актуальным нормам СНиП РТ 23-02-2021 «Тепловая защита зданий» [2] для внешних стен гражданских зданий в среднем по РТ нормативное сопротивление теплопередаче R^{reg} составляет порядка 1.6-2.05 м²·°C/Вт, точное значение зависит от климатической зоны и назначения здания. Так, в городе Душанбе требуется R_0 не менее 1,6 м²·°C/Вт для жилых зданий с температурой внутри +20...22°C. Если бы попытаться обеспечить такую теплозащиту однослойной кирпичной стеной без утеплителя, потребовалось бы сделать стену практически метровой толщины. Расчеты показывают, что для сплошной кладки из обыкновенного кирпича ($\lambda = 0,7$ Вт/(м·°C) нужна толщина около 0,99 м, чтобы добиться $R = 1,6$ м²·°C/Вт. Это крайне нерационально и дорого, не говоря уже о выросшей нагрузке на фундамент и уменьшении полезной площади внутри здания. Неудивительно, что традиционные однослойные стены из тяжелых материалов в современном строительстве практически не применяются для теплозащищённых зданий – им на смену пришли неоднородные многослойные конструкции.

В работе Alfraidi Yahya, Boussabaine Abdel Halim [3] отмечается, что при проектировании зданий особое значение имеет грамотный подбор материалов для ограждающих конструкций. Эти конструкции выполняют ключевую функцию в регулировании процессов теплопередачи. Применение теплоизоляционных покрытий на ограждающих элементах позволяет снизить утечку тепла из помещения в зимний период и предотвратить его поступление внутрь здания летом.

Проектируя здания, архитекторы обязаны ориентироваться на климатические характеристики строительного района. Следует

максимально использовать природные преимущества, внедрять меры по энергосбережению [4].

Из приведённых примеров очевидно, что самым экономически и технически целесообразным путём к энергоэффективности является комбинация материалов: несущая часть конструкции выполняется из прочного материала бетон, кирпич, блоки, а функцию утепления берут на себя специальные теплоизоляционные слои. Именно такая неоднородная конструкция позволяет разнести функции несущей способности и теплозащиты между разными слоями, оптимизируя и то, и другое.

Преимущества многослойных стен перед однослойными с точки зрения энергосбережения можно резюмировать следующим образом:

Высокая термоэффективность при разумной толщине. Многослойная стена с утеплителем легко достигает требуемого R без экстремального увеличения толщины стены. Как отмечалось, 10см эффективного утеплителя заменяют более метра кирпича. Это позволяет сохранять нормальную толщину стен (например, 30–50см вместо 1–2м), экономя площадь помещений и материалы.

Проектировщик может комбинировать слои для достижения оптимальных характеристик. Несущий слой (кирпич, бетон, деревянный каркас и т.п.) обеспечивает прочность, тогда как наружный теплоизоляционный слой (минеральная вата, пенополистирол, полиуретан и др.) отвечает за теплосбережение. Можно добавлять и другие слои: пароизоляцию, ветрозащиту, облицовку для защиты утеплителя и декоративной отделки.

Снижение теплопроводных включений. В однородной стене из кирпича или бетона неизбежно присутствуют "мостики холода" – участки, где тепло уходит быстрее (швы, стыки, перемычки, каркас). В многослойной системе наружный сплошной утеплитель перекрывает большинство таких мостиков,

уменьшая неравномерность теплопередачи. Например, при наружном утеплении сплошным слоем минеральной ваты основные конструктивные элементы оказываются в тепле, и тепловые потери равномерны по поверхности стены.

Защита конструкции и комфорт. Утеплённая снаружи стена имеет более высокую внутреннюю поверхность температуры зимой, что улучшает комфорт в помещениях (нет эффекта «холодной стены»). Кроме того, точка росы (зона возможной конденсации влаги) выносится в слой утеплителя, благодаря чему несущая часть стены остаётся в тёплом и сухом состоянии, не промерзает и менее подвержена сырости и разрушению. Это повышает долговечность здания [5,6].

Однако, несмотря на перечисленные плюсы, неоднородные многослойные конструкции требуют более тщательного подхода к проектированию и строительству по сравнению с простыми однослойными стенами. Во-первых, появляются дополнительные задачи обеспечения пароизоляции, защиты утеплителя от увлажнения, крепления новых слоёв и т.д. Во-вторых, качество монтажа выходит на первый план: неправильно установленный утеплитель, зазоры, непроклеенные стыки пароизоляции могут существенно снизить рассчитанное термосопротивление конструкции. Специалисты отмечают, что при нарушении технологий фактическое сопротивление ограждения нередко оказывается на 20–30% ниже расчётного. Другими словами, теплотехнические неоднородности – места разрыва слоя утеплителя, включения материалов с высокой λ (например, бетонные колонны, металлические анкеры, мостики холода в утеплителе) – способны свести на нет ожидаемый энергосберегающий эффект.

Кроме того, многослойная стена зачастую менее инерционна в тепловом отношении, особенно если основной несущий слой тонкий или из легкого материала. Тяжёлая однослойная стена (например, толстая

кирпичная) способна аккумулировать тепло, сглаживая колебания температуры внутри помещения. Многослойные решения с лёгким утеплителем имеют гораздо меньшую теплоёмкость, и температура внутри может сильнее зависеть от режима отопления. Впрочем, в зданиях с постоянным отоплением эта проблема невелика, а плюсы утепления перевешивают.

Экономические и эксплуатационные аспекты тоже нужно учитывать. Многослойная стена обычно обходится дороже однослойной за счёт стоимости утеплителя, дополнительных материалов (крепеж, пароизоляция, облицовка) и работ. В процессе эксплуатации утеплитель может требовать замены или ремонта через 40–50 лет (например, минеральная вата может со временем просесть, пенопласт – частично разрушиться), тогда как монолитная стена из камня или кирпича сохраняет свойства десятилетиями. Таким образом, идеальным решением было бы сочетать долговечность и простоту однослойных конструкций с высокой теплозащитой многослойных. Отчасти этого удалось добиться созданием новых строительных материалов (теплая керамика, газобетон и пр., как упомянуто выше), однако такие материалы в сущности сами представляют собой неоднородные структуры (например, поризованный кирпич заполнен воздушными пустотами, газобетон – пористая структура из твердых и газовых включений). То есть принцип комбинирования разнородных элементов для повышения теплозащиты сохраняется.

Теплотехническая неоднородность ограждающей конструкции – это наличие участков с различными коэффициентами теплопередачи. Классический пример – кирпичная стена с железобетонными колоннами или поясами: бетон проводит тепло значительно интенсивнее, чем ограждающая кирпичная кладка, в результате через эти включения происходит непропорционально большая утечка тепла. Другие примеры: стыки панелей,

анкеры и связь для крепления фасада, места примыкания перекрытий, оконные перемычки, электрические розетки на наружных стенах и т.д. В каркасных стенах – деревянные или железобетонные колонны тоже являются более теплопроводными включениями относительно утеплителя.

При расчёте приведённого сопротивления теплопередаче $R_{\text{прив}}$ таких ограждений необходимо учитывать влияние неоднородностей. В СНиП РТ 23-02-2021 предусматривают методики расчёта сопротивления теплопередаче многослойных ограждающих конструкций с учётом «мостиков холода». Один из простых подходов - поэлементный расчёт: определяется доля площади каждого элемента например, основная часть стены и железобетонные колонны, после чего вычисляется средневзвешенное термическое сопротивление. Формула для двухкомпонентной стены имеет вид:

$$\frac{1}{R_{\text{прив}}} = \frac{\phi_1}{R_1} + \frac{\phi_2}{R_2}, \quad (1)$$

Пример: Стена из газоблоков ($R_{\text{блок}}=1,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$) с железобетонным поясом ($R_{\text{жб}} = \text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт м}^2$) по этажу, занимающим 5% площади. Если бы не было пояса, стена имела бы $R=1,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Чтобы компенсировать это, часто увеличивают толщину утеплителя именно в зоне пояса или по всей стене [7].

При проектировании энергоэффективных зданий крайне важно минимизировать такие мостики холода. Конструктивно это достигается за счёт:

- применения сплошного наружного слоя утеплителя, непрерываемого на стыках (например, теплоизоляция, покрывающая и стены, и железобетонные колонны снаружи единым контуром);
- использования терморазрывов для высокопроводящих деталей – например, пластиковые или композитные анкеры вместо стальных,

термовставки в бетонных или кирпичных элементах, наличие прокладок под металлическими балками и т.д.;

- уделения особого внимания узлам примыкания окон, дверей, балконных плит: там часто возникают точечные неоднородности. Решение – специальные утеплённые перемычки, терморазрывы в балконных плитах, качественная установка окон с утеплением откосов.

Современные фасадные системы обычно проектируются так, чтобы максимальная площадь внешней оболочки была покрыта непрерывным теплоизолятором. Например, в навесных вентилируемых фасадах теплоизоляционные маты крепятся по всей стене, а крепежные элементы имеют небольшой поперечник и выполнены из материалов с пониженной теплопроводностью (пластик, стеклопластик). В системах «мокрый фасад» утеплитель также покрывает всю поверхность, а армирование и штукатурка снаружи наносятся по нему. Благодаря этому влияние отдельных конструктивных включений сведено к минимуму.

Проблемы энергосбережения и энергоэффективности напрямую зависят от природно-климатических условий. Показатели температуры наружного воздуха, использованные в данной статье, основаны на результатах научных исследований и трудах ряда учёных [8-10].

Рассмотрим упрощенный расчет для сравнения теплотерь через два варианта наружной стены одного и того же здания. Исходные данные: площадь внешней стены $A = 50\text{ м}^2$, внутренняя температура $+20^\circ\text{C}$, наружная расчётная температура $-9,5^\circ\text{C}$, ($\Delta T = 29,5^\circ\text{C}$).

Вариант 1: стена выполнена из обычного кирпича толщиной 380 мм, без утеплителя (рис. 1). Теплопроводность кирпичной кладки примем $\lambda = 0,7\text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Рассчитаем сопротивление: $R_{\text{стены}} = 0,38/0,7 = 0,54\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (плюс величины $R_{\text{внутр}} + R_{\text{наруж}} = 0,15$). Итого $R_{\text{общ}} = 0,7\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Теплотери через стену составят:

$$Q_1 = \frac{\Delta T}{R_{\text{общ}}} \cdot A = \frac{29,5}{0,7} \cdot 50 = 2107 \text{ Вт}.$$

То есть около 2,1 кВт тепла теряется постоянно через эту стену при морозе -9,5 °С. За час это 2,1 кВт·ч энергии, за сутки 50,4 кВт·ч. Если отопление электрическое, это 50,4 кВт × 35,36 дирхам = 17,8 сомони в сутки;.

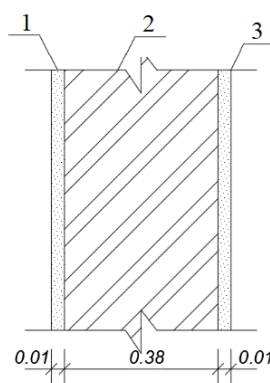


Рис. 1. - Наружная ограждающая стена без теплоизоляционного слоя. 1 - штукатурка, 2 - кирпичная кладка, 3 - штукатурка.

Вариант 2: стена с той же 380 мм кирпичной основой, но дополнительно утеплена снаружи 60 мм минераловатной плитой ($\lambda = 0,06$) (рис 2). Сопротивление слоя утеплителя $R_{\text{ут}} = \frac{0,06}{0,06} = 1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Теперь суммарное сопротивление: $R_{\text{общ}} = 0,54_{\text{ст}} + 1,00_{\text{ут}} + 0,15_{\text{пов}} = 1,69 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Теплопотери:

$$Q_2 = \frac{29,5}{1,69} \cdot 50 = 872 \text{ Вт}.$$

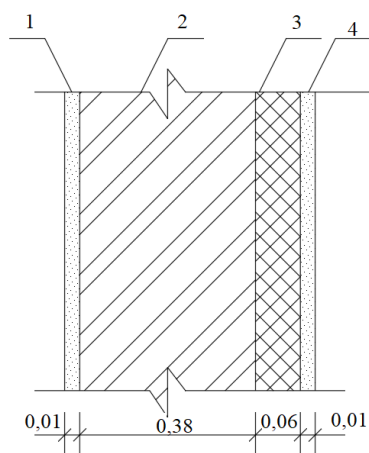


Рис. 2. - Наружная ограждающая стена с теплоизоляционным слоем. 1 - штукатурка, 2 - кирпичная кладка, 3 - теплоизоляционный материал, 4 – штукатурка.

Получаем, что утепление позволило снизить теплопотери до 0,87 кВт, что более чем в 2,5 раза меньше, чем в первом варианте. Экономия тепла 1,23 кВт непрерывно; за сутки это 20,88 кВт·ч. Соответственно, ежегодные затраты на отопление данного здания существенно сократятся, а первоначальные вложения в утепление окупятся благодаря экономии топлива (рис. 3). Этот расчет наглядно демонстрирует, насколько эффективны могут быть меры по теплоизоляции ограждающих конструкций.

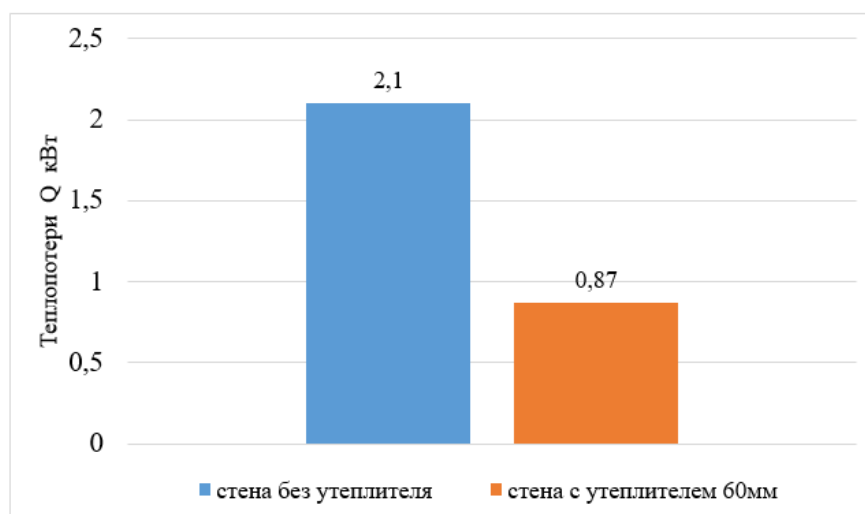


Рис 3. - Сравнение теплопотерь через стену до и после утепления

Конечно, приведённый пример упрощён (не учитывает окон, угловых зон, возможной инфильтрации воздуха и т.д.), однако он отражает общий принцип многослойные ограждающие конструкции с теплоизоляциям кардинально повышают энергоэффективность здания. Сочетание расчетных методов и практических мероприятий (качество монтажа, устранение мостиков холода) позволяет достигать нормативных показателей и существенно снижать расходы на отопление без ущерба для комфорта.

В заключение отметим, что повышение энергоэффективности зданий многогранная задача, но начинать её следует с тепловой модернизации ограждающей оболочки. Использование продуманных неоднородных конструкций, объединяющих различные материалы, даёт возможность достигнуть современных стандартов теплозащиты. При условии правильного проектирования и строительства такие конструкции обеспечивают существенную экономию энергии без ущерба для безопасности и комфорта. Дальнейшее развитие технологий теплоизоляции и новых материалов будет только расширять арсенал средств для создания ещё более эффективных и экологичных зданий будущего.

Литература

1. Шокиров Р.М Повышение энергоэффективности зданий в Республике Таджикистан //Инженерный вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7505/
2. Гулямов Б.А., Шокиров Р.М., Каримов Н.М., Климатические факторы, учитываемые при проектировании солнечных малоэтажных гражданских зданий в условиях Республики Таджикистан // Инженерный вестник Дона, 2024, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8954
3. Alfraidi Yahya, Boussabaine Abdel Halim. Design Resilient Building Strategies in Face of Climate Change // World Academy of Science, Engineering

and Technology International Journal of Civil, Structural, Construction and Architectural Engineering Vol:9, No:1, 2015 URL: publications.waset.org/10000292

4. Zhixing Li, Yukai Zou, Mimi Tian and Yuxi Ying Research on Optimization of Climate Responsive Indoor Space Design in Residential Buildings// Buildings 2022, 12, 59. URL: doi.org/10.3390/buildings12010059.

5. Антипов В. И., Кожевников С. А. Теплотехнические расчёты ограждающих конструкций. – Москва: АСВ, 2018. – 224 с.

6. Баженов Ю. М., Соловьёв А. Н. Энергоэффективные строительные материалы и технологии. – Москва: Изд-во АСВ, 2020. – 312 с.

7. Кутепов Б. И., Стрелков А. А. Физика строительных конструкций. – Москва: Высшая школа, 2016. – 400 с.

8. Хасанов Н.Н. Социальные комплексы для детей с ограниченными функциональными возможностями в условиях Таджикистана // дисс....доктора архитектуры. Душанбе, 2019. 268 с.

9. Шокиров Р.М. Принципы проектирования учебно-воспитательных учреждений для детей с нарушением опорно-двигательного аппарата (для условий республики Таджикистан) // дис. доктор PhD/, Душанбе, 2019, 169 с.

10. Нигматов И.И. Проектирование зданий в регионах с жарким климатом с учётом энергосбережений, микроклимата и экологии. Душанбе. Ирфон, 2007. 307 с

References

1. Shokirov R.M Inzhenernyj vestnik Dona. 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7505

2. Guljamov B.A., Shokirov R.M., Karimov N.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8954

3. Alfraidi Yahya, Boussabaine Abdel Halim. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Structural, Construction and Architectural Engineering, 2015. Vol: 9, №1. URL: publications.waset.org/10000292
4. Zhixing Li, Yukai Zou, Mimi Tian and Yuxi Ying Buildings 2022, №12-59. URL: doi.org/10.3390/buildings12010059.
5. Antipov V. I., Kozhevnikov S. A. Teplotekhnicheskie raschjoty ograzhdajushhih konstrukcij [Thermal engineering calculations of enclosing structures]. Moskva. ASV, 2018. 224 p.
6. Bazhenov Ju. M., Solov'jov A. N. Jenergojeffektivnye stroitel'nye materialy i tehnologii Energy-efficient building materials and technologies [Energy-efficient building materials and technologies]. Moskva. Izd-vo ASV, 2020. 312 p.
7. Kutepov B. I., Strelkov A. A. Fizika stroitel'nyh konstrukcij [Physics of building structures] Moskva. Vysshaja shkola, 2016. 400 p.
8. Khasanov, N.N. Sotsial'nyye kompleksy dlya detey s ograničennymi funktsional'nymi vozmožnostyami v usloviyakh Tadžikistana хъ [Social complexes for children with limited functional abilities in the conditions of Tajikistan] diss....doktora arkhitektury. Dushanbe, 2019. 268 p.
9. Shokirov, R.M. Printsipy proyektirovaniya uchebno-vospitatel'nykh uchrezhdeniy dlya detey s narusheniyem oporno-dvigatel'nogo apparata (dlya usloviy respubliky Tadžikistan) [Principles for designing educational institutions for children with musculoskeletal disorders (for the conditions of the Republic of Tajikistan)] dis. doktor PhD/, Dushanbe, 2019. 169 p.
10. Nigmatov I.I. Proyektirovaniye zdaniy v regionakh s zharkim klimatom s uchotom energosberezheniy, mikroklimata i ekologii [Design of buildings in regions with a hot climate, taking into account energy savings, microclimate and ecology]. Dushanbe. Irfon, 2007. 307 p.

Дата поступления: 11.11.2025

Дата публикации: 25.12.2025