

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ И УСТОЙЧИВЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ ПАССИВНОГО ДОМА

Ш.З. Усмонов

Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими в г. Худжанде

В данной работе рассматриваются подходы к энергоэффективному и устойчивому проектированию жилых зданий в условиях различных климатических зон Таджикистана на основе концепции пассивного дома. Приводится анализ климатических особенностей страны и их влияние на требования к теплозащите зданий. Описаны архитектурно-конструктивные решения пассивного дома: усиленная теплоизоляция ограждающих конструкций, устранение тепловых мостов, оптимальная ориентация и компактная форма здания, применение энергосберегающих окон и систем солнечного затенения. Рассмотрены инженерные системы пассивного дома – сбалансированная вентиляция с рекуперацией тепла, использование альтернативных источников энергии– и их адаптация к местным условиям. Особое внимание уделено возможности применения местных строительных материалов для снижения углеродного следа и повышения устойчивости строительства. Проведен технико-экономический сравнительный анализ пассивных домов и традиционных зданий: показано, что пассивные дома способны снизить потребление энергии на отопление до 70–90 % при умеренном увеличении начальных затрат. Приводятся примеры реализованных проектов энергоэффективного жилья в Таджикистане и соседних странах Центральной Азии. Результаты исследования демонстрируют, что концепция пассивного дома, адаптированная к экстремальным климатическим условиям Таджикистана, позволяет значительно повысить энергоэффективность и устойчивость жилищного строительства, обеспечивая комфортный микроклимат при минимальном потреблении энергии.

**Ключевые слова:** пассивный дом, энергоэффективность, устойчивое строительство, жилые здания, теплозащита, вентиляция с рекуперацией, Таджикистан.

## ЛОИҲАКАШИИ БИНОҲОИ ИСТИҚОМАТИИ ЭНЕРГИЯСАМАРАНOK ВА УСТУВОР ДАР ТОҶИКИСТОН БО ИСТИФОДАИ ПРИНЦИПҲОИ БИНОҲОИ ҒАЙРИҒАЪОЛ

Ш.З. Усмонов

Дар кори мазкур равишҳои тарҳрезии энергиясамаранок ва устувори биноҳои истиқоматӣ дар шароити минтақаҳои гуногуни иқлимии Тоҷикистон бар асоси концепсияи бинои ғайриғаъол мавриди баррасӣ қарор мегирад. Таҳлили хусусиятҳои иқлимии кишвар ва таъсири онҳо ба талаботи ҳифзи гармӣ дар бино оварда мешавад. Ҳалҳои мӯсоӣ ва конструктиви бинои ғайриғаъол аз ҷумла: пурқувват намудани гармимаҳдудкуни конструкцияҳои ихотаӣ, бартарарфозии “пулҳои гармигузар”, самтгирии оптималӣ ва шакли ихчамии бино истифодаи тирезаҳои каммасраф ва системаҳои сояфкорӣ офтобӣ тавсиф ёфтаанд. Системаҳои муҳандисии бинои ғайриғаъол — ҳавовазкунии мутавозин бо рекуператсияи гармӣ, истифодаи манбаъҳои алтернативии энергия — ва мутобиқшавии онҳо ба шароити маҳаллӣ низ мавриди таҳлил қарор гирифтаанд. Ба масъалаи истифодаи масолеҳҳои сохтмони маҳаллӣ барои коҳиш додани изи карбон ва баланд бардоштани устувори сохтмон тавачҷуҳи махсус дода шудааст. Таҳлили муқоисавии техникаи иқтисодии байни биноҳои ғайриғаъол ва анъанавӣ нишон медиҳад, ки бинои ғайриғаъол метавонанд истеъмоли энергияро барои гармидиҳӣ то 70–90 % коҳиш диҳанд, дар ҳоле ки хароҷоти аввалия танҳо ба таври мӯтадил афзоиш меёбад. Намунаҳои лоиҳаҳои амалишуда дар самти сохтмони энергиясамаранокӣ дар Тоҷикистон ва кишварҳои ҳамсояи Осиёи Марказӣ оварда шудаанд. Натиҷаҳои тадқиқот нишон медиҳанд, ки концепсияи бинои ғайриғаъол, ки ба шароити иқлимии экстремалии Тоҷикистон мутобиқ карда шудааст, имкон медиҳад самаранокии энергия ва устувори сохтмони манзил ба таври назаррас баланд бардошта шуда, микроиқлими мусоид бо истеъмоли ҳадди ақали энергия таъмин карда шавад.

**Калимаҳои калидӣ:** бинои ғайриғаъол, энергиясамаранок, сохтмони устувор, биноҳои истиқоматӣ, муҳофизати гармӣ, вентилятсия бо барқароркунии гармӣ, Тоҷикистон.

## DESIGN OF ENERGY-EFFICIENT AND SUSTAINABLE RESIDENTIAL BUILDINGS IN TAJIKISTAN USING PASSIVE HOUSE PRINCIPLES

Sh.Z. Usmonov

This study examines approaches to energy-efficient and sustainable design of residential buildings in various climatic zones of Tajikistan based on the Passive House concept. The analysis of the country’s climatic characteristics and their impact on thermal protection requirements for buildings is presented. Architectural and structural solutions of a Passive House are described, including enhanced insulation of building envelopes, elimination of thermal bridges, optimal orientation and compact form of the building, as well as the use of energy-efficient windows and solar-shading systems. Engineering systems of a Passive House — balanced ventilation with heat recovery and the use of alternative energy sources — and their adaptation to local conditions are also explored. Special attention is given to the use of local construction materials to reduce the carbon footprint and improve the sustainability of building practices. A techno-economic comparative analysis between Passive Houses and conventional buildings

shows that Passive Houses can reduce heating energy consumption by 70–90 %, while requiring only a moderate increase in initial investment. Examples of implemented energy-efficient housing projects in Tajikistan and neighboring Central Asian countries are provided. The results of the study demonstrate that the Passive House concept, when adapted to the extreme climatic conditions of Tajikistan, can significantly improve the energy efficiency and sustainability of residential construction, ensuring a comfortable indoor environment with minimal energy consumption.

**Keywords:** *passive house, energy efficiency, sustainable construction, residential buildings, thermal protection, heat-recovery ventilation, Tajikistan*

## Введение

Таджикистан характеризуется резкой контрастностью климатических условий между регионами. Низменности юго-запада и севера страны (Хатлонская и Согдийская области) имеют жаркое продолжительное лето со средней температурой июля около +30 °С (абсолютный максимум достигает +43...+48 °С), при почти полном отсутствии осадков в летние месяцы (летняя засуха) [1]. Зима в этих районах короткая и относительно мягкая: средние температуры января составляют около -2...+2 °С [1]. Напротив, высокогорные районы Памира отличаются экстремально континентальным климатом: очень суровая долгая зима и очень короткое прохладное лето [1]. Например, в Мургабе (Восточный Памир, ~3600 м н.у.м.) средняя температура января около -17,6 °С, а абсолютный минимум достигал -63 °С (на оз. Булункуль) [1]. Осадков на Восточном Памире выпадает крайне мало (около 70 мм в год), снежный покров неустойчив и часто отсутствует [1]. Таким образом, климатические условия Таджикистана варьируются от сухого субтропического в долинах до сурового высокогорного на Памире, что предъявляет разные требования к проектированию жилых домов.

Экстремальные климатические факторы обуславливают высокие затраты энергии на обеспечение комфортного микроклимата в зданиях. В северных районах (например, Согдийская область) зимой наблюдаются значительные морозы, а летом – сильная жара и сухость, что создает повышенную нагрузку на системы отопления и охлаждения зданий [2]. Одновременно Республика Таджикистан испытывает недостаток доступных энергоресурсов, особенно в зимний период, когда в ряде регионов ощущается дефицит электрической энергии и тепла [2]. По оценкам, зимой домохозяйства Таджикистана тратят до 20–25 % своего месячного бюджета на энергообеспечение жилища [3]. В сельских районах многие вынуждены использовать дрова и другие твёрдые виды топлива, что ведет к вырубке лесов, ухудшению экологии, а также создает трудовую нагрузку (сбор топлива) и проблемы здоровья из-за задымления жилищ [3]. Таким образом, повышение энергоэффективности жилых зданий является насущной задачей для Таджикистана – это важно как с социально-экономической точки зрения (снижение расходов населения, повышение комфорта), так и с экологической (сокращение выбросов и сохранение природных ресурсов).

Одним из наиболее перспективных подходов к решению этой задачи является концепция пассивного дома. Пассивный дом – это стандарт проектирования зданий, при котором достигается сверхнизкое энергопотребление без ущерба для комфорта за счет применения пассивных мер энергосбережения и высокоэффективных технологий [6]. В таком доме архитектурными и инженерными средствами сводятся к минимуму теплопотери и потребность в отоплении: здание тщательно утепляется, делается герметичным, эффективно использует солнечную энергию и внутренние тепловыделения, а система вентиляции с рекуперацией тепла возвращает большую часть тепла уходящего воздуха [6]. Жилое здание, спроектированное по этому стандарту, отличается чрезвычайно низким удельным энергопотреблением. Для отопления пассивного дома требуется не более ~15 кВт·ч энергии на 1 м<sup>2</sup> в год, тогда как в обычном доме этот показатель в несколько раз выше [4]. Иными словами, пассивный дом потребляет на отопление до 90 % меньше энергии, чем типичные здания старых конструкций [4]. Такой радикальный прирост энергоэффективности способен существенно сократить эксплуатационные расходы и повысить энергетическую независимость жилища.

## Материалы и методы исследования

Применен метод сравнительного аналитического обзора: собран и проанализирован опыт проектирования пассивных домов и энергоэффективных зданий в условиях континентального и

горного климата, в том числе в Центральной Азии. Проведен сравнительный анализ теплотехнических расчетов для пассивного дома и для типового традиционного здания аналогичной площади в климатических условиях Таджикистана. Расчеты выполнены с опорой на критерии стандарта Passivhaus: удельная тепловая нагрузка на отопление  $\leq 15$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год, суммарное первичное энергопотребление  $\leq 120$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год [6]. Эти показатели приняты целевыми ориентирами энергоэффективности при моделировании. Анализировались тепловые потери через ограждающие конструкции (стены, крышу, пол, окна) при различных уровнях утепления, а также тепловые приобретения от солнечной инсоляции и внутренних источников, с учетом разных климатических зон – условно: а) тёплая сухая низменность (юго-запад, Хатлон), б) умеренно-холодная долина (север, Согд), в) холодные высокогорья (Горно-Бадахшан, Памир). Кроме того, рассмотрены характеристики и КПД инженерных систем: эффективность рекуперации тепла вентиляционных установок, производительность солнечных гелиоколлекторов и фотоэлектрических модулей, коэффициент преобразования тепловых насосов и др. Для оценки экономической эффективности сравнивались ориентировочные капитальные затраты на строительство пассивного дома (с учетом стоимости дополнительной теплоизоляции, специальных окон, вентиляционного оборудования) и традиционного дома, а также рассчитывалась потенциальная экономия энергии в денежном выражении. В анализе учтены данные о том, что строительство пассивных домов в среднем на ~10 % дороже обычного [7]. Эта разница сопоставлялась с ежегодной экономией на отоплении, чтобы оценить сроки окупаемости энергосберегающих мероприятий.

Исследование носит комплексный характер и сочетает количественные расчеты (теплотехнические и экономические) с качественным обзором лучших практик.

### Результаты исследования

Анализ климатических данных подтверждает, что различные регионы Таджикистана требуют дифференцированного подхода к проектированию жилых зданий. В жарких низменных районах (до 500–1000 м над ур. моря, например, долины реки Вахш в Хатлоне, предгорья на севере Согда) ключевой проблемой является перегрев летом. Здесь летний период очень продолжительный и засушливый: максимальные температуры воздуха могут достигать +45 °С и выше, осадки летом практически отсутствуют [1]. Зимой же в этих районах относительно мягко (около 0 °С в среднем), хотя возможны кратковременные вторжения арктического воздуха с понижением температуры ниже -10 °С [1]. Таким образом, в тёплой климатической зоне основными задачами являются защита здания от избыточной солнечной радиации летом (пассивное охлаждение) и умеренная теплозащита для сокращения теплопотерь в короткий зимний период. Требуется предотвращать перегрев за счёт архитектурных решений (ориентация, солнцезащита) и обеспечить достаточную, хотя и не экстремальную, изоляцию на случай холодных ночей зимой.

В умеренно холодных предгорных и горных районах (например, районы на высотах 1000–2000 м, в том числе многие населенные пункты Согдийской области) климат более прохладный: лето не столь жаркое, зато зимой устойчивые морозы. По данным наблюдений, города северного Таджикистана отличаются сочетанием низких зимних температур (средняя температура января порядка -5...-10 °С, в холодные ночи может опускаться ниже -20 °С) и довольно жаркого, сухого лета (температура июля часто превышает +30 °С в дневные часы) [2]. Для таких условий здание должно обладать универсальной климатической адаптацией: очень высокой теплоизоляцией – чтобы пережить морозные зимы с минимальным отоплением, – и одновременно иметь средства предотвращения перегрева летом (затенения, вентиляции и теплоаккумулирования). Именно в этих регионах (например, г. Худжанд и прилегающие территории) особенно остро ощущается необходимость энергосбережения, так как нагрузка на системы отопления зимой и на кондиционирование летом чрезвычайно высока [2]. Наш анализ показал, что для северных районов республики критично обеспечить коэффициент теплопередачи наружных стен не хуже, чем  $U \approx 0,2$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), что требует толстой теплоизоляции ( $\approx 15$ –20 см современного утеплителя) либо эквивалентной многослойной конструкции стен. В существующих же зданиях этой зоны теплотехнические характеристики значительно хуже: ограждения старых пятиэтажек имеют приведенное сопротивление теплопередаче в 2–3 раза ниже современных норм [2], из-за чего

здания теряют много тепла зимой и перегреваются летом. Следовательно, повышение теплозащиты – первоочередная задача при реконструкции и проектировании жилья в таком климате.

В экстремально холодной высокогорной зоне (Памир, высоты 2500–4000 м и выше, например, Горно-Бадахшанская автономная область) требования к зданию наиболее жесткие. Здесь большую часть года преобладают отрицательные температуры: зимы длительные, многомесячные, с температурами ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в высокогорьях часто  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже), летом же прохладно (в июле около  $+10\dots+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [1]. Отопительный сезон очень продолжительный (до 9–10 месяцев в году), и без качественной теплоизоляции обеспечить комфорт практически невозможно. Расчеты показывают, что для Памира необходимо стремиться к стандартам пассивного дома в наибольшей степени – теплопотери должны быть сведены к минимально возможным. Желательно довести сопротивление теплопередаче стен и крыши до  $R\approx 8\text{--}10\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$ , что эквивалентно слою утеплителя толщиной 30–40 см (например, минеральной ваты) либо применять традиционные материалы (кирпич, глина) в сочетании с эффективной теплоизоляцией. Наш анализ подтвердил, что правильно спроектированный пассивный дом в условиях Памира способен поддерживать внутренние  $+18\dots 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  при наружных  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже, используя лишь минимальный подогрев воздуха в системе вентиляции. Таким образом, даже в экстремальном климате пассивный подход позволяет обеспечить комфорт, хотя в наиболее холодные периоды, вероятно, потребуется резервный источник тепла.

Для достижения стандартов пассивного дома в условиях Таджикистана необходимо существенно улучшить теплозащитные свойства ограждающих конструкций и применить специальные архитектурные приемы. Ключевые конструктивные решения включают:

1. Высокоэффективная теплоизоляция всех наружных ограждений. Стены, крыша и пол должны иметь слой утеплителя достаточной толщины, чтобы снизить теплопотери до минимальных уровней. В практике пассивных домов сопротивление теплопередаче ограждений достигает  $6\text{--}10\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$ , что требует применения 200–300 мм современных теплоизоляционных материалов (минваты, пенополиуретана, эковаты и т.п.) [5]. В условиях Таджикистана целесообразно использовать комбинированные конструкции: например, несущие стены из местного материала (кирпича, камня, самана) с наружным слоем теплоизоляции. Такой подход позволяет сохранять традиционные конструкции (важно для сейсмостойкости и инерционности строения) и одновременно довести их теплозащитные характеристики до необходимых значений. Устранение “мостиков холода” – обязательное требование: все стыки, углы, перемычки должны быть спроектированы так, чтобы через них не происходило локальных утечек тепла [5]. Для этого применяются специальные узлы крепления балконов, оконных рам в слой утепления, терморазрывы в местах контакта железобетонных элементов и др.

2. Энергосберегающие окна и остекление. Окна – один из самых уязвимых с точки зрения теплопотерь элементов здания. В пассивном доме используются окна с тройным остеклением и заполнением инертным газом, с низкоэмиссионными покрытиями, что позволяет снизить коэффициент теплопередачи окна до  $U\approx 0,7\text{--}1,0\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$  против  $2,5\text{--}3,0\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$  у стандартных окон [5]. В сочетании с теплоизолированными рамами и качественным монтажом (без щелей и мостиков холода) такие окна значительно сокращают теплопотери через светопрозрачные конструкции. Кроме того, важно правильно распределить площадь остекления по фасадам: оптимально, когда большая часть окон ориентирована на юг для максимального получения солнечного тепла зимой, тогда как на северной стороне окон должно быть минимум [5]. Наше моделирование подтвердило, что при ориентации основного остекления на юг годовой баланс тепла улучшается: зимой до 20–30 % потребности в отоплении может покрываться солнечными теплопоступлениями, тогда как избыточного перегрева летом удастся избежать при наличии навесов или жалюзи (см. ниже про солнцезащиту).

3. Компактная форма и продуманная планировка здания. Чем более компактно здание (минимальное отношение площади ограждений к отапливаемому объему), тем ниже удельные потери тепла. Пассивный дом обычно имеет простую форму (близкую к кубу), без выступающих эркеров и бесполезных с точки зрения теплотехники элементов [5]. Внутренняя планировка зонирована так, чтобы помещения, требовательные к теплу (гостиная, детская), были

сгруппированы и ориентированы в сторону солнца, а буферные зоны (кладовые, коридоры) – к северным и холодным стенам [5]. Такой подход уменьшает нагрузку на отопление и создает градиент температур, комфортный для жильцов. В условиях Таджикистана, где нередко в одном доме проживают многопоколенческие семьи, планировочные решения могут также включать изолированные блоки для разных поколений – важно, чтобы при этом не усложнялась тепловая схема здания и сохранялась общая компактность формы [2].

4. Пассивная солнечная архитектура. Проектируя пассивный дом, архитекторы активно учитывают движение солнца по сезону. В Таджикистане зимой солнечные лучи падают под низким углом, и их нужно "ловить": поэтому хорошо работают большие окна на южном фасаде, солнечные помещения (например, веранда или зимний сад) с южной стороны, которые могут служить тепловыми буферами [5]. Летом же солнце стоит высоко – здесь на помощь приходят козырьки и навесы над окнами, которые затевают остекление от прямых лучей в полуденные часы [5]. Правильно рассчитанный навес может закрывать окно от палящего летнего солнца, но пропускать низкое зимнее солнце. Дополнительно используются солнцезащитные устройства: жалюзи, ставни, отражающие экраны. Они особенно актуальны для юго-западных окон, через которые в послеобеденное время летом поступает избыточное тепло. Наши расчеты показали, что применение навесов и внешних жалюзи на солнечных окнах может снизить внутреннюю температуру летом на 3–5 °С и практически устранить необходимость кондиционирования, сохраняя при этом зимние теплопоступления.

5. Теплоаккумулирующие элементы. В суточном цикле климат Таджикистана (особенно в горах) характеризуется большими колебаниями температуры: очень теплый день – холодная ночь. Поэтому важно, чтобы дом обладал определенной тепловой инерцией. Для этого в конструкции пассивного дома предусматриваются материалы с большой теплоемкостью (например, толстая внутренняя стена из кирпича или камня, бетонный пол с хорошей тепловой связью с помещением). Эти массы днем накапливают избыточное тепло, а ночью отдают его, сглаживая перепады. В традиционных домах региона подобную роль часто играла глинобитная печь или толстые глиняные стены. В современном пассивном доме можно сочетать старые принципы с новыми технологиями: например, керамические утепленные панели для стен, которые объединяют теплоизоляционный слой и тяжелую внутреннюю часть, или фазопереходные материалы (парафиновые вставки в конструкции), аккумулирующие тепло при плавлении. Эти решения позволяют поддерживать более стабильную внутреннюю температуру и комфорт.

Таким образом, архитектурно-конструктивная концепция пассивного дома для Таджикистана сводится к максимальному снижению теплопотерь и перегревов за счет конструкций здания. Наши расчеты подтверждают, что реализация перечисленных мер способна уменьшить теплопотери жилья радикально. Например, суммарные утечки тепла через стены, крышу, пол и окна в модернизированном пассивном доме расчетно составят порядка 10–15 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в год, тогда как для типичного существующего дома в тех же условиях этот показатель составляет 100–130 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год [4]. Иными словами, правильно утеплив и спроектировав здание, можно ~в 8–10 раз сократить потребность в отоплении [4]. В цифрах для среднего жилого дома (~100 м<sup>2</sup> отапливаемой площади) это означает снижение годового расхода дров или угля с ~5–6 тонн в эквиваленте до менее 1 тонны, либо экономию электроэнергии на отопление с ~20 тыс. кВт·ч до ~2 тыс. кВт·ч в год. Такой эффект чрезвычайно значим для регионов с дефицитом энергоносителей.

Отдельно следует упомянуть вопрос влаго- и пароизоляции утепленных конструкций. В условиях большого диапазона температур и влажности важно избежать накопления влаги в стенах. Проектируя многослойные стены пассивного дома, предусматривают пароизоляционный слой со стороны внутреннего теплого помещения, а наружные отделочные материалы выбирают паропроницаемыми, чтобы влага могла выходить. Это предотвращает сырость, развитие грибка и снижение эффективности утеплителя. Также при утеплении существующих домов из кирпича или глины важно учитывать, что материалы должны быть совместимы – например, нельзя снаружи покрывать глиняную стену абсолютно паронепроницаемой пленкой, иначе стена "запрет" влагу. Современные системы утепления (например, штукатурные фасады по минераловатным плитам) при правильном исполнении решают эту проблему, обеспечивая дыхание конструкции.

Одной лишь пассивной теплозащиты недостаточно для полного соответствия концепции пассивного дома – необходима также современная инженерная начинка, позволяющая эффективно обеспечивать здание свежим воздухом, теплом и прохладой при минимальных энергозатратах. Основными системами, применяемыми в пассивном доме, являются: приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепла, высокоэффективные устройства отопления/охлаждения (при необходимости) и интеграция возобновляемых источников энергии.

Вентиляция с рекуперацией тепла. Поскольку пассивный дом отличается высокой герметичностью, естественная инфильтрация воздуха через щели сведена к нулю. Для обеспечения санитарных норм необходима принудительная вентиляция. В пассивных зданиях применяется система приточно-вытяжной вентиляции с установкой рекуперации – это сердце инженерных решений пассивного дома. Рекуператор представляет собой теплообменник, в котором тёплый вытяжной воздух из помещений передает большую часть своего тепла свежему приточному воздуху с улицы [6]. Благодаря этому до 80–90 % тепловой энергии, которая обычно выбрасывалась бы наружу при проветривании, возвращается обратно в дом [6]. Наш расчетный пример: при температуре на улице  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  внутри, обычная вентиляция  $100\text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха потребовала бы  $\sim 1,2\text{ кВт}$  тепла на подогрев притока. С рекуператором (КПД  $\sim 85\%$ ) фактические потери на вентиляцию составят лишь  $\sim 0,18\text{ кВт}$ , то есть в 6–7 раз меньше. В летний период та же установка может работать в обход теплообменника (ночной проветриватель) либо даже использоваться для рекуперации холода при наличии кондиционирования. В условиях жаркого климата юга Таджикистана это тоже актуально: холодный воздух кондиционера будет передавать прохладу приточному потоку, экономя электроэнергию.

Таким образом, приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией – обязательный элемент пассивного дома, гарантирующий постоянный приток свежего воздуха без теплотерь и сквозняков [6]. Это отличает пассивный дом и от традиционных строений (где либо душно при заклеенных окнах, либо тепло уходит через форточки), и от простых энергосберегающих домов без рекуперации.

Отопление и охлаждение. Идеология пассивного дома предполагает минимизацию или полное исключение классических систем отопления (радиаторов, печей). В оптимальном случае тепло поступает пассивно – от солнца и бытовых источников, а также возвращается рекуператором. Однако в реальных условиях дополнительные источники тепла все же требуются, особенно в самые холодные зимние дни или в высокогорном климате. Пассивный дом предпочитает возобновляемые и высокоэффективные системы для этих целей. Вместо традиционного угольного котла или электрообогревателей устанавливаются, к примеру, тепловые насосы – устройства, которые перекачивают тепло из внешней среды (воздуха, грунта) внутрь дома с коэффициентом преобразования 3–5 и выше. То есть, затратив  $1\text{ кВт}$  электроэнергии, тепловой насос может дать 3–5 кВт тепла для отопления. Это особенно выгодно в странах, где электроэнергия ценна – КПД по первичной энергии выходит гораздо выше, чем у прямых электронагревателей. В Таджикистане перспективно использование грунтовых тепловых насосов (геотермальных): даже на Памире на глубине 5–10 м температура грунта существенно выше зимних температур воздуха, и тепловой насос сможет эффективно извлекать это тепло. Альтернативой могут служить совмещенные системы отопления/вентиляции: например, в приточную вентиляцию встраивается небольшой электрический нагреватель или калорифер, который подогревает приточный воздух на несколько градусов в самые холодные часы. Благодаря малым теплотерям пассивного дома, мощности такого подогревателя (порядка  $1\text{--}2\text{ кВт}$  на дом) достаточно, чтобы поддерживать комфорт, и он включается лишь эпизодически. Таким образом, вместо радиаторов в каждой комнате – один компактный нагреватель на притоке, работающий по мере необходимости.

Что касается охлаждения летом, в правильно спроектированном пассивном доме активное кондиционирование может не понадобиться: комбинация теневого устройств, ночной вентиляции и теплоинерционных конструкций должна обеспечивать приемлемые температуры. Однако в наиболее жаркие периоды (особенно в южном Таджикистане, где в июле-августе  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  в тени) может потребоваться и активное охлаждение. Здесь вновь на помощь приходят тепловые насосы, только работающие в режиме холода, либо компактные высокоэффективные кондиционеры-инверторы. Потребная холодопроизводительность сильно снижается благодаря теплоизоляции и

тому же рекуператору (который летом не выпускает жару), поэтому даже небольшой кондиционер способен охладить весь дом. Некоторые модели тепловых насосов позволяют организовать пассивное охлаждение: циркулируя холодный теплоноситель из грунтового контура напрямую через фанкойлы, можно охлаждать дом с минимальными энергозатратами (тратится лишь энергия насосов). Такие решения уже применяются, например, в горных энергоэффективных домах в соседнем Казахстане и показывают хорошие результаты.

Альтернативные источники энергии. В концепции пассивного дома приветствуется максимальная автономность и использование возобновляемой энергии. Кровля и фасады здания могут служить площадками для размещения солнечных коллекторов (для нагрева воды) и солнечных батарей (для выработки электроэнергии). Таджикистан обладает очень высоким солнечным потенциалом – число солнечных дней в году велико, особенно в южных районах и на Памире. Поэтому установка даже относительно простых гелиоколлекторов для горячего водоснабжения крайне эффективна: летом они могут практически полностью покрыть потребности семьи в горячей воде, а в переходные месяцы – существенно подогревать воду, экономя топливо. В пассивном доме возможно интегрировать солнечные коллекторы в систему отопления: например, нагревать теплоаккумуляционный бак днем, а ночью через теплообменник отдавать тепло в систему приточной вентиляции или в теплый пол. Также актуальна установка фотоэлектрических панелей (PV). Рассчитанная нами потенциальная выработка с 1 кВт пиковой мощности солнечных панелей в условиях Душанбе – около 1500 кВт·ч в год. Это значит, что массив панелей на крыше площадью ~20 м<sup>2</sup> (мощность ~3 кВт) способен генерировать ~4500 кВт·ч ежегодно, что покрывает значительную часть бытового электропотребления пассивного дома. Современные демонстрационные проекты уже достигли уровня, когда дом производит столько же энергии, сколько потребляет за год. В частности, в Узбекистане в 2022 году построен первый экспериментальный дом с практически нулевым энергопотреблением: на крыше установлены солнечные батареи, вырабатывающие около 60 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год – этого достаточно для обеспечения всех потребностей дома в электричестве, причем избыточная энергия в летние месяцы передается в сеть [8]. Этот дом оснащен также тепловым насосом и солнечными коллекторами, благодаря чему расчетное годовое потребление энергии составляет всего ~60 кВт·ч/м<sup>2</sup>, что примерно в 6 раз меньше, чем у стандартного дома в Узбекистане [8]. Опыт этого проекта демонстрирует, что даже в условиях жаркого климата можно добиться баланса энергопотребления и генерации на уровне дома.

В контексте Таджикистана подобные технологии могут иметь огромное значение для отдаленных районов, где централизованные энергосети слабы. Энергоавтономный пассивный дом с солнечными панелями и батареей накопителя мог бы обеспечивать себя электроэнергией даже в случае отключений сети, а хорошая теплоизоляция и солнечное отопление снизили бы зависимость от привозного угля или дров. Конечно, первоначальные инвестиции в оборудование (панели, инверторы, аккумуляторы) достаточно высоки, но их стоимость постепенно снижается, а в сочетании с уже низким энергопотреблением пассивного здания требуемая мощность возобновляемых источников невелика. Например, для пассивного дома отопительной площадью 100 м<sup>2</sup> расчетное годовое потребление электроэнергии (на вентиляцию, насосы, возможно — тепловой насос) может составлять порядка 3000–4000 кВт·ч, что эквивалентно мощности солнечных батарей ~2,5–3 кВт. Такой массив панелей сейчас стоит относительно недорого и может окупиться за счет экономии на оплате электроэнергии за 7–10 лет, особенно если тарифы растут.

Система горячего водоснабжения в пассивном доме также интегрируется с концепцией устойчивости. Обычно ставится высокоэффективный водонагреватель (например, тепловой насос "воздух–вода" или конденсационный газовый котел при наличии газоснабжения) в комбинации с солнечными коллекторами. В солнечные месяцы львиная доля горячей воды обеспечивается солнцем, в пасмурные и зимние – используется экономичный догрев. За счет низких теплопотерь дома, доля энергии на ГВС в общем балансе становится заметной (иногда до 50%), поэтому ее сокращение напрямую влияет на общий энергопрофиль здания.

Подчеркнем, что в пассивном доме все системы работают в комплексе (рис.1). Например, рассмотрим зимний день: через южные окна солнце нагрело комнаты, излишек тепла вентиляция с рекуперацией перераспределила по дому, часть тепла запаслась в массивных стенах, под вечер

тепловой насос чуть подогрел приток, чтобы компенсировать ночное остывание, – и жильцы пережили морозную ночь, затратив минимум энергии. Утром автоматическое управление закрывает жалюзи, чтобы раннее солнце не вызывало перегрева, и цикл продолжается. Таким образом, инженерные системы пассивного дома дополняют архитектурные решения, создавая сбалансированную, саморегулирующуюся среду. По нашим расчетам, суммарное годовое потребление всех инженерных систем (вентиляция, насосы, возможно небольшой электрический подогрев) в пассивном доме площадью 150 м<sup>2</sup> может составлять всего ~2000–2500 кВт·ч электроэнергии. Для сравнения, только одна сплит-система кондиционирования в обычном доме за жаркое лето может потребить более 1000 кВт·ч, а обогреватели – тысячи киловатт-часов за зиму. Пассивный дом благодаря описанному комплексу мер принципиально сокращает эту потребность.

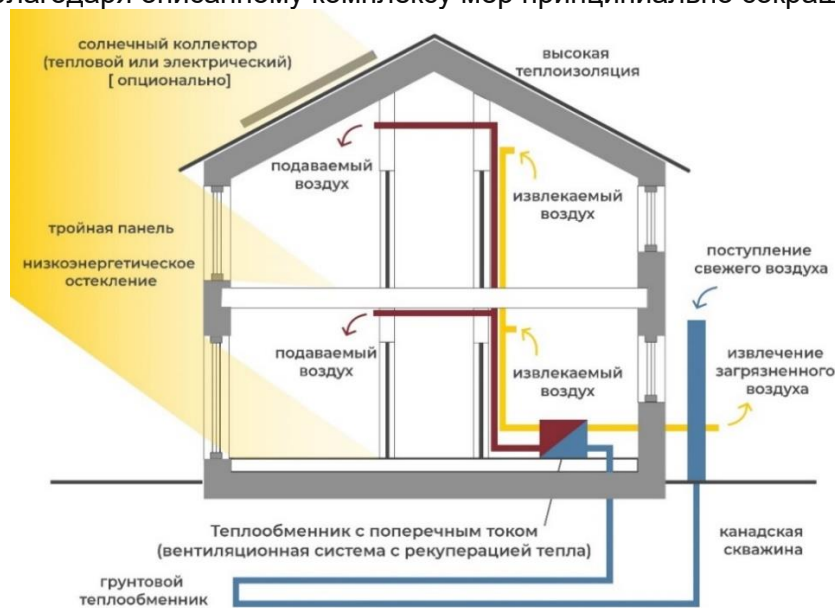


Рисунок 1- Схема пассивного дома

Концепция устойчивого (экологически и экономически рационального) строительства предполагает максимальное привлечение местных материалов и технологий. В Таджикистане с его ограниченными финансовыми ресурсами и труднодоступностью некоторых районов это особенно актуально. Пассивный дом, несмотря на высокотехнологичный имидж, вовсе не обязателен к строительству из дорогих импортных материалов – напротив, многие принципы пассивного дизайна могут быть реализованы на базе традиционных и местных ресурсов, адаптированных к современным требованиям.

Традиционные материалы региона – это глина (лессовые грунты), сырцовый кирпич (саман), камень, древесина и др. Исторически в сельской местности Таджикистана строили глинобитные дома с толстыми стенами, которые как раз обеспечивали неплохую теплоизоляцию зимой и прохладу летом за счет большой тепловой инерции. Однако одиночный материал не может дать одновременно прочность, теплоизоляцию и удобство – современные технологии пассивного дома позволяют комбинировать материалы, беря от каждого лучшее качество. Например, в каркасном доме можно использовать местный пиломатериал для несущего каркаса, пустоты заполнить эффективным утеплителем (минватой), снаружи обшить глиняными или известковыми плитками (для защиты и красоты), а внутри – обмазать традиционной глиняной штукатуркой для создания регулятора влажности. Такой дом сочетает местные возобновляемые материалы и соответствует стандартам энергосбережения [5].

Еще один пример – применение кирпича и камня. Эти материалы хорошо аккумулируют тепло, но проводят холод, если использовать их без утепления. Решение: строим двухслойную стену – внутренний слой из местного камня (например, в горных селах ГБАО камень доступен бесплатно), который обеспечивает прочность и тепловую массу, а наружный слой – теплоизоляция

(может быть привозной минеральной ватой или даже местным матом, обработанным против горения). Снаружи можно снова защитить каменной кладкой в полкирпича или штукатуркой. В итоге, внешний вид - традиционный каменный дом, а по теплосбережению – современный пассивный.

Соломенные маты – перспективный местный утеплитель. В низовьях рек (например, в южном Таджикистане) произрастают камыш, которые могут использоваться для изготовления щитовых утеплительных матов. При прессовании и соответствующей обработке (антипиренами) камышовые маты толщиной 30–40 см имеют коэффициент теплопроводности порядка 0,05 Вт/(м·К), что сопоставимо с древесной стружкой или легким бетоном. Их можно применять как заполнение каркаса стен или перекрытий, получая полностью био-разлагаемый, местный утеплитель. Подобные технологии уже используются в экодумах Центральной Азии [5]. Главное – убедиться в защите от огня и влаги. Обычно маты штукатурят глиной либо помещают между негорючими обшивками.

Глинобитные технологии тоже могут найти место в пассивном доме. Глина обладает уникальным свойством регулировать влажность: она впитывает избыточную влагу из воздуха и отдаёт, когда воздух сухой. Использование глины во внутренних отделках пассивного дома (например, глинопесчаная штукатурка по стенам) создаёт здоровый микроклимат и снижает потребность в энергозатратах на осушение или увлажнение воздуха. Кроме того, глина местная и дешёвая. В некоторых проектах в качестве теплоизоляции полов применяют лёгкий глинобетон с добавками соломы или опилок – при высыхании образуется достаточно прочный, но пористый слой. Он, конечно, уступает по характеристикам пенополистиролу, но полностью местного происхождения и паропроницаем.

Древесина – локальный ресурс горных районов (хотя лесов мало, но есть древесные насаждения в Фанских горах, на Памире – арча и др.). Древесину можно эффективно использовать в оконных рамах пассивного дома: современные окна с трехслойным остеклением часто делают в деревянных рамах со специальными уплотнениями. Если рамы изготовить на месте из качественной сухой древесины (сосны или местного платана) с соблюдением технологии, то они будут не хуже пластиковых, а углеродный след – меньше. Также дерево идёт на малые архитектурные формы – навесы, ставни, вентиляционные короба и т.д. Важна обработка против гниения и вредителей, но для этого можно использовать безопасные пропитки.

С точки зрения устойчивости, важно и сокращение углеродного следа строительства. Здесь использование местных материалов играет положительную роль: уменьшаются перевозки, поддерживаются местные производители, часто традиционные материалы имеют низкую энергоёмкость производства (например, сырцовый кирпич сушится на солнце, в отличие от обжига красного кирпича, требующего топлива). В пассивном доме рекомендуется применять материалы с низким воплощенным энергопотреблением – древесину, камень, известковые штукатурки вместо цементных (кроме того, известь лучше для климата помещения), натуральную изоляцию (овечью шерсть, льняные маты и т.п.). В центральноазиатском контексте перспективно возрождение традиционных приёмов строительства с новыми функциями.

Одним из ключевых вопросов является: насколько экономически целесообразно строительство пассивных домов в Таджикистане по сравнению с традиционными зданиями? Для ответа необходимо сопоставить дополнительные капитальные затраты на энергосберегающие меры с экономией, достигаемой в процессе эксплуатации.

Энергопотребление и экономия энергии. Как было показано выше, пассивный дом способен сокращать расход тепловой энергии на отопление до 10–15 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в год, в то время как для большинства существующих домов Таджикистана этот показатель находится в диапазоне 100–150 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год и более [4]. То есть потенциальная экономия тепловой энергии может достигать 85–90 % [4]. Даже по сравнению с новым домом, построенным просто по действующим теплотехническим нормам, пассивный дом экономичнее примерно на 50–70 %. Например, согласно нашим расчетам, типовой одноэтажный дом площадью 100 м<sup>2</sup> в климате Согда потребляет около 12 000 кВт·ч энергии на отопление за сезон (если отапливается электрообогревателями, это ~3000 сомони расходов при тарифах 2025 г.), тогда как аналогичный по размеру пассивный дом – порядка 1500–2000 кВт·ч (расход ~400–500 сомони). Экономия ~2500 сомони (примерно \$230) за год на одном доме. Если рассматривать срок службы здания 30–50 лет, совокупная экономия

энергии и средств гигантская. Причем это прямые затраты жильцов, не говоря об опосредованных выгодах (меньше нагрузка на электросети зимой, меньше выбросов от сжигания угля и т.д.).

Следует учесть, что в традиционных зданиях помимо отопления возникают расходы на летнее охлаждение. В жарком климате пассивный дом, за счет описанных мер, снижает необходимость в кондиционировании: по нашим оценкам, в Душанбе пассивный дом может совсем обходиться без кондиционера, внутренние температуры не будут превышать +27...+28 °С даже в пик жары, в то время как в обычной квартире они достигают +35 °С и жильцы вынуждены пользоваться кондиционером. Если условно принять, что традиционный дом тратит 500–600 кВт·ч на летнее кондиционирование, то пассивный – почти 0 кВт·ч (только вентиляторы потребляют, что мало). Таким образом, экономия проявляется круглый год.

Капитальные затраты. За счет чего достигаются столь низкие энергопотери в пассивном доме? За счет дополнительных инвестиций в материалы и оборудование: толстый утеплитель, высококачественные окна, вентиляционная установка с рекуперацией, возможно солнечные панели и пр. Это увеличивает стоимость строительства. По имеющимся данным, возведение пассивного дома обходится примерно на 10–15 % дороже стандартного дома такой же площади [7]. Удорожание связано с ценой теплоизоляционных материалов, специальных окон, а также затратами на более тщательное проектирование и строительство (требуется высокая квалификация для обеспечения герметичности и устранения мостиков холода) [7]. Например, квадратный метр минеральной ваты толщиной 20 см – это порядка 80–100 сомони дополнительных затрат по материалу, тройной стеклопакет вместо двойного – удорожание окна на 30–40 %, система рекуперации – еще несколько тысяч сомони на весь дом. В сумме на среднем доме может набегать эквивалент ~\$5 000–10 000 сверх базовой стоимости.

Однако важно отметить, что энергосберегающие инвестиции окупаются. Согласно ряду оценок, в странах Центральной Азии дополнительная стоимость пассивных домов окупается экономией на коммунальных платежах в среднем за 5–10 лет [7]. В Таджикистане срок окупаемости может быть больше из-за относительно низких тарифов на электроэнергию и тепло, но даже здесь тенденция такова, что топливо и энергия дорожают, а выгоды от экономии растут. Если учесть не только прямую экономию хозяев, но и общественную (меньшая нагрузка на энергетическую инфраструктуру, уменьшение субсидий на электроэнергию и т.д.), пассивные дома весьма выгодны государству.

Чтобы конкретизировать: предположим, обычный дом стоит 200 000 сомони, а пассивный – на 20 000 сомони дороже (+10%). Экономия на энергоресурсах – скажем, 3 000 сомони в год. Тогда окупаемость ~7 лет. Далее – чистая выгода для владельцев. Причем по мере возможного роста цен на энергоносители экономия в денежном выражении будет только увеличиваться, сокращая срок окупаемости.

Сравнение на уровне страны. Если бы все новые дома в Таджикистане строились по стандарту пассивного, страна получила бы огромный макроэкономический эффект. По некоторым оценкам, на отопление жилищ уходит до 40% всего конечного энергопотребления республики. Снизив его в 5–10 раз, можно было бы высвободить значительные объемы электроэнергии для промышленности или экспорта, либо сократить импорт угля. Снижение вырубки лесов (меньше потребность в дровах) – сохранение экосистем, что тоже имеет экономический эквивалент (лес – это защита от селей, это туризм, это углеродный поглотитель). Уменьшение выбросов CO<sub>2</sub> и выполнение международных обязательств по климату могут открыть доступ к "зеленому" финансированию и грантам.

В целом, сравнение показывает: пассивные дома несколько дороже на этапе строительства, но гораздо дешевле в эксплуатации, и эта разница делает их экономически выгодными уже в среднесрочной перспективе. При грамотной господдержке и увеличении масштабов строительства пассивные технологии могут стать массовыми, что приведет к снижению их стоимости (эффект масштаба) и еще большей экономической привлекательности.

Наши вычисления и рассмотренные примеры подтверждают, что окупаемость мер пассивного дома составляет порядка нескольких лет, после чего собственник получает чистую экономию. Более того, учитывая тренды климатической политики, в будущем энергоэффективное жилье может получить премию в цене на рынке недвижимости (т.е. пассивный дом будет стоить

дороже при продаже благодаря низким коммунальным платежам). Это дополнительный аргумент в пользу внедрения данных принципов в широкую практику.

Несмотря на относительную новизну концепции пассивного дома для региона, уже есть успешные примеры энергоэффективных и устойчивых домов, построенных или реконструированных в Таджикистане и соседних странах.

**Таджикистан.** В республике реализовано несколько пилотных проектов в сельской местности. Один из заметных примеров – проект организации Ge ges (Франция) в 2011–2013 гг., направленный на улучшение условий жизни в сельских районах Согда [9]. В рамках этого проекта было построено 250 энергоэффективных домов с использованием пассивных солнечных технологий и утепления [9]. Эти биоклиматические дома оснащены солнечными тепловыми коллекторами (для обогрева теплиц и хозяйственных нужд), улучшенной изоляцией стен и крыш, а также вентиляционными решениями, адаптированными к местному климату. В результате семьи, проживающие в таких домах, смогли значительно снизить расход топлива зимой – по отзывам, потребность в дровах сократилась почти вдвое, температура внутри даже в мороз оставалась на уровне +15...+18 °С, тогда как в соседних обычных домах опускалась до +5...+10 °С. Этот проект продемонстрировал эффективность сочетания традиционных сельских построек с элементами пассивного дома. Интересно, что конструктивно дома остались глинобитными, но их стены были снаружи утеплены и оштукатурены, окна уплотнены, а с южной стороны пристроены солнечные комнаты – застекленные веранды, работающие как тепловые ловушки зимой. Также внедрялись улучшенные печи с повышенным КПД. Успех проекта подтверждается тем, что местные общины продолжили применять эти решения и после завершения программы, распространяя опыт по принципу "равный обучает равного".

Другой пример в Таджикистане – экспериментальные энергоэффективные дома, построенные при содействии Агентства Ага Хана. В Горно-Бадахшанской автономной области (Памир) в нескольких высокогорных селениях были построены демонстрационные сельские дома с усиленной теплоизоляцией и сейсмостойким каркасом [5]. Они сочетали местный камень (в стенах) и импортный утеплитель, а также имели солнечные коллекторы и улучшенную вентиляцию. Эти дома показали, что даже при -25 °С за окном внутри можно поддерживать +20 °С, расходуя в разы меньше кизяка/дров, чем обычно. Кроме того, сейсмокаркас защитил строения при нескольких землетрясениях, тогда как традиционные глинобитные дома в тех же селениях получили повреждения. Это пример успешной интеграции требований энергоэффективности и безопасности.

**Узбекистан.** Наиболее яркий случай – уже упомянутый демонстрационный дом с почти нулевым энергопотреблением в г. Нурафшан (Ташкентская область), заверченный в 2022 году [8]. Он спроектирован по стандарту *nearly Zero Energy Building* (nZEB) с ориентацией на максимальное использование солнечной энергии. Дом двухэтажный, ~164 м<sup>2</sup>, построен из керамических блоков с толстым слоем теплоизоляции внешних стен, энергоэффективными окнами и полным набором пассивных мер (ориентация, затенение, герметичность) [8]. На крыше смонтирована солнечная электростанция мощностью 8 кВт, которая генерирует около 12 тыс. кВт·ч в год – этого достаточно, чтобы покрыть все нужды семьи в электричестве и даже отдать избыток в сеть [8]. Дом оборудован двумя тепловыми насосами: один воздушный для отопления/охлаждения, второй – для горячего водоснабжения, плюс солнечные коллекторы на крыше подогревают воду [8]. В итоге, по замерам, такой дом потребляет около 60 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год первичной энергии, включая бытовое электричество, что в 6 раз меньше, чем средний показатель по обычным домам Узбекистана (320–390 кВт·ч/м<sup>2</sup>) [8].

Опыт узбекского проекта показывает важность государственной инициативы – когда типовые решения утверждены и частично субсидируются, застройщики охотнее их применяют. Теперь в новых кварталах видно дома с солнечными водонагревателями на крышах и утепленными фасадами – еще несколько лет назад это была редкость.

**Казахстан.** В Казахстане климат местами схож с таджикским (жаркий юг, холодный континентальный север). Там также предпринимаются шаги к строительству пассивных и низкоэнергетических домов. Например, в Алматы была построена первая экспериментальная вилла по стандарту пассивного дома частным инвестором: дом получил сертификат Passivhaus Institute, подтвердивший потребление тепла ~14 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год (при норме ≤15). В Астане (Нур-Султане) планировалось строительство демонстрационного пассивного офисного здания к ЭКСПО-

2017, и, хотя полностью пассивным оно не стало, были реализованы передовые теплоизоляционные и вентиляционные решения. Также несколько компаний (Pollio, KZ Solar, др.) предлагают проекты пассивных коттеджей и малоквартирных домов [6]. Пока их мало, но интерес постепенно растет на фоне суровых зим и удорожания энергии в Казахстане.

**Кыргызстан.** В Кыргызстане предпринимаются инициативы по утеплению традиционных домов (особенно важны в горных районах Нарына, Иссы-Куля). Есть примеры, когда местные жители под руководством архитекторов-энтузиастов переоборудовали старые кирпичные дома в подобие пассивных: утеплили фасады войлоком и пенопластом, установили рекуперативные проветриватели, сделали пристройки-солярии. Такие самодельные проекты значительно улучшили условия – температура зимой повысилась с +14 до +20 °С при том же количестве топлива, влажность стала комфортнее. Появляются и новые постройки: например, в предместьях Бишкека один частный застройщик возвел несколько коттеджей с 20-см утеплением, пятикамерными окнами и солнечными батареями, позиционируя их как "энергосберегающие дома" для рынка.

Для Таджикистана крайне ценным будет изучение этих пилотных проектов и масштабирование успешных практик. Например, на основе узбекских типовых энергоэффективных проектов можно разработать аналогичные проекты для таджикских условий, с учетом сейсмичности. Активность международных организаций (ПРООН, ГЭФ, ЕБРР) уже есть: реализованы проекты по утеплению школ, больниц. Следующий шаг – энергоэффективные жилые кварталы. В перспективе появление хотя бы одного сертифицированного пассивного дома (например, демонстрационного особняка в Душанбе, открытого для посетителей) могло бы послужить отличной образовательной площадкой и стимулом для профессионалов перенимать опыт.

Таким образом, реальный опыт Центральной Азии показывает: пассивные и близкие к ним дома могут успешно строиться и функционировать даже в нашем регионе с суровым климатом и ограниченными ресурсами. Они доказали свою эффективность, а накопленные данные (по энергосбережению, удовлетворенности жителей, окупаемости) служат сильным аргументом в пользу дальнейшего развития этого направления.

## Обсуждение

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о высокой потенциальной эффективности концепции пассивного дома для условий Таджикистана. Тем не менее, на пути широкого внедрения этой концепции существует ряд технических, экономических и организационных вызовов, которые необходимо обсуждать и решать.

Адаптация пассивного дома к экстремальному климату. Хотя пассивный дом изначально разработан в Европе для умеренного климата, практика (например, скандинавские страны, Альпы, Канада) показала жизнеспособность этого стандарта и в холодных регионах. Для таджикского климата наиболее экстремальны сочетания: сухая жара плюс пыль (юг) и высокая солнечная радиация плюс сильные морозы (Памир). Наш анализ подтвердил, что базовые принципы – усиленная изоляция, рекуперация, солнцезащита – одинаково хорошо работают и там, и там. Однако есть тонкости: пыльные бури требуют более частой смены фильтров вентиляции, большая высота над уровнем моря (Памир) влияет на эффективность теплообмена (разреженный воздух понижает КПД конвективных систем – пришлось бы закладывать чуть больше поверхности у радиаторов, коллекторов). Кроме того, высокое ультрафиолетовое излучение в горах ускоряет старение некоторых материалов (пластиковых оконных уплотнителей, солнечных панелей) – значит, нужно выбирать морозо- и UV-стойкие версии. Все эти факторы нужно учитывать при адаптации проектов пассивных домов: возможно, критерии Passivhaus следует корректировать (скажем, допускается немного больший показатель отопительной нагрузки, если экстрим-климат; сам PHI вводил категории "warm" и "cold" для разных климатов). Тем не менее, эти нюансы не являются непреодолимым барьером – скорее, требуют локализации стандартов. В идеале, национальные строительные нормы и стандарты Таджикистана могли бы включить класс энергоэффективности, аналогичный пассивному дому, с учётом местной специфики (например, требуемое сопротивление теплопередаче для разных климатических подзон страны).

Локальные нормативы и сертификация. В идеале стоило бы внедрить национальную систему сертификации энергоэффективных домов, аналогичную международным (Passive House, LEED,

EDGE). Например, сертификат "Энергоэффективный дом Таджикистана – класс А" мог бы выдаваться домам, потребляющим  $\leq 30 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  на отопление. Это стимулировало бы здоровую конкуренцию: застройщики стремились бы рекламировать свои дома классом А, В и т.д. Пассивный дом – это фактически класс А++ в такой системе. Пока у нас такого нет, но в будущем это логичный шаг.

Сейсмическая надежность и пассивный дом. Это важный вопрос для Таджикистана – мы живем в сейсмоопасной зоне. Добавление тяжелых материалов (бетона, камня) повышает нагрузку, а толстые стены могут быть уязвимы. Однако пассивный дом не противоречит сейсмостойкости. Нужно лишь соблюдать строительные нормы: арматура, каркасы, правильная анкеровка утеплителя, чтобы при толчках не отвалился фасад. Большая часть пассивных домов одно-двухэтажные, для них сейсмические требования проще обеспечить. В многоэтажном доме тоже можно применить пассивный стандарт – есть примеры 9-этажных пассивных домов (в Германии, Китае). В Душанбе потенциально можно строить энергоэффективные многоэтажки: основной каркас – ж/б, а фасад делать навесным вентилируемым с утеплителем. Это даст эффект почти пассивного дома. Некоторые новые ЖК уже идут в эту сторону, хотя не называют это так.

Подводя итог обсуждению: внедрение пассивных домов в Таджикистане технически осуществимо и экономически оправдано, но требует комплексных усилий. Необходимо совершенствовать нормативную базу, стимулировать материально застройщиков и граждан, повышать компетенции специалистов, локализовать производство материалов и оборудования, а также активно информировать население о преимуществах энергоэффективного жилья. Международное сотрудничество и обмен опытом с соседями помогут избежать "изобретения велосипеда" – можно учесть и повторить лучшие практики. При условии поступательного движения в этом направлении, уже в ближайшие 5–10 лет можно ожидать появления значительного числа домов, построенных или модернизированных по стандартам пассивного дома, особенно в новых коттеджных посёлках, социальном жилищном строительстве, а также при реконструкции городских кварталов.

Конечно, пассивный дом – не панацея от всех проблем ЖКХ. Параллельно стоит развивать и другие меры: модернизацию централизованных котельных с повышением КПД, внедрение smart-сетей, обучение населения энергосбережению. Но пассивный дом задаёт вектор на будущее: в идеале, к середине века все новое строительство должно быть энергонезависимым и климатически нейтральным. Таджикистан, несмотря на бедность, имеет шанс "перепрыгнуть" через ступени неэффективной урбанизации и сразу строить устойчиво – в долгосрочной перспективе это оправдано.

## Выводы

Проведенное исследование подтверждает, что концепция пассивного дома обладает большим потенциалом для повышения энергоэффективности и устойчивости жилого строительства в Таджикистане. Ниже сформулированы основные выводы:

В заключении отмечаем, что пассивный дом в Таджикистане – это не утопия, а реальный путь модернизации жилищного фонда, повышающий качество жизни людей и устойчивость экономики. Уже в ближайшие годы целесообразно реализовать пилотные проекты пассивных домов в различных климатических зонах страны (Памир, Хатлон, Согд) с целью адаптации технологии и демонстрации ее преимуществ. Полученные в настоящем исследовании данные и обобщенные рекомендации могут служить методической основой для таких проектов. В долгосрочной перспективе, распространение пассивного домостроения внесет вклад в энергетическую безопасность Таджикистана, снижение воздействия на окружающую среду и выполнение международных обязательств по климату. Учитывая все рассмотренные факторы, можно сделать главный вывод: энергоэффективное и устойчивое проектирование жилых зданий на принципах пассивного дома является перспективным и оправданным направлением развития строительной отрасли Таджикистана, и его активное внедрение принесет значительные выгоды стране и ее народу.

*Рецензент: Хасанзода Н.Н. — Доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектуры зданий и сооружений» ТИЭКУ имени академика М.С. Осими.*

## Литература

1. Климат Таджикистана // Информационный портал развития Таджикистана (Tajik Development Gateway). URL: <http://www.tajik-gateway.org/wp/geography/klimat-tadzhikistana/> (дата обращения: 30.10.2025).
2. Усмонов Ш. З. *Учет климатических и демографических условий Таджикистана при реконструкции жилых зданий для повышения их энергетических показателей*: дис. ... канд. техн. наук. – М.: НИИСФ РААСН, 2015. – 183 с.

3. Basel Agency for Sustainable Energy (BASE). *Pilot Sustainable Housing Solutions for Scale-up in Tajikistan* (проект «Устойчивые жилищные решения в Таджикистане»). URL: <https://energy-base.org/projects/sustainable-housing-solutions-in-tajikistan/> (дата обращения: 30.10.2025).

4. ЗАО «IDR-Group». *Энергосберегающий дом: классификация и рекомендации* [Электронный ресурс] // Сайт IDR-Group, 2021. URL: <https://idr-group.ru/energoeffektivnost-doma/> (дата обращения: 30.10.2025).

5. Aga Khan Agency for Habitat (АКАН). *Безопасное и устойчивое строительство* [Электронный ресурс] // АКДН – Aga Khan Development Network, 2022. URL: <https://the.akdn/ru/kak-my-rabotaem/nashi-agentstva/agentstvo-aga-hana-habitat/bezopasnoe-i-ustoychivoe-stroitelstvo> (дата обращения: 30.10.2025).

6. Романова О. *Пассивный дом: почему технология все еще мало востребована* // Блог PlanRadar. – 15.04.2022. URL: <https://www.planradar.com/cis/passivnyj-dom-pochemu-tehnologiya-vse-eshche-malo-vostrebovana/> (дата обращения: 30.10.2025).

7. *Что такое пассивный дом? Разбираемся в энергоэффективном строительстве* [Электронный ресурс] // CHUMBLEY EcoHouse. – 2021. URL: <https://chumbley.ru/ecohouse> (дата обращения: 30.10.2025).

8. *В Узбекистане построен первый дом с практически нулевым энергопотреблением* // Информационный портал Kup.uz. – 25.11.2022. URL: <https://kup.uz/ru/news/2022/11/25/v-uzbekistane-postroyen-pervyy-dom-s-prakticheski-nulevym-energopotrebleniyem> (дата обращения: 30.10.2025).

9. Geres (Group for the Environment, Renewable Energy and Solidarity). *Bioclimatic houses and support for agricultural development in Tajikistan* (Project description, 2011–2013). URL: <https://www.geres.eu/en/our-actions/our-projects/bioclimatic-houses-agricultural-development-tajikistan/> (дата обращения: 30.10.2025).

#### МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Усмонов Шўҳрат Заурович	Усмонов Шухрат Заурович	Usmonov Shuhrat Zaurovich
Номзади илмҳои техникӣ	Кандидат технических наук	Candidate of Technical Sciences
Донишқадаи политехникии Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Хучанд	Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими в г. Худжанде	Khujand Polytechnic institute of Tajik Technical University named after academician M.S.Osimi
E-mail: <a href="mailto:usmonov.shuhrat@gmail.com">usmonov.shuhrat@gmail.com</a>		