



Passiv uylar sohasida xalqaro va milliy tajriba tahlili

Kongratbay A. Sharipov¹, Nilufar R. Avezova^{2,a}, Uktam R. Salomov^{2,b},
Nuraddin A. Matchanov^{2,c}, Nargiza N. Dalmuradova³, Rustam U. Kuchkarbaev⁴,
Shermukhammad A. Muminov^{2,d}, Abdumalik A. Xalikov^{2,e}

¹DSc, prof., Toshkentdagi Turin politexnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; <https://orcid.org/0000-0003-4826-3486>

^{2,a}DSc, prof., Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona, 150100, O'zbekiston, avezovanr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

^{2,b}DSc, prof., Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona, 150100, O'zbekiston, uktam.salomov@polito.it <https://orcid.org/0000-0001-9350-9284>

^{2,c}DSc, prof., Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona, 150100, O'zbekiston; <https://orcid.org/0000-0001-7128-4598>

³PhD, Tashkent State Technical University, Tashkent; 100095, O'zbekiston; ndalmuradova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3373-1945>

⁴PhD, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, 100056, Tashkent, O'zbekiston; r.kuchkarbaev@gmail.com <https://orcid.org/0009-0001-0031-0223>

^{2,d}PhD, Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona, 150100, O'zbekiston, <https://orcid.org/0000-0002-6453-6782>

^{2,e}tadqiqotchi, Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona, 150100, O'zbekiston

Dolzarblilik: Tadqiqot uy-joy tarmog'ida energiya sarfini kamaytirish zarurati bilan bog'liq bo'lib, bu global energiya resurslariga talabning oshishi, yoqilg'i resurslarining cheklanganligi va issiqxona gazlari chiqindilari bilan bog'liq ekologik muammolar sharoitida ayniqsa muhimdir. Minimal energiya sarfi va yuqori ekologik tozalikka ega bo'lgan passiv uylarni ishlab chiqish va joriy etish barqaror rivojlanish va energiya samaradorligiga erishishning asosiy yo'nalishi hisoblanadi. O'zbekistonning keskin kontinental iqlim sharoitida tadqiqotning dolzarbligi xalqaro passiv uy qurilishi standartlarini mahalliy iqlimiy, texnik va normativ shart-sharoitlarga moslashtirish zarurati, shuningdek, energiya samarali texnologiyalarni ommaviy qo'llash uchun pilot loyihalarni kengaytirish ehtiyoji bilan izohlanadi.

Maqsad: Passiv uylarni loyihalashtirish bo'yicha xalqaro hamda mahalliy tajribani umumlashtirish va tahlil qilish, passiv uy standartlari va asosiy mezonlarini aniqlash, shuningdek, O'zbekiston iqlim sharoitlariga moslashtirishning ekologik, texnik va me'yoriy jihatlarni baholash hamda respublika iqtisodiyot tarmoqlari uchun ushbu kontsepsiyani joriy etish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish.

Usullar: Ishda passiv uylarni loyihalashtirishning xalqaro va milliy standartlarini (shu jumladan PH va PHIUS standartlarini) tizimli tahlil va taqqoslash usullari qo'llanilgan. Ilmiy adabiyotlar, me'yoriy hujjatlar va passiv uylarni amalda joriy etish misollariga sharhlangan. Binolar energiya samaradorligini baholash usullari, jumladan, solishtirma energiya sarfi, issiqlik yo'qotishlari tahlili va muhandislik tizimlari samaradorligi tahlil qilingan.

Natijalar: Passiv uy konsepsiyasining energiya sarfini kamaytirishda (an'anaviy binolarga nisbatan 90% gacha) yuqori samaradorligi va qulay mikroiklimni ta'minlash imkoniyati tasdiqlangan. Xalqaro passiv uy qurilishi standartlarini O'zbekiston sharoitlariga moslashtirish keskin kontinental iqlimni hisobga olishni talab qiladi, bu issiqlik izolyatsiyasini optimallashtirish, quyoshdan himoya qilish, tashqi qobiqning germetikligi va qayta tiklanadigan energiya manbalarini integratsiyalash orqali amalga oshiriladi. O'zbekistondagi pilot loyihalar (masalan, Nurofshondagi uy) deyarli nol energiya sarfi imkoniyatini namoyish etadi. Respublikada passiv uy qurilishi texnologiyalarini kengaytirish va normativ bazani takomillashtirish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: passiv uylar, energiya samaradorlik, Passive House standarti, PHIUS, energiya tejash, normativ-huquqiy baza, ShNQ 2.08.08-22 «Passiv uylar», iqlimga moslashish, qayta tiklanadigan energiya manbalari, issiqlik izolyatsiyasi, germetiklik, issiqlikni rekuperatsiyalash.

For citation: K.A. Sharipov, N.R. Avezova, U.R. Salomov, N.A. Matchanov, N.N. Dalmuradova, R.U. Kuchkarbaev, Sh.A. Muminov, A.A. Xalikov, Review of International and National Experience in Passive House Development. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 2, pp. 74-92.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15747409>

Received: 20.04.2025

Revised: 10.05.2025

Accepted: 08.06.2025

Published: 24.06.2025

Copyright: © Kongratbay A. Sharipov, Nilufar R. Avezova, Uktam R. Salomov, Nuraddin A. Matchanov, Nargiza N. Dalmuradova, Rustam U. Kuchkarbaev, Shermukhammad A. Muminov, Abdumalik A. Xalikov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/>)

Обзор международного и национального опыта по разработке пассивных домов

Конгратбай А. Шарипов¹, Нилуфар Р. Аvezова^{2,a}, Уктам Р. Саломов^{2,b},
Нуратдин А. Матчанов^{2,c}, Наргиза Н. Далмурадова³, Рустам У. Кучкарбаев⁴,
Шермухаммад А. Муминов^{2,d}, Абдумалик А. Халиков^{2,e}

¹DSc, проф., Туринский политехнический университет в Ташкенте, Ташкент, 100095, Узбекистан; <https://orcid.org/0000-0003-4826-3486>

^{2,a}DSc, проф., Ферганский государственный технический университет, Фергана, 150100, Узбекистан, avezovanr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

^{2,b}DSc, проф., Ферганский государственный технический университет, Фергана, 150100, Узбекистан, uktam.salomov@polito.it <https://orcid.org/0000-0001-9350-9284>

^{2,c}DSc, проф., Ферганский государственный технический университет, Фергана, 150100, Узбекистан; <https://orcid.org/0000-0001-7128-4598>

³PhD, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент; 100095, Узбекистан; ndalmuradova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3373-1945>

⁴PhD, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, 100056, Tashkent, r.kuchkarbaev@gmail.com <https://orcid.org/0009-0001-0031-0223>

^{2,d}PhD, Ферганский государственный технический университет, Фергана, 150100, Узбекистан, <https://orcid.org/0000-0002-6453-6782>

^{2,e}исследователь, Ферганский государственный технический университет, Фергана, 150100, Узбекистан



Актуальность: Работа обусловлена необходимостью снижения энергопотребления в жилищном секторе, что особенно важно в условиях роста глобального спроса на энергоресурсы, ограниченности ископаемого топлива и экологических вызовов, связанных с выбросами парниковых газов. Разработка и внедрение пассивных домов, отличающихся минимальным энергопотреблением и высокой экологичностью, являются ключевым направлением для достижения устойчивого развития и энергоэффективности. В контексте Узбекистана с его резко континентальным климатом актуальность исследования усиливается необходимостью адаптации международных стандартов пассивного дома к местным климатическим, техническим и нормативным условиям, а также потребностью в масштабировании пилотных проектов для массового применения энергоэффективных технологий в строительстве.

Цель: обобщение и анализ международный и отечественный опыт проектирования пассивных домов, определение ключевых критериев и стандартов пассивного дома, а также оценка экологических, технических и нормативных аспектов их адаптации к климатическим условиям Узбекистана для разработки рекомендаций по её внедрению в строительный сектор республики.

Методы: В работе применены методы системного анализа и сравнительного анализа международных и национальных стандартов проектирования пассивных домов (включая стандарты PH и PHIUS). Проведен обзор научной литературы, нормативных документов и практических примеров реализации пассивных домов. Используются методы оценки энергоэффективности зданий, включая расчеты удельного энергопотребления, анализ теплопотерь и эффективности инженерных систем. Для изучения отечественного опыта проанализированы данные пилотных проектов в Узбекистане, включая мониторинг и экспериментальные измерения энергетических показателей.

Результаты: Подтверждена высокая эффективность концепции пассивного дома в снижении энергопотребления (до 90% по сравнению с традиционными зданиями) при обеспечении комфортного микроклимата. Установлено, что адаптация международных стандартов пассивного домостроения к условиям Узбекистана требует учета резко континентального климата, что достигается за счет оптимизации теплоизоляции, солнцезащиты, герметичности оболочки и интеграции возобновляемых источников энергии. Пилотные проекты в Узбекистане (например, дом в Нурафшане) демонстрируют возможность достижения почти нулевого энергопотребления. Разработаны рекомендации для совершенствования нормативной базы и масштабирования технологий пассивного домостроения в республике.

Ключевые слова: пассивные дома, энергоэффективность, стандарт Passive House, PHIUS, энергосбережение, нормативная база, ШНК 2.08.08-22 «Пассивные дома», климатическая адаптация, возобновляемые источники энергии, теплоизоляция, герметичность, рекуперация тепла.

Review of International and National Experience in Passive House Development

Kongratbay A. Sharipov¹, Nilufar R. Avezova^{2a}, Uktam R. Salomov^{2b}, Nuraddin A. Matchanov^{2c}, Nargiza N. Dalmuradova³, Rustam U. Kuchkarbaev⁴, Shermukhammad A. Muminov^{2d}, Abdumalik A. Xalikov^{2e}

¹⁾ DSc, prof., Turin polytechnical university in Tashkent, Tashkent, 100095, Uzbekistan;

<https://orcid.org/0000-0003-4826-3486>

^{2a)} DSc, prof., Fergana State Technical University, Fergana, 150100, Uzbekistan, avezovanr@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

^{2b)} DSc, prof., Fergana State Technical University, Fergana, 150100, Uzbekistan, uktam.salomov@polito.it

<https://orcid.org/0000-0001-9350-9284>

^{2c)} DSc, prof., Fergana State Technical University, Fergana, 150100, Uzbekistan; <https://orcid.org/0000-0001-7128-4598>

³⁾ PhD, Tashkent State Technical University, Tashkent; 100095, Uzbekistan; ndalmuradova@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0003-3373-1945>

⁴⁾ PhD, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, 100056, Tashkent, r.kuchkarbaev@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-0031-0223>

^{2d)} PhD, Fergana State Technical University, Fergana, 150100, Uzbekistan, <https://orcid.org/0000-0002-6453-6782>

^{2e)} researcher, Fergana State Technical University, Fergana, 150100, Uzbekistan

Relevance: The study is driven by the need to reduce energy consumption in the housing sector, which is particularly critical given the increasing global demand for energy resources, the limited availability of fossil fuels, and environmental challenges associated with greenhouse gas emissions. The development and implementation of passive houses, characterized by minimal energy consumption and high environmental sustainability, represent a key direction for achieving sustainable development and energy efficiency. In the context of Uzbekistan's sharply continental climate, the relevance of the study is amplified by the need to adapt international passive house standards to local climatic, technical, and regulatory conditions, as well as the necessity to scale pilot projects for widespread adoption of energy-efficient technologies in construction.

Aim: To generalize and analyze international and domestic experience in designing passive houses, identify key criteria and standards for passive house construction, and evaluate the ecological, technical, and regulatory aspects of adapting this concept to Uzbekistan's climatic conditions to develop recommendations for its implementation in the republic's construction sector.

Methods: The study employed methods of systemic and comparative analysis of international and national standards for passive house design (including PHI and PHIUS standards). A review of scientific literature,



regulatory documents, and practical examples of passive house implementation was conducted. Methods for assessing building energy efficiency, including calculations of specific energy consumption, analysis of heat losses, and evaluation of engineering system efficiency, were utilized. Domestic experience was studied by analyzing data from pilot projects in Uzbekistan, including monitoring and experimental measurements of energy performance indicators.

Results: The high efficiency of the passive house concept in reducing energy consumption (up to 90% compared to traditional buildings) while ensuring a comfortable microclimate was confirmed. It was established that adapting international passive house standards to Uzbekistan's conditions requires consideration of the sharply continental climate, achieved through optimized thermal insulation, solar protection, airtight building envelopes, and integration of renewable energy sources. Pilot projects in Uzbekistan (e.g., the house in Nurafshon) demonstrate the feasibility of achieving near-zero energy consumption. Recommendations were developed for improving the regulatory framework and scaling passive house technologies in the republic.

Keywords: passive houses, energy-efficiency, Passive House standard, PHIUS, energy saving, regulatory framework, building code 2.08.08-22 "Passive Houses", climate adaptation, renewable energy sources, thermal insulation, air tightness, heat recovery.

1. Введение (Introduction)

Рост энергопотребления, связанный с естественным приростом населения планеты, а также развитием экономики, увеличение затрат на приобретение энергоресурсов, постепенное уменьшение конечных запасов ископаемых энергетических ресурсов заставляют задуматься о создании более энергоэффективных методах строительства, призванных снизить объемы потребляемых ресурсов [1]. Возникает необходимость разработки концепций, направленных на рациональное энергопотребление, а также переход на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), так как строительство является одной из отраслей экономики, имеющей большой потенциал в плане возможной реализации программ энергосбережения. Кроме того, выбрасываемые в атмосферу при сгорании топлива парниковые газы (ПГ) ведут к изменению экологического состояния планеты, и как результат – к значительному ухудшению условий для жизнедеятельности человека. Вследствие этого крайне важно позаботиться о принятии эффективных и качественных мер, направленных на защиту окружающей среды (ОС), за счёт уменьшения объемов производства загрязняющих веществ. В свете этих проблем очевидна актуальность строительства зданий, использующих экологически чистые и ВИЭ – переход к таким «пассивным» и «нулевым» домам позволит снизить потребление традиционного топлива, уменьшить затраты на энергоснабжение и сократить выбросы ПГ.

Исходя из вышесказанного, не может возникнуть никаких сомнений в востребованности и актуальности организации строительства зданий, использующих экологически чистые, ВИЭ. Переход к такому типу зданий может существенно сократить потребление топливно-энергетических ресурсов, снизить расходы на энергообеспечение и уменьшить выбросы ПГ [2].

Как известно, Концепция «пассивного дома» (Passiv haus) была впервые разработана в конце 1980-х гг. в Германии и представляет собой здание с сверхнизким потреблением энергии на отопление при обеспечении комфортного микроклимата. Согласно европейской классификации, энергоэффективные здания делятся на несколько типов [3-5]:

- ❖ Дом с низким потреблением энергии (low-energy house) – жилое здание, потребляющее на отопление не более $\sim 60\text{--}70$ кВт·ч/(м²·год).

- ❖ Пассивный дом (passive house) – здание, потребляющее на отопление не более 15 кВт·ч/(м²·год).

- ❖ Дом с нулевым потреблением энергии (zero-energy building) – здание, компенсирующее своё энергопотребление за счет собственной генерации (в среднем 0 кВт·ч/(м²·год) на отопление).

- ❖ Дом с плюсовой энергией (energy-plus house) – здание, генерирующее больше энергии, чем потребляет (как правило, из ВИЭ).

Таким образом, «пассивным» называется дом, обладающий минимальным негативным влиянием на ОС при высоких показателях энергоэффективности и обеспечении комфортных условий проживания. Базовым критерием пассивного дома (ПД) является создание непрерывной теплоизолированной оболочки здания с коэффициентом теплопередачи ограждений $< 0,15$ Вт/(м²·К). Для достижения столь низкого энергопотребления должны выполняться следующие принципы проектирования пассивного дома (ПД):

- *Отсутствие "мостиков холода"*: конструктивные решения исключают местные утечки тепла через ограждения.

- *Компактность здания*: форма и объём здания выбираются так, чтобы минимизировать площадь наружных ограждений (чем компактнее форма, тем меньше удельные теплопотери).

- *Ориентация и солнцезащита*: здание ориентируется основным фасадом на юг (в северном полушарии) для максимального пассивного использования солнечной энергии (СЭ), при этом исключается затенение здания другими объектами. Предусматриваются средства



защиты от избыточного солнечного нагрева летом (навесы, жалюзи, озеленение и др.).

➤ *Высокая теплоизоляция и качественные окна:* наружные стены, крыша и пол обладают повышенным сопротивлением теплопередаче, а окна выполняются с использованием специальных многокамерных стеклопакетов (коэффициент теплопередачи $<0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, светопропускание $\sim 50\%$).

➤ *Герметичность:* наружная оболочка здания делается практически непроницаемой для неконтролируемого воздухообмена. Нормируемый показатель инфильтрации воздуха p_{50} (воздухообмен при разрежении 50 Па) не превышает $0,33 \text{ ч}^{-1}$.

➤ *Рекуперация тепла вентиляции:* система вентиляции оснащается высокоэффективным теплообменником, возвращающим не менее 75% тепла вытяжного воздуха для нагрева притока.

➤ *Энергоэффективное оборудование:* применяются бытовые приборы и инженерные системы с пониженным энергопотреблением, что снижает внутренние тепловыделения и общее энергопотребление.

➤ *Возобновляемые источники тепла:* для поддержки отопления и горячего водоснабжения используются солнечные коллекторы (СК), тепловые насосы (ТН) и другие возобновляемые источники; приточный воздух при необходимости подогревается, например, через грунтовый теплообменник.

Следование этим принципам позволяет свести потребность здания в традиционном отоплении к минимуму. Хотя годовой удельный расход тепловой энергии на отопление в пассивном доме не равен нулю, он чрезвычайно мал. В реализованных проектах ПД достигается экономия до 90% тепловой энергии по сравнению с обычными зданиями. За счет этого часто становится возможным отказаться от традиционной водяной радиаторной системы отопления – достаточно небольшого догревающего элемента в системе вентиляции, что уменьшает капитальные затраты на оборудования.

В связи с чем, целью настоящего сообщения является обобщение и анализ международного и отечественного опыта проектирования ПД, включая определение ключевых критериев и стандартов, а также оценку экологических и нормативных аспектов внедрения ПД для климатических условий (КУ) республики. Отметим, что научная значимость проведенного обзора состоит в систематизации современного опыта и знаний о ПД в различных КУ, выявлении лучших практик и проблемных мест, требующих дальнейших исследований, при этом практическая значимость работы обусловлена формулировкой рекомендаций для адаптации концепции ПД к национальным условиям и для совершенствования нормативной базы в целях повышения энергоэффективности зданий.

2. Материалы и методы (Materials and Methods)

Для проведения исследования по обзору международного и отечественного опыта проектирования ПД были использованы следующие методы и материалы:

Системный анализ	Для обобщения и структурирования данных о концепции пассивного дома, включая её принципы, стандарты и технологии, позволил выявить ключевые аспекты энергоэффективного строительства и их применимость в различных КУ.
Сравнительный анализ	Для сопоставления международных стандартов проектирования ПД (европейский стандарт Passive House (PHI) и его адаптация PHIUS в США) с национальными стандартами Узбекистана, включая ШНК 2.08.08-22 «Пассивные дома». Анализ охватывал технические, климатические и нормативные особенности, а также различия в методологиях расчёта энергобаланса (PHPP для PHI и WUFI Passive для PHIUS).
Обзор научной литературы	Проведён анализ публикаций, посвящённых проектированию и эксплуатации ПД в различных КУ. Рассмотрены работы, описывающие исторические опыты, современные стратегии проектирования и технические решения (например, [3–5, 7–18, 31]), что позволило систематизировать лучшие практики и выявить проблемные аспекты, требующие дальнейших исследований.
Анализ нормативных документов	Изучены международные и национальные строительные нормы, включая европейские директивы (EnEV, GEG), американские стандарты (ASHRAE, IECC), российские СНиП и СП, а также узбекистанские КМК и ШНК. Особое внимание уделено новому стандарту ШНК 2.08.08-22 «Пассивные дома», введённому в 2022 году, и его соответствию международным требованиям.



Оценка энергоэффективности зданий	Применены методы расчёта удельного энергопотребления, анализа теплопотерь и эффективности инженерных систем (вентиляция с рекуперацией тепла, СК, ТН). Используются данные проектных расчётов и мониторинга для оценки реальных энергетических показателей ПД.
Анализ данных пилотных проектов	Изучены результаты эксплуатации пилотных энергоэффективных зданий в Узбекистане, включая частный дом на берегу Чарвакского водохранилища (2011) и демонстрационный дом с почти нулевым энергопотреблением в Нурафшане (2022). Проведён мониторинг и экспериментальные измерения энергетических показателей, таких как удельное энергопотребление (~60 кВт·ч/м ² в год для дома в Нурафшане) и эффективность ВИЭ (например, фотоэлектрических панелей).

3. Результаты исследования и обсуждение (Results & Discussion)

Идеи, лежащие в основе ПД, начали внедряться задолго до появления самого термина «пассивный дом». Уже в 1970-х годах, во время глобального энергетического кризиса, архитекторы разных стран предпринимали попытки создать здания с минимальным потреблением традиционной энергии.

Краткий обзор по разработке ПД в различных КУ. Пассивные солнечные системы используются для «сбора, хранения и распределения тепловой энергии за счет естественного излучения, проводимости и конвекции благодаря сложному дизайну и широкому выбору строительных материалов». Это определение, данное Дж. К. Поллом, достаточно объясняет, что идея пассивной СЭ заключается в использовании естественных процессов, таких как излучение, проводимость и конвекция, для распределения теплового тепла, выделяемого солнцем. Пассивная СЭ также включает блокирование солнечных лучей, чтобы обеспечить охлаждение в летнее время. Включение СЭ в наши здания уменьшит количество денег, которые мы тратим на энергию, а также продлит срок службы других источников энергии [6].

В мире к настоящему времени проведены многочисленные исследования по нахождению решений для повышения энергоэффективности зданий и экономии энергопотребления, краткий обзор по которым приводится ниже.

В работах S. Barber и M. Behm [7] подробно описываются самые первые исторические опыты по появлению ПД, использованию СЭ для отопления, герметизации оконных блоков и другие. В статье приводятся, пять стратегий, используемых для пассивной СЭ, прямого усиления, накопления тепла, солнечных теплиц, прудов на крыше и конвекционных контуров, также имеющие свои преимущества и недостатки, так как внедрение этих стратегий в здание способствует появлению необходимости дальнейшего планирования и специальных материалов. Однако эта увеличенная начальная стоимость только увеличивает долгосрочную экономию для здания, использующего пассивную СЭ.

В работе авторов K. Kruzner, K. Cox, V. Machmer и L. Klotz [8] описываются тенденции в наблюдаемых стратегиях проектирования пассивных солнечных батарей для существующих домов в США, где подробно рассмотрен первый в Соединенных Штатах ПД, построенный во времена первого энергетического кризиса.

Работа авторов H. Albuayaa, D. Nagare и S. Saha [9] посвящена более научным решениям, например, вопросам энергосбережения в жилых зданиях за счет внедрения стратегий пассивного солнечного и энергоэффективного проектирования и более высокой тепловой массы, что в результате приводит к повышению энергоэффективности жилых зданий.

Вопросы учитывания КУ подробно рассмотрены в работе B. W. Liu, D. Liu, B. Li и M. Zheng [10], где проанализирован эффект Пассивного солнечного дома в условиях Тибета.

В работе P. Wu и V. Huatt [11] проведен обзор по опыту проектов в BIM для устойчивого проживания с крошечными солнечными домами.

Интересен опыт по разработке ПД в России А.А. Голиковой и З.С. Нагаевой [12], где проведен подробный обзор по строительству зданий с низким энергопотреблением и отмечаются различные конструкционные и другие решения по ПД. Также, например в работе А.С. Горшкова и др. [13] проведен сравнительный анализ строительства зданий с нулевым потреблением энергии в России и за рубежом, в которой проанализирована эффективность строительства данного типа зданий и разработки наименее затратной технологии при возведении.

В следующей работе авторов А.С. Горшкова, Н.И. Ватина и Д.В. Немовой [14] были рассмотрены влияние формы и размеров здания, теплозащитных свойств ограждающих конструкций, а также герметичности оболочки здания на параметры энергопотребления, и установлены основные конструктивные требования при проектировании и конструировании



для зданий с низким потреблением энергии, такие как высокий уровень теплоизоляции наружных ограждающих конструкций, герметичность наружной оболочки, компактность здания. Особый интерес представляет работа авторов М.М. Бродача и В.И. Ливчака [15], где сопоставлены европейские требования к показателям энергоэффективности многоквартирного дома с российскими, с учётом местных КУ. Также в работе исследователя Б.М. Шойхета [16] изучен европейский опыт по снижению тепловых затрат и повышению энергоэффективности сооружений, и оценена возможность применения рассмотренных концепций в российских условиях.

В ряде других работ, [17, 18] предложены различные конструктивные и рациональные и экономически целесообразные решения малоэтажных ПД, например с каркасом из монолитного керамзитобетона и стенами из монолитного пенобетона в несъемной опалубке из стружечно-цементной плиты (СЦП), в котором оптимально разграничиваются несущие и ограждающие функции конструктивных элементов, способы уменьшения затрат энергии на отопление: увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций (при условии, что срок эффективной эксплуатации внедряемых материалов превышает период их окупаемости) при одновременном использовании современных энергосберегающих методов и технологий, а также повышение степени соответствия расчетных и фактических затрат энергии на отопление зданий и др.

В этом свете необходимо отметить работу В.К. Аверьянова и др. [18], где предложена концепция обеспечения энергоэффективности здания, отличающаяся от принятой в РФ СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» в первую очередь учетом всех видов потребляемой энергии здания. Разрабатываемый специалистами региональный методический документ, комплексно оценивающий энергетическую эффективность здания – по всем видам потребляемой энергии, рассматривающий все возможные пути снижения потребляемой энергии, а также объединяющий в себе все необходимые нормативные документы и законодательные акты в области энергосбережения, позволит добиться ощутимого повышения энергоэффективности жилых и общественных зданий.

Первые опыты по обогреву помещений посредством инсоляционной пассивной системы солнечного отопления (ИПССО) проведены 85 лет тому назад в Узбекистане под руководством известного гелиотехника В.Б. Вейнберга [19]. По его проекту в 1931г. в Капланбеке (ныне в Чимкентской области Республики Казахстана) построено небольшое здание гелиотехнической лаборатории. Как показывает результаты наблюдений В.Б. Вейнберга, в морозную солнечную погоду отопление помещения лаборатории не требовалось, но в пасмурную, ветряную погоду оно дополнительно отапливалось, так как иначе температура опускалась ниже комфорта, что объясняется плохим качеством выполнения постройки, большим значением отношения площади наружных ограждений к отапливаемому объему и резкой континентальностью КУ местности. Летом в здании лаборатории перегрев не наблюдался, так как благодаря высокому стоянию Солнца над горизонтом в летнее время количество солнечного излучения (СИ), проникающего в помещение лаборатории, в 2-3 раза меньше, чем в зимнее время. К сожалению, информация о размерах и теплотехнических характеристиках светопрозрачного ограждения (СПО) и отапливаемого помещения отсутствуют, сохранилась лишь одна фотография, приведенная в [19].

В дальнейшем ИПССО были предметом исследований ряда работ, Mills Sonya, а также Hutchinson F.W. [20-21]. Из анализа результатов этих исследований видно, что повсеместное строительство объектов с ПССО рассматриваемого типа невозможно в виду различных требований, предъявляемых к ним в различных КУ. Как показывают результаты анализа исследований [19-21] в КУ штата Индиана США, в доме оборудованном ИПССО, СПО которой состоит из двух слоев оконного стекла толщиной 6 мм, разделенных воздушной прослойкой толщиной 12 мм, без какой либо дополнительной системы отопления при температуре наружного воздуха $0 \div 1^{\circ}\text{C}$ средняя температура ОС отапливаемого помещения в течение суток поддерживалось в пределах $14 \div 15^{\circ}\text{C}$. В ночное время наблюдалась снижение температуры внутреннего воздуха до $+2^{\circ}\text{C}$, в дневные часы – повышение до $+27^{\circ}\text{C}$. Однако, суммарные тепловые потери рассматриваемого дома оказались на 16% больше, чем у такого же дома с традиционной системой отопления [22]. Очевидно, что светопрозрачная стена способствовало потери значительного количества тепла в ночное время и в период облачной погоды. Кроме того, выявлены ряд неудобств при работе в помещении, подвергающемуся прямому падающему СИ.

Для ликвидации указанных недостатков предложено применение передвижного теплового экрана и заполнение меж стекольной воздушной прослойки в ночное время и пасмурные дни мелкими полистироловыми шариками [23-24].

Представляет интерес также опыт эксплуатации ИПССО, примененной в двухслойном школьном здании в условиях Уоллесе (Великобритания) [25]. Южная стена школы полностью



выполнена светопрозрачной и состоит из двух слоев оконного стекла, внутренний слой которой имеет рифление (для рассеяния проходящего излучения). Между слоями стекла расположены лучепоглощающие панели, выполненные в виде жалюзи. Одна сторона панелей покрыта черной краской, а другая – имеет высокая отражающее покрытие. Положение панелей определяется требуемым температурным режимом. Летом избыток СИ отражается жалюзными панелями. Результаты пятилетней эксплуатации школы показали, что температура воздуха в ней не опускалась 15.5°C в самый холодный зимний день и не повышалась выше 20.5°C в самый жаркий летний день. Экономия средств на эксплуатацию по сравнению с аналогичным зданием составляла 3000 фунтов стерлингов в год. Капитальные затраты уменьшились на 12÷15% за счет отсутствия трубопроводов, нагнетательных устройств и т.п.

Еще одним из таких масштабных объектов с ИПССО является учебное здание [26-27], в котором реализованы основные технические решения, направленные на возможное уменьшение недостатков, присущих этим системам. Южный фасад здания имеет сплошное двойное остекление. В межстекольном пространстве установлены жалюзи с зеркальным покрытием и теплоотражающая металлизированная пленка. СИ, падающее на зеркальную поверхность жалюзи, отражается на поверхность плиты потолка, который является приемником излучения, аккумулятором тепла (АТ) и нагревательным прибором. Для повышения аккумулирующей способности внутри панелей потолка расположен специальный накопитель, состоящий из смеси глауберовой соли, буры, хлористого натрия и силикатного вещества. При нагреве потолка солнечными лучами накопитель плавится при температуре 32.6°C с поглощением 334 кДж/кг тепла, а после захода Солнца «замерзает» отдавая в помещение накопленную за день скрытую теплоту плавления. Повышенное термическое сопротивление ограждающих конструкций обеспечивают поддержание нормальной температуры в помещении в течении 34 часов после захода Солнца при последующих пасмурных днях. Дублирующим источником тепла являются электрические нагревательные приборы, включающиеся автоматически при снижении температуры ниже нормы. Согласно результатам экспериментов в КУ, близких к климату Южного берега Крыма Украины, за год за счет использования СЭ обеспечивается до 70% в тепле на отопление. Для уменьшения перегрева и рукой контрастности яркости или блескости вследствие интенсивного прямого и диффузного излучения Солнца предложен теплоизоляционные полимерные пластины (жалюзи) с металлизированным покрытием и упругими элементами, устанавливаемыми между слоями двухслойного СПО [28].

Одним из наиболее эффективных решений устранения недостатков ИПССО в определенной степени могут быть применение краткосрочных АТ, совмещающих в себе функций приемника СК и отопительного прибора, которые устанавливаются внутри отапливаемого помещения возле светопроема. Количество СИ, проникающего в отапливаемого помещения через его светопроем, может быть увеличена путем дополнительной подсветки его плоскими рефлекторами СИ, шарнирно соединенными с нижней части рассматриваемого светопроема. Анализ опыта эксплуатации таких систем в условиях юга нашей Республики [29-30] показывает их несомненное преимущество по сравнению с перечисленными выше вариантами ИПССО.

Необходимо отметить результаты отечественной науки в области научно-исследовательских работ по ПД, которая связана с разработкой ИПССО, так далее усовершенствованием теплотехнических и оптических показателей их оконных блоков с учетом климатических и актинометрических показателей республики. Как уже отмечено выше, пассивные системы имеют ограничения: например, зависимость эффективности от ориентации здания и параметров климата, а также потенциальный световой и тепловой дискомфорт из-за затруднённого регулирования поступающей СЭ. Эти факторы снижают популярность прямого солнечного отопления в районах с резко континентальным климатом характерным для большей части территории Узбекистана. В этом свете отдельно следует отметить значительный вклад ученых школы профессора Р.Р. Аvezова по разработке эффективных методов адаптации пассивного солнечного отопления к условиям резко континентального климата. Исследователями предложено инновационное решение – применение энергоактивного оконного блока (ЭОБ) с трёхслойным светопрозрачным ограждением, позволяющее повысить эффективность прямого солнечного обогрева здания до 50% и более. В частности, исследования, проводимые в Узбекистане, показали, что для условий резкоконтинентального климата требуются специальные меры, такие как регулирование доли остекления, использование солнцезащитных устройств и интеграция теплоаккумулирующих элементов, чтобы нивелировать суточные и сезонные колебания температуры. В работах школы Р.Р. Аvezова реализована оптимизация параметров пассивных систем именно с учётом экстремальных перепадов температур и высокой солнечной инсоляции в регионе [31]. Научная значимость этих исследований заключается в том, что они адаптируют общие принципы пассивного проектирования к конкретным КУ Средней Азии, обогащая мировую копилку

знаний практическим опытом применения пассивных стратегий в новом климатическом контексте.

Проведённый обзор подходов к проектированию ПД в различных КУ показал, что накопленный международный и отечественный опыт подчёркивает необходимость адаптации этих универсальных принципов к условиям конкретного климата. Особенно актуально это для регионов с резко континентальным климатом, где проектные решения должны обеспечивать как эффективное использование солнечного тепла зимой, так и предотвращение перегрева помещений летом, вплоть до применения адаптивных элементов (например, энергоактивных оконных блоков с сезонной регулировкой светопропускания).

Таким образом, принципы пассивного домостроения являются универсальными, однако их практическая реализация должна выполняться с учётом региональных климатических особенностей для обеспечения высокой энергоэффективности и комфортного микроклимата. В этом контексте рассмотрим некоторые практические примеры по созданию и эксплуатации энергоэффективных и ПД, которые представлены ниже.

Задолго до строительства первого ПД, в США, штат Нью-Хэмпшир, в Манчестере, был построен первый экодом, в 1972 г., в преддверии энергетического кризиса (Рис.1) [32]. Проект дома представлял собой куб, такая форма минимизировала потери тепла за счет лаконичности архитектурного решения. Остекление составляло всего 10% поверхности стен, а на крыше были установлены СК. Наружные стены имели двухслойную конструкцию, а окна солнцезащитные козырьки. Архитектура здания позволяла максимально использовать естественное освещение, в том числе благодаря открытой планировке внутренних помещений. Были продуманы резервуары для хранения охлажденной и нагретой воды и вентиляция с рекуперацией.

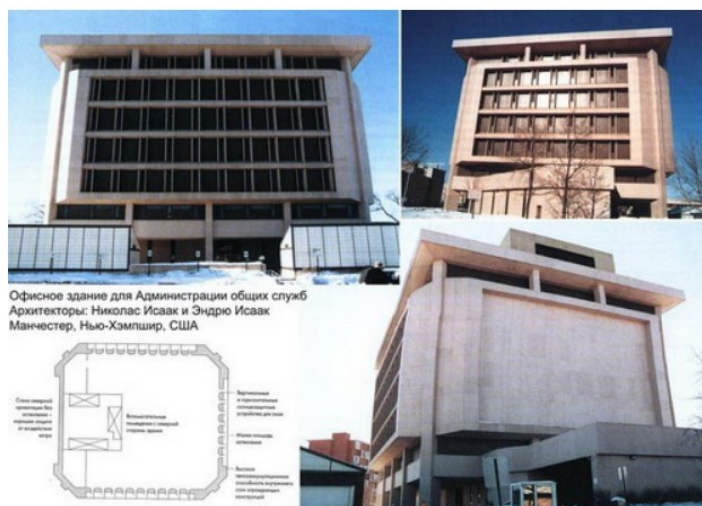


Рис. 1. Первый экодом в США.

Fig.1. The first eco-house in the USA.

Второе энергоэффективное здание «EKONO-house» было построено в г. Отаними, Финляндия (1973-1979 г.) [33-34].

Климатические характеристики района строительства приведены ниже:

- Расположение: Отаними, Финляндия;
- Географические координаты: 60 с. ш., 24 в. д.; высота над уровнем моря: 51 м;
- Среднегодовая температура: +4.5 °С; средняя температура наиболее холодного месяца: – 6,5; средняя температура наиболее жаркого месяца: + 16,8; среднегодовое количество осадков: 635,4 мм.

Основные инновационные энергосберегающие решения здания «EKONO-house» заключались в следующем:

- эффективное использование внутреннего объема для минимизации площади ограждающих конструкций и уменьшения через них теплопотерь;
- эффективная теплоизоляция ограждающих конструкций для уменьшения теплопотерь;
- высокая теплоемкость ограждающих конструкций для накопления тепла и повышения теплоустойчивости здания; аккумулирование тепла СИ в основании сооружения для снижения нагрузки на систему отопления;
- применение вентилируемых окон для уменьшения тепlopоступлений в летнее время и уменьшения теплопотерь в зимнее время;
- минимальные утечки воздуха (герметичность здания) и низкий расход наружного воздуха

в системе вентиляции для снижения затрат энергии на отопление здания;

- эффективное освещение для снижения затрат электрической энергии; система автоматического управления оборудованием климатизации и освещением для оптимизации и учета потребления энергии.

При этом необходимо отметить, что ежегодное удельное теплотребление первой секции здания «EKONO-house» составило 124 кВтч/м². В то время это было на 50% ниже, чем в административных зданиях Финляндии. Подобные здания в США имели еще большее значение удельного теплотребления. Ежегодное удельное электропотребление для отопления первой секции 79 кВтч/м² в год, что также ниже, чем в Финляндии и США. Удельное теплотребление для отопления второй секции здания «EKONO-house» составляет 70 кВтч/м² в год, удельное электропотребление для отопления – 57 кВтч/м² в год, что составляет примерно 1/3 от энергопотребления традиционных сооружений подобного типа.

История развития по созданию Пассивных зданий начато в прошлом веке и первый пассивный дом, официально был построен в 1991 году в городе Дармштадт (Германия) (Рис.2). Этот проект подтвердил безупречное функционирование всех важных составляющих домов при их нормальной эксплуатации [35].

Неизменным до сих пор является среднее потребление энергии для отопления – менее 10 кВт·ч/ (м² в год), сбережения составляют более 90%, если сравнивать с традиционным домом. Было зафиксировано очень высокое качество воздуха и высокий уровень теплового комфорта.

Для проведения дальнейших исследований по разработке и усовершенствованию параметров ПД был основан Институт пассивного дома. По состоянию на май 2011 года уже построено более 32000 сертифицированных ПД, а с 2020 года стандарт пассивного строительства в Евросоюзе стал обязательным (среднее потребление энергии для отопления – менее 10 кВт·ч/(м²) в год).



Рис.2. Общий вид пассивного дома, построенного в 1991 г. в Германии

Fig.2. General view of the passive house built in 1991 in Germany.

Одним из первых реализованных ПД в Узбекистане считается частный дом на берегу Чарвакского водохранилища (окрестности посёлка Бурчмулла). Он был построен ещё в 2011 [36]. Внешне этот коттедж мало отличался от соседних построек, однако инженеры спроектировали его так, чтобы вовсе отказаться от традиционного отопления. Дом ориентирован по сторонам света оптимальным образом, имеет большую застеклённую южную террасу-теплицу, толстые утеплённые стены и встроенную систему аккумуляции солнечного тепла в массиве пола (гравийный тепло аккумулятор с водой).

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что расходы энергии на отопление в гелиодоме в 8 раз меньше, чем традиционные и составляют менее 30 кВт·ч/м² год. В результате первый ПД в Узбекистана не нуждался в работе отопительных радиаторов – даже зимой внутреннее тепло поддерживалось за счёт солнечной инсоляции и специальной вентиляционной системы [37]. Данный пилотный проект доказал возможность адаптации концепции к местным условиям ещё задолго до появления официального стандарта.

В настоящее время реализуются новые пилотные проекты ПД и энергоэффективных домов в Узбекистане. В рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Содействие развитию строительства энергоэффективного сельского жилья» в 2022 году завершена строительство демонстрационного дома с практически нулевым энергопотреблением в городе Нурафшан (Ташкентская обл.). Дом в Нурафшане – первый пилотный «независимый» энергодом, построенный в современный период, – предназначен для мониторинга и демонстрации эффективности пассивных технологий.



Рис.3. Демонстрационный пилотный дом «Zero House» в Нурафшане, Ташкентской области РУз. [38].

Fig.3. Demonstration pilot house “Zero House” in Nurafshon, Tashkent Region, Republic of Uzbekistan [38].

Целью настоящего проекта являлось продемонстрировать современных энергоэффективных технологий и пассивных архитектурных решений, позволяющих свести годовое энергопотребление здания к минимуму и компенсировать его за счёт ВИЭ. Дом спроектирован таким образом, чтобы годовой баланс энергии был близок к нулю – то есть он практически полностью обеспечивает свои потребности в тепле и электричестве самостоятельно (Рис.3.), спроектирован как пассивный, для обеспечения полного комфорта и автономности в нём также внедрены современные инженерные системы на основе ВИЭ. Активные технологии дополняют пассивную энергоэффективность, покрывая оставшиеся потребности дома в тепле, охлаждении и электричестве. Основные технические системы включают: солнечная фотоэлектрическая станция мощностью 15 кВт, установленная на крыше, СК для горячего водоснабжения с накопительным баком, которая полностью покрывает потребности в горячей воде в тёплый период года и частично – зимой. В доме установлены высокоэффективные окна с улучшенными теплоизоляционными характеристиками. В холодное время при недостатке солнечного тепла включается резервный нагрев (электрический ТЭН или через ТН), ТН, который используется для обогрева помещений зимой и охлаждения летом, Система принудительной вентиляции с рекуперацией, для обеспечения свежего воздуха без потерь тепла дом оснащён приточно-вытяжными вентиляционными установками (рекуператорами тепла).

По данным проектного расчета ежегодное удельное энергопотребление составляет ~ 60 кВт·ч/м² в год. В абсолютных цифрах для дома площадью ~ 164 м² это порядка 9,8 тыс. кВт·ч в год на все нужды. Для выработки такого количества энергии фотоэлектрической установке 15 кВт требуется около 800–1000 часов солнечного солнца (что соответствует климату Ташкентской области). Фактически, фотоэлектрические панели способны генерировать до ~ 20 тыс. кВт·ч в год, поэтому значительную часть времени дом будет производить избыточную электроэнергию (ЭЭ). В летние месяцы излишки могут поступать в сеть (принося доход или сокращая счета), а зимой небольшое недостающее количество ЭЭ может браться из сети. Таким образом, годовой энергобаланс здания близок к нулевому: производство энергии \approx потреблению за год. За счёт этого дом классифицируется как near-zero energy building (NZEB) – здание с почти нулевым энергопотреблением [38].

Благодаря утеплённой оболочке расчетные удельные теплопотери дома существенно ниже нормируемых. Даже в сильные морозы пассивные теплопоступления (Солнце, тепло от людей и приборов) покрывают значительную долю потерь. Оставшуюся потребность восполняет высокоэффективный тепловой насос.

Таким образом, мировой и отечественный опыт реализации ПД и энергоэффективных домов свидетельствует о высокой эффективности таких решений и универсальности их принципов. Несмотря на разнообразие КУ, повсеместно используются общие архитектурно-инженерные принципы ПД: компактная форма и продуманная ориентация здания, высокоэффективная теплоизоляция без мостиков холода, герметичная оболочка с приточно-вытяжной вентиляцией и рекуперацией тепла, а также применение солнцезащитных устройств и интеграция солнечных технологий (коллекторы для воды, фотоэлектрические панели и пр.), которые адаптируются под местный климат – например, в условиях резко континентального климата Узбекистана (температура от ~ -6 °С зимой до $+40$ °С летом) особое внимание уделяется сезонной оптимизации: максимальному использованию солнечного тепла зимой и защите от перегрева летом (затеняющие элементы, естественная вентиляция и т.д.).

Несмотря на полученные достижения и технический потенциал ВИЭ, применения в строительстве пассивных стратегий в республике ничтожны. Широкомасштабное



тиражирование таких подходов связана с усилением нормативно правовых и регламентирующих документаций по части касавшейся, которые также должны быть адаптированы к местному климату. В связи с чем, ниже представлены стандарты и кодексы по созданию Пассивных домов.

В процессе распространения концепции ПД за пределы Центральной Европы возникли адаптации стандартов к различным КУ. Европейский институт Passivhaus (PHI) исторически предлагал единые критерии для всех регионов, базируясь на климате средней Европы, тогда как Американский институт пассивного дома (PHIUS) пересмотрел подход для Северной Америки. Начиная с 2015 года, PHIUS ввел собственный стандарт PHIUS+ с климатически дифференцированными нормами на отопление и охлаждение [39]. Существенное отличие заключается в методологии расчета: PHI полагается на инструмент PHPP (Passive House Planning Package) – детализированную расчетную таблицу для моделирования энергобаланса здания, разработанную в Германии. PHIUS же перешел на динамический программный комплекс WUFI Passive, более адаптированный к разнообразию североамериканских климатических зон [39].

Согласно наблюдениям PHIUS, использование европейского инструмента PHPP для проектов в США выявило отклонения между расчетными и фактическими энергопоказателями (до 25–30% по годовым энергозатратам, особенно из-за перегрева летом), что послужило причиной для разработки скорректированной методики PHIUS, основанной на локальной климатологии и данных Министерства энергетики США.

В итоге, в настоящее время существуют два родственных стандарта ПД: европейский PHI, применяемый во всем мире с едиными критериями, и американский PHIUS, учитывающий региональные климатические различия. Оба предъявляют чрезвычайно высокие требования к энергоэффективности здания и проходят процедуру добровольной сертификации: здание должно подтвердить соответствие критериям через расчеты и тесты (например, тест на воздухопроницаемость), чтобы получить сертификат «Passive House». Такая схема сертификации обеспечивает контроль качества – независимые аккредитованные специалисты проверяют проектные показатели и результаты измерений перед выдачей сертификата.

По строгости критериев ПД значительно превосходит базовые нормативы энергоэффективности, принятые в большинстве стран. Например, исследования показывают, что здание, спроектированное по стандарту Passivhaus, обеспечивает наилучшие показатели комфорта, качества воздуха и тепловой устойчивости по сравнению не только с обычными зданиями, но и с другими «повышенными» стандартами [40]. В одном сравнительном анализе более десятка действующих стандартов было отмечено, что PHI Passive House занял первое место по совокупности параметров энергоэффективности и качества среды, тогда как даже современные редакции типовых строительных кодов (например, американский IECC 2018/2021 или калифорнийский Title 24) не полностью обеспечивают заданный уровень комфорта и устойчивости. В стандартах массового применения упор делается преимущественно на сокращение удельных теплопотерь и повышение эффективности оборудования, однако предельно низкие теплопотери, как в ПД, обычно не требуются. В результате здания, введенные просто «по кодам», потребляют больше энергии и могут иметь меньший внутренний комфорт, чем сертифицированные пассивные дома. Тем не менее, эволюция национальных норм идет в направлении постепенного повышения требований и приближения к показателям низкого энергопотребления.

В странах с развитой нормативной базой энергоэффективности, например в США, ключевую роль играют стандарты ASHRAE и Международный кодекс энергосбережения IECC. Стандарт ASHRAE 90.1 (разрабатываемый Обществом инженеров отопления, охлаждения и кондиционирования воздуха) устанавливает минимальные требования к энергетической эффективности коммерческих и многоэтажных зданий – от коэффициентов теплопередачи ограждений до КПД систем отопления, вентиляции и кондиционирования. Он регулярно обновляется (каждые ~3 года) с ужесточением нормативов; многие национальные и региональные строительные кодексы либо напрямую ссылаются на ASHRAE 90.1, либо используют его как одну из опций соответствия. IECC же – модельный энергетический кодекс для жилых и коммерческих зданий, принимаемый во многих штатах США, – также пересматривается каждые несколько лет (например, редакции 2015, 2018, 2021 гг. и далее). В последних версиях IECC существенно снижены допустимые теплопотери через стены, крыши и окна, вводятся более строгие требования к герметичности и эффективности оборудования, что отражает общую тенденцию к повышению энергоэффективности. Однако даже современные нормы IECC/ASHRAE остаются менее жесткими, чем критерии ПД, чем здание, просто соответствующее базовым требованиям IECC [40]. Важным отличием является также подход к климату: американские коды (ASHRAE, IECC) дифференцируют требования в зависимости от климатической зоны (например, более низкие U-значения для холодных зон),

тогда как исходный стандарт Passivhaus изначально был единым, и только адаптация PHIUS ввела региональные критерии.

Германия – родина концепции Passivhaus – также имеет длительную историю развития обязательных норм энергосбережения. Первым шагом стала «Ordnung über den Wärmeschutz» (WSchVO 1977) – Постановление о теплоизоляции, введенное в 1977 г. в ответ на нефтяной кризис [41]. Оно впервые установило предельные значения удельных теплопотерь зданий через ограждения, требуя минимального уровня утепления. В 1978 г. дополнительно вступило в силу Постановление об отопительных установках (HeizAnV), регламентировавшее эффективность систем теплоснабжения. В последующие десятилетия нормы неоднократно усиливались: последняя редакция WSchVO была принята в 1995 г., а начиная с 2002 г. ее сменила комплексная Энергосберегающая директива (EnEV). EnEV 2002 объединила требования к теплоизоляции ограждений и эффективности инженерных систем в единый пакет, вводя расчет общего показателя первичной энергоемкости здания. Это означало переход от простых норм по k - или U -значениям отдельных конструкций к интегральной оценке энергопотребления здания (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение и пр.) с учетом теплопотерь, теплопоступлений от солнца и оборудования, а также качества оболочки здания. EnEV реализовала в национальном законодательстве требования европейской директивы по энергетической эффективности зданий 2002/91/ЕС [41], включая введение энергетических сертификатов для зданий. Каждая последующая редакция EnEV ужесточала допуски: например, EnEV 2009 потребовала ~30% сокращения энергопотребления по сравнению с уровнем 2002 г., а EnEV 2014 – еще на 25% ниже 2009 г. В результате к середине 2010-х гг. нормативные показатели в Германии приблизились к уровню «почти нулевого энергопотребления», требуемого общеевропейскими целями. Для иллюстрации, минимальное термическое сопротивление стен (R -значение) в Германии увеличилось с порядка $1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ в 1970-х до $3,8\text{--}4,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ после 2006 г. [41], то есть уровень утепления ограждений вырос в несколько раз. С 2020 г. в Германии EnEV и связанные законы были консолидированы в новом Законе об энергетической эффективности зданий (GEG), вводящем еще более строгие стандарты и полностью соответствующем концепции «Nearly Zero-Energy Building (NZEB)» согласно обновленной Европейской директиве. Таким образом, немецкие нормативы прошли эволюцию от базовых требований теплоизоляции к комплексному регламенту, охватывающему все аспекты энергопотребления и предусматривающему сертификацию в виде обязательного энергетического паспорта здания (Energieausweis) для вновь построенных и продаваемых/сдаваемых объектов.

В Российской Федерации (РФ) система нормативов энергоэффективности также претерпела постепенные изменения. Советские строительные нормы предусматривали требования к теплоизоляции еще в 1950–80-х гг. (например, СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника»). В 2003 году был принят СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», устанавливавший нормативы по сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций в различных климатических районах. В 2012 г. этот СНиП был актуализирован и преобразован в СП 50.13330.2012 (современный свод правил по теплоизоляции зданий) [42]. Новая редакция ужесточила требования: например, для средней полосы минимальное сопротивление теплопередаче наружных стен выросло примерно с $1,2\text{--}1,6$ до $2,1\text{--}2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ [42], что сопоставимо с уровнем некоторых европейских норм начала 2000-х гг. Параллельно с обновлением технических стандартов были введены и правовые механизмы стимулирования энергосбережения. Федеральный закон №261-ФЗ (2009) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» заложил основы государственной политики энергосбережения. Он, в частности, ввел обязательную классификацию энергоэффективности для зданий: при вводе в эксплуатацию новостройки должны получать энергетический паспорт (ЭП) с указанием класса энергоэффективности (от «А» – наиболее эффективный, до «G» – наименее) по аналогии с европейской схемой [43]. Для обеспечения этого, нормативная база требует расчет и подтверждение соответствия здания минимальным требованиям (как правило, класс «С» соответствует текущим нормативам). Также закон предписал размещение информации о классе энергоэффективности – например, таблички на фасаде зданий определенных типов [44]. После 2010 г. последовали подзаконные акты, уточняющие методики расчета и контроля. Таким образом, в РФ сформировался двухуровневый подход: обязательные строительные нормы (СП) задают минимально допустимые параметры теплоизоляции и энергопотребления систем, а сертификация энергоэффективности стимулирует достижение более высоких классов и прозрачность информации для потребителей. В последние годы российские стандарты продолжают ужесточаться. С 2025 г. вводится обновленный СП 50.13330.2024 для жилых домов, который предусматривает, например, увеличение толщины утеплителя наружных стен на 15% по сравнению с предыдущими нормами, а также обязательную тепловизионную съемку готового здания для контроля качества утепления [45].



Эти меры направлены на дальнейшее сокращение теплопотерь и повышение фактической эффективности зданий. Несмотря на все улучшения, разброс КУ и состояние существующего фонда в РФ означают, что средний уровень энергопотребления зданий пока выше, чем у эталонных ПД, однако нормативная эволюция идет по пути сокращения этого разрыва.

В Республике Узбекистан (РУз) формирование требований энергоэффективности в строительстве началось в конце 1990-х годов. Базовый документ – КМК 2.01.04-97 «Теплотехника в строительстве» – был введен Государственным комитетом по архитектуре и строительству в 1997 году. Он рекомендовал три градации уровней теплоизоляции (I – минимальный, II – средний, III – повышенный) и соответствующие нормативные сопротивления теплопередаче ограждений для разных КУ страны. Первоначально выбор уровня утепления оставлялся за заказчиком проекта, а обязательными были лишь самые низкие требования, что означало довольно скромный уровень энергосбережения. Однако уже в последующие годы нормативы ужесточались: в 2004 году в КМК 2.01.04 внесены изменения, повысившие минимально допустимые R-значения примерно на 20–50%, а в 2011 году требования были пересмотрены вновь, доведя нижнюю границу сопротивления теплопередаче наружных стен до $\sim 0,94\text{--}1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (для I уровня) в умеренном климате [46]. Одновременно были введены нормативы предельного энергопотребления систем ОВК: КМК 2.01.18-2000 установил расчетные удельные показатели расхода тепловой энергии на отопление и охлаждение для зданий различного назначения [46]. К 2011 году регламентация ужесточилась настолько, что при проектировании всех новых жилых и коммерческих зданий требовалось обеспечивать I (наивысший) уровень теплоизоляции, а для объектов, строящихся за счет бюджета (государственное жилье, соцобъекты), – даже уровень II, превосходящий базовый [47]. Таким образом, в РУз произошел постепенный переход от рекомендательных норм к обязательным требованиям высокого уровня энергоэффективности оболочки зданий.

С середины 2010-х годов наблюдается активное обновление нормативной базы с учётом современных технологий и мирового опыта. Разработан ряд новых КМК и ШНК, охватывающих конкретные аспекты «устойчивого» строительства. В частности, при поддержке международных проектов (ПРООН и др.) были подготовлены и утверждены следующие документы: КМК 2.01.04-18 «Строительная теплотехника» (актуализация теплотехнических требований, 2019 г.), КМК 2.01.18-24 «Нормы энергопотребления для отопления, вентиляции и кондиционирования» (2019), КМК 2.04.16-18 «Солнечные водонагревательные установки» (2019) [47]. Появились руководства по расчету и обеспечению выполнения этих кодексов на практике. Кроме того, введены нормы, стимулирующие внедрение ВИЭ: например, ШНК 2.04.15-22 «Фотоэлектрические станции, системы» (2020, руководство; 2021, обязательный кодекс) регулирует проектирование и установку солнечных фотоэлектрических систем в зданиях [47]. На особое внимание заслуживает утверждение в 2022 году нового нормативного документа ШНК 2.08.08-22 «Пассивный дом» [47]. Внедрение стандарта ПД на национальном уровне – шаг, отражающий стремление адаптировать и использовать передовой международный опыт. Данный ШНК, по сути, локализует принципы Passivhaus под условия РУз, задавая ориентиры по сверхнизкому энергопотреблению и параметры для сертификации зданий как пассивных. Это нововведение ставит РУз в ряд немногих стран, официально закрепивших ПД в своих нормах строительства.

Правовую основу регулирующих мер составляет система законов и постановлений правительства. Еще в 1997 году был принят Закон Республики Узбекистан №412-I «О рациональном использовании энергии», провозгласивший государственную политику энергосбережения и обязавший разрабатывать нормативы и контролировать производство и потребление энергии. В недавнее время законодательство претерпело важные обновления. В августе 2024 года принят новый Закон №ZRU-940 «Об энергосбережении, его рациональном использовании и повышении энергоэффективности». Он заменил собой устаревшие положения, приведя их в соответствие с современными реалиями. Закон 2024 года содержит определения ключевых понятий, устанавливает полномочия органов власти и обязанности потребителей и производителей энергии в части эффективного использования ресурсов [48]. Документ также предусматривает создание Государственного энергетического реестра крупных потребителей энергоресурсов и внедрение механизмов стимулирования энергосбережения в различных отраслях [48]. Таким образом, на уровне закона подтверждены приоритеты повышения энергоэффективности во всех секторах, включая строительство.

РУз демонстрирует приверженность курсу на «зеленую» экономику и устойчивое развитие через ряд последних правительственных инициатив. Знаковым шагом стало принятие в марте 2025 года Указа Президента, вводящего с 1 июня 2025 года обязательные требования по использованию ВИЭ в новом строительстве [49]. Согласно этому постановлению, все новые и реконструируемые здания независимо от формы собственности должны быть оснащены ФЭП, СВК и/или ТН, а также другими энергоэффективными системами [49]. Фактически, получение



разрешения на ввод в эксплуатацию будет увязано с выполнением этих требований – Министерство строительства и ЖКХ должно проверять наличие указанного оборудования и теплоизоляции должного уровня перед выдачей разрешительных документов [49]. Переход на обязательную установку ВИЭ-систем в сочетании с повышенной теплоизоляцией ставит РУз впереди многих стран по степени регулятивного стимулирования «зеленых» технологий. Кроме того, намечено реформирование системы управления: в 2025 году создается Национальное агентство по энергоэффективности при КабМине, призванное реализовать единую политику и координировать меры стимулирования, включая субсидирование энергоаудитов и закупки оборудования на ВИЭ [50]. Предусмотрены субсидии из госбюджета – например, компенсация до 20% стоимости энергоаудита зданий, ФЭП и СК, а также до 40% – для ТН, чтобы ускорить внедрение этих технологий населением [50]. Эти меры, вместе с требованиями по ВИЭ в строительстве, подчеркивают интеграцию возобновляемой энергетики как неотъемлемого элемента современной энергоэффективной архитектуры.

Важно отметить, что эволюция нормативов в Узбекистане шла не только по пути ужесточения требований, но и по пути расширения охвата – от оболочки здания к системам, от расчетных показателей к практическому контролю и сертификации. Сегодняшняя нормативно-правовая база включает технические стандарты, которые все больше соответствуют международным (вплоть до пассивного дома), и механизмы контроля и стимулирования, схожие с применяемыми в ЕС и других странах (энергетическая паспортизация зданий, обязательные энергоаудиты и пр.). Вызовом остается обеспечение полноты соблюдения этих требований на практике. Как отмечается в исследованиях, комплаенс (исполнение) норм в строительстве – слабое звено, особенно при децентрализованном рынке и значительной доле индивидуальной застройки [49]. Однако усиление государственного надзора (через Минстрой и новое агентство), экономическое стимулирование и повышение осведомленности участников рынка постепенно улучшают ситуацию.

Сравнительный анализ и выводы. Сопоставление международных стандартов и национальной нормативной базы показывает конвергенцию целей и принципов, при сохранении некоторых различий в подходах. Международные добровольные стандарты, такие как ПД (PHI/PHIUS), устанавливают ориентиры предельно низкого энергопотребления и высокого комфорта, функционируя через механизм сертификации проектов. Национальные строительные нормы (ASHRAE/IECC в США, EnEV/GEG в Германии, СП в России) являются обязательными минимальными требованиями, которые постепенно усиливаются под воздействием как внутренних приоритетов (энергобезопасность, экономика), так и внешних (климатические обязательства). Узбекистан, будучи развивающейся страной с экстремальным континентальным климатом, за сравнительно короткий период прошел путь от минимальных требований к теплоизоляции до внедрения комплексных норм энергоэффективности, включающих пассивные технологии и возобновляемую энергетику, что свидетельствует об учете лучшего зарубежного опыта и стремлении обеспечить устойчивое строительство.

Особенно примечательно, что РУз фактически сочетает оба подхода: с одной стороны, нормативы постепенно догоняют международные (по коэффициентам теплопередачи, качеству окон, эффективности систем ОВК и т.д.), а с другой – через ШНК «Пассивный дом» и обязательное внедрение ВИЭ страна ориентируется на высший стандарт энергоэффективности, превосходящий обычные мировые строительные кодексы. Тем самым создается основа для сертификации зданий по уровням энергоэффективности внутри страны – будь то в форме присвоения классов (ЭП) или получения статуса «пассивного дома» по национальному стандарту или международному сертификату.

В целом, эволюция нормативно-правовой базы свидетельствует о понимании, что повышение энергоэффективности зданий – процесс поступательный. В разных странах он реализуется через сочетание ужесточения строительных норм, экономических стимулов и внедрения инновационных стандартов. Международные примеры показывают, что конечной целью является «нулевое энергопотребление» и декарбонизация зданий к середине XXI века. В этом контексте меры, принимаемые в РУз, соответствуют глобальным тенденциям: акцент на «сначала снизить потребление, затем покрыть остаток возобновляемой энергией» полностью согласуется с принципами пассивного дома и политикой ЕС в отношении NZEB. Продолжающийся диалог между добровольными стандартами и обязательными нормами – залог того, что будущее строительство будет объединять лучшее из обоих миров: строгие технические требования и высокие практические результаты в виде устойчивых, энергоэффективных и комфортных зданий.

4. Заключение (Conclusions)

Проведенный обзор международного и отечественного опыта проектирования ПД подтвердил высокую эффективность данной концепции для снижения энергопотребления при



сохранении комфортных условий проживания. Зарубежная практика (Германия, Австрия и др.) показывает, что ПД достигают сверхнизкого энергопотребления на отопление (не более 15 кВт·ч/(м²·год)) благодаря комплексу мер энергосберегающего дизайна – сверхтеплоизоляции, герметичной оболочке, ПСО и рекуперации вентиляции. Отечественный опыт пока ограничен пилотными проектами, но демонстрирует возможность успешной адаптации принципов ПД к условиям РУз. Экспериментальные жилые здания, построенные в стране (в том числе первый частный пассивный дом в 2011 г. и недавний демонстрационный дом с почти нулевым энергопотреблением), подтвердили, что даже в местном климате можно обеспечить круглогодичный комфорт преимущественно за счёт пассивных источников энергии, сводя к минимуму использование традиционных систем отопления и охлаждения.

Полученные выводы имеют важное научное и практическое значение. С научной точки зрения они подтверждают применимость концепции ПД в различных КУ, подчёркивая необходимость учёта местных факторов (инсоляции, суточных температурных колебаний и др.) при адаптации международных методик. Практическая значимость заключается в том, что полученные результаты служат ориентиром для архитекторов и инженеров, позволяя разработать рекомендации по оптимальному проектированию ПД в условиях РУз. Кроме того, анализ подтверждает экономическую целесообразность (сокращение эксплуатационных затрат) и экологическую пользу (уменьшение выбросов ПГ) широкого внедрения таких энергоэффективных зданий.

Также необходимо отметить, что внедрение ПД в Узбекистане имеет особое значение для повышения энергоэффективности и развития устойчивого строительства. Жилищный сектор потребляет значительную долю энергии, поэтому переход к пассивным зданиям позволит существенно снизить нагрузку на энергосистему и сократить использование не возобновляемых ресурсов. Это соответствует приоритетам национальной стратегии перехода к «зелёной» экономике (2019–2030 гг.) и обязательствам по достижению Целей устойчивого развития в части рационального использования энергии и охраны ОС. Массовое строительство ПД также повысит комфорт и качество жизни: снизит расходы населения на отопление и кондиционирование и обеспечит стабильный внутренний микроклимат независимо от сезонных температурных экстремумов.

Дальнейшее продвижение концепции ПД требует совершенствования нормативной базы и продолжения исследований. Важным шагом в этом направлении стало принятие в 2022 году строительного норматива ШНК 2.08.08-22 «Пассивные здания: жилые», задающего требования к проектированию пассивных жилых зданий на основе национального и международного опыта. Необходимо обеспечить его эффективную реализацию на практике, своевременно актуализируя норматив с учётом новых технологий, накопленного опыта эксплуатации и международных требований. Параллельно следует вести исследования и мониторинг построенных энергоэффективных зданий для оценки их реальных показателей, выявления возможностей оптимизации и адаптации технических решений к различным климатическим зонам страны. Результаты таких исследований нужно учитывать при обновлении нормативов и разработке новых проектных решений. Последовательная работа по совершенствованию норм, подготовке специалистов и распространению знаний будет способствовать переходу от отдельных пилотных проектов к массовому строительству ПД. Это, в долгосрочной перспективе, обеспечит значительную экономию энергии и повышение экологической устойчивости строительного сектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BP. (2021). Statistical Review of World Energy 2021. London: British Petroleum. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
2. International Energy Agency (IEA). (2013). Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/transition-to-sustainable-buildings>
3. Schnieders, J., & Hermelink, A. (2006). CEPHEUS results: Measurements and occupants' satisfaction provide evidence for passive houses being an option for sustainable building. *Energy Policy*, 34(2), 151–171.
4. Passive House Institute. Passive House Planning Package (PHPP). https://passiv.de/en/04_phpp/04_phpp.htm
5. International Energy Agency (IEA). (2013). Transition to sustainable buildings: Strategies and opportunities to 2050. Paris: OECD/IEA.
6. Д.О. Советников. Строительство здания, отвечающего стандартам пассивного дома. Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 9 (24). 2014. 11-25
7. S. Barber & M. Behm. "History of Passive Solar Energy," 2012. <https://uncw.edu/csurf/explorations/documents/scottbarber.pdf>.



8. K. Kruzner, K. Cox, B. Machmer, and L. Klotz, "Trends in observable passive solar design strategies for existing homes in the U.S.," *Energy Policy*, Vol 55, pp 82-94, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.071>.
9. H. Albayyaa, D. Hagare, and S. Saha, "Energy conservation in residential buildings by incorporating Passive Solar and Energy Efficiency Design Strategies and higher thermal mass," *Energy and Buildings*, Vol 182, pp 205-213, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.036>.
10. W. Liu, D. Liu, B. Li, and M. Zheng, "Effect Analysis of a Passive Solar House in Tibet," Vol 608–609, pp. 1790–1794, 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.608-609.1790>
11. P. Wu and B. Hyatt, "Experiential and Project-based Learning in BIM for Sustainable Living with Tiny Solar Houses," *Procedia Engineering*, Vol 145, pp. 579-586, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.047>.
12. Голикова А.А., Нагаева З.С. Пассивный Дом (ЭКОДОМ) / Строительство и техногенная безопасность №14(66) – 2019.
13. Горшков А.С., Дерунов Д.В., Завгородний В.В. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии (2013) Строительство уникальных зданий и сооружений. № 3, (8). С 12-23.
14. Горшков А.С., Ватин Н.И., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте (2013) Строительство уникальных зданий и сооружений. № 3, (8). С 1-11
15. Бродач М. М., Ливчак В.И. (2011). Здание с близким к нулевому энергетическому балансу. АВОК, (5), 4–11. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4973
16. Шойхет Б.М. Концепция энергоэффективного здания. Европейский опыт (2007) Энергосбережение. Vol. 7. Рр. 62-65.
17. Смоляго Г.А., Дронова А.В. Возможности совершенствования качеств наружных стен при возведении и эксплуатации малоэтажных «Пассивных» домов // Вестник БГТУ. 2011. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-sovershenstvovaniya-kachestv-naruzhnyh-sten-pri-vozvedenii-i-ekspluatatsii-maloetazhnyh-passivnyh-domov-1> (дата обращения: 28.05.2025).
18. Аверьянов В.К., Байкова С.А., Горшков А.С., Гришкевич А.В., Кочнев А.П., Леонтьев Д.Н., Мележик А.А., Михайлов А.Г., Рымкевич П.П., Тютюнников А.И. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 2-4.
19. Вейнберг В.Б. Оптика в установках для использования солнечной энергии. -М.: Оборонгиз, 1964.-224с.
20. Mills Sonya. Heating by radiation // *Austrial Refrig. Air condit. And Heat*. 1957, V.21, №86, p.46.
21. Hutchinson F.W. The Solar House. Heating and Ventilating. 1947, v.44. March. pp.55-59.
22. Тойлиев К. Теория расчета и пассивные методы регулирования теплового режима солнечных домов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.-Ашхабад, 1987. -5с.
23. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии. М.: Энергоиздат, 1981. -216с.
24. Сабади П.Р. Солнечный дом. -М.: Стройиздат, 1985. -113с.
25. Davies G.M., Sturrock M.C., Benson A.S. Some Results of Measurements in St. George's School Wallasey // *Journ.Inst.HVS*. 1971, v. 39. July. pp.80-84.
26. Байрамов Ф.Б., Ушакова А.Д. Системы солнечного теплохладоснабжения в энергетическом балансе южных районов страны. Ашхабад: Ёлым, 1987. 220с.
27. Экономия энергии при застройке городов: Пер. с англ. / Под ред. Э.В.Сарнацкого. -М.: Стройиздат, 1989. 520с.
28. Патент РФ 2327847, МКИ E068 9/24/ БИ, 2008. №18. -5с.
29. Дусяров А.С., Аvezов Р.Р. Температурный режим помещения с рефлекторной пассивной системой солнечного отопления и аккумулятором тепла // *Гелиотехника*, 2000. №4. С.50-54.
30. Дусяров А.С. Эффективность инсоляционных пассивных систем солнечного отопления с трансформируемым плоским рефлектором излучения и аккумулятором тепла.: Автореф. дис. ... канд.техн.наук. –Ташкент.: ФТИ. 2009. -28с.
31. Avezova N.R., Avezov R.R., Rashidov Yu.K., Samiev K.A. Model-based analysis of nonstationary thermal mode in premises with an insolation passive heating system with a three-layer translucent shield // *Applied Solar Energy*. –USA. 2014. Vol.50, №3. –pp.184-187.
32. IDR Group. Energoeffektivnost' doma. <https://idr-group.ru/energoeffektivnost-doma/>
33. История создания и развития технологии строительства пассивного дома. <http://o-p-i.ru/promyshlennoe-proektirovanie/14-statische-stranitsy/proektirovanie/stati-i-publikatsii/972-istoriya-sozdaniya-passivnogo-doma.html>
34. Seppänen, O., & Punttila, A. (1984). Energy efficient office building. Finland: Ministry of Trade and Industry. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/7808617>



35. Feist, W. (1996). The Passive House: History and Future. *Energy and Buildings*, 23(4), 189–196. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(95\)00919-4](https://doi.org/10.1016/0378-7788(95)00919-4)
36. История и стандарт пассивного дома. <http://e-dim.com.ua/ru/ystoryyya-y-standart-passyvnogo-doma/>
37. Зохидов М.М. Основы проектирование энергоэффективных зданий.: Автореф. дис. доктора техн.наук. –Ташкент.: ТАСИ 2022. -60с.
38. UNDP Uzbekistan. (2022, May 6). Visiting a “Near Zero Energy” House in Nurafshon. United Nations Development Programme. <https://www.undp.org/uzbekistan/press-releases/visiting-near-zero-energy-house-nurafshon>
39. Klingenberg, K. (2019, September 17). Countering a policymaker’s concern regarding passive house. PHIUS. <https://www.phius.org/countering-policymakers-concern-regarding-passive-house>
40. Fitzgerald-Redd, S. (2023, December 8). How 12 standards stack up on performance. Insulation Institute. <https://insulationinstitute.org/how-12-standards-stack-up-on-performance/>
41. Deceuninck. Energy Saving Regulations EnEV 2009 and EnEV 2012. Deceuninck. <https://www.deceuninck.de/en-gb/energy-saving-regulations-09-12/>
42. Filippov, S.P., Dil’man, M.D. & Ionov, M.S. The optimum levels of the thermal protection of residential buildings under climatic conditions of Russia. *Therm. Eng.* 60, 841–851 (2013). <https://doi.org/10.1134/S0040601513110037>
43. International Energy Agency. (2020, July 22). Federal Law No. 261-FZ «On Energy Conservation and Increase of Energy Efficiency». <https://www.iea.org/policies/1749-federal-law-no-261-fz-on-energy-conservation-and-increase-of-energy-efficiency>
44. Regional Energy Efficiency Office. Description of the energy efficiency class plates. <https://fed-energo.ru/index.php/en/description-energy-efficiency-class-plates>
45. Archi Capital. (2025, April 4). New regulations in low-rise construction in Russia. <https://archi.capital/news/135>
46. The World Bank. (2016, August). Uzbekistan: Scaling up energy efficiency in buildings – Short-to-medium-term priorities and recommended actions (Report No. ACS19957). <https://documents1.worldbank.org/curated/en/134491473858224929/txt/ACS19957-ESM-OUO-9-Uzbekistan-Scaling-Up-Energy-Efficiency-in-Buildings-has-been-approved-P152135.txt>
47. Khmelev, O. (2024, October). Project Exit Strategy: Market Transformation for Sustainable Rural Housing in Uzbekistan. United Nations Development Programme (UNDP). https://erc.undp.org/api/download?filePath=%2Fdocuments%2F13021%2Fmgmtresponse%2Fkeyaction%2Fdoc_161826999402618969981.1.RuralHousingProjectExitStrategy.pdf
48. “Energiya tejamkorligi, undan oqilona foydalanish va energiya samaradorligini oshirish to‘g‘risida”gi O‘zbekiston Respublikasining 940-sonli qonuni. (2024, 7-avgust). <https://cis-legislation.com/document.fwx?rgn=161216>
49. Context of renewable energy in Uzbekistan. <https://www.iea.org/reports/solar-energy-policy-in-uzbekistan-a-roadmap/context-of-renewable-energy-in-uzbekistan>
50. SECCA. (2025, April 9). Uzbekistan to establish National Energy Efficiency Agency. <https://secca.eu/uzb-to-establish-national-ee-agency/>

REFERENCES

1. BP. (2021). *Statistical Review of World Energy 2021*. London: British Petroleum. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
2. International Energy Agency (IEA). (2013). *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/transition-to-sustainable-buildings> (accessed 15 September 2020)
3. Schnieders, J., & Hermelink, A. (2006). CEPHEUS results: Measurements and occupants’ satisfaction provide evidence for passive houses being an option for sustainable building. *Energy Policy*, 34(2), 151–171.
4. Passive House Institute. *Passive House Planning Package (PHPP)*. https://passiv.de/en/04_phpp/04_phpp.htm (accessed 01 May 2025)
5. International Energy Agency (IEA). (2015). *Energy technology perspectives 2015*. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2015> (accessed 10 November 2021).
6. Д.О. Советников. Строительство здания, отвечающего стандартам пассивного дома. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. ISSN 2304-6295. 9 (24). 2014. 11-25
7. S. Barber & M. Behm. “History of Passive Solar Energy,” 2012. <https://uncw.edu/csurf/explorations/documents/scottbarber.pdf>.
8. K. Kruzner, K. Cox, B. Machmer, and L. Klotz, “Trends in observable passive solar design strategies for existing homes in the U.S.,” *Energy Policy*, Vol 55, pp 82-94, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.071>.



9. H. Albayyaa, D. Hagare, and S. Saha, "Energy conservation in residential buildings by incorporating Passive Solar and Energy Efficiency Design Strategies and higher thermal mass," *Energy and Buildings*, Vol 182, pp 205-213, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.036>.
10. W. Liu, D. Liu, B. Li, and M. Zheng, "Effect Analysis of a Passive Solar House in Tibet," Vol 608–609, pp. 1790–1794, 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.608-609.1790>
11. P. Wu and B. Hyatt, "Experiential and Project-based Learning in BIM for Sustainable Living with Tiny Solar Houses," *Procedia Engineering*, Vol 145, pp. 579-586, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.047>.
12. Голикова А.А., Нагаева З.С. Пассивный Дом (ЭКОДОМ) / Строительство и техногенная безопасность №14(66) – 2019.
13. Горшков А.С., Дерунов Д.В., Завгородний В.В. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии (2013) Строительство уникальных зданий и сооружений. № 3, (8). С 12-23.
14. Горшков А.С., Ватин Н.И., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте (2013) Строительство уникальных зданий и сооружений. № 3, (8). С 1-11
15. Бродач М. М., Ливчак В.И. (2011). Здание с близким к нулевому энергетическому балансу. АВОК, (5), 4–11. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4973 (accessed 07 April 2019)
16. Шойхет Б.М. Концепция энергоэффективного здания. Европейский опыт (2007) Энергосбережение. Vol. 7. Рр. 62-65.
17. Смоляго Г.А., Дронова А.В. Возможности совершенствования качеств наружных стен при возведении и эксплуатации малоэтажных «Пассивных» домов // Вестник БГТУ. 2011. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-sovershenstvovaniya-kachestv-naruzhnyh-sten-pri-vozvedenii-i-ekspluatatsii-maloetazhnyh-passivnyh-domov-1> (accessed 28 May 2025).
18. Аверьянов В.К., Байкова С.А., Горшков А.С., Гришкевич А.В., Кочнев А.П., Леонтьев Д.Н., Мележик А.А., Михайлов А.Г., Рымкевич П.П., Тютюнников А.И. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 2-4.
19. Вейнберг В.Б. Оптика в установках для использования солнечной энергии. -М.: Оборонгиз, 1964.-224с.
20. Mills Sonya. Heating by radiation // *Austrial Refrig. Air condit. And Heat*. 1957, V.21, №86, p.46.
21. Hutchinson F.W. The Solar House. Heating and Ventilating. 1947, v.44. March. pp.55-59.
22. Тойлиев К. Теория расчета и пассивные методы регулирования теплового режима солнечных домов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.-Ашхабад, 1987. -5с.
23. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии. М.: Энергоиздат, 1981. -216с.
24. Сабади П.Р. Солнечный дом. -М.: Стройиздат, 1985. -113с.
25. Davies G.M., Sturrock M.C., Benson A.S. Some Results of Measurements in St. George's School Wallasay// *Journ.Inst.HVS*. 1971, v. 39. July. pp.80-84.
26. Байрамов Ф.Б., Ушакова А.Д. Системы солнечного теплохладоснабжения в энергетическом балансе южных районов страны. Ашхабад: Блым, 1987. 220с.
27. Экономия энергии при застройке городов: Пер. с англ. / Под ред. Э.В.Сарнацкого. -М.: Стройиздат, 1989. 520с.
28. Патент РФ 2327847, МКИ E068 9/24/ БИ, 2008. №18. -5с.
29. Дусяров А.С., Аvezов Р.Р. Температурный режим помещения с рефлекторной пассивной системой солнечного отопления и аккумулятором тепла // *Гелиотехника*, 2000. №4. С.50-54.
30. Дусяров А.С. Эффективность инсоляционных пассивных систем солнечного отопления с трансформируемым плоским рефлектором излучения и аккумулятором тепла.: Автореф. дис. ... канд.техн.наук. –Ташкент.: ФТИ. 2009. -28с.
31. Avezova N.R., Avezov R.R., Rashidov Yu.K., Samiev K.A. Model-based analysis of nonstationary thermal mode in premises with an insulation passive heating system with a three-layer translucent shield // *Applied Solar Energy*. –USA. 2014. Vol.50, №3. –pp.184-187.
32. IDR Group. Energoeffektivnost' doma. <https://idr-group.ru/energoeffektivnost-doma/> (accessed 01 July 2025)
33. История создания и развития технологии строительства пассивного дома. <http://o-p-i.ru/promyshlennoe-proektirovanie/14-staticheskije-stranitsy/proektirovanie/stati-i-publikatsii/972-istoriya-sozdaniya-passivnogo-doma.html> (accessed 06 May 2019)
34. Seppänen, O., & Punttila, A. (1984). Energy efficient office building. Finland: Ministry of Trade and Industry. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/7808617> (accessed 02 May 2020)
35. Feist, W. (1996). The Passive House: History and Future. *Energy and Buildings*, 23(4), 189–196. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(95\)00919-4](https://doi.org/10.1016/0378-7788(95)00919-4) (accessed 11 December 2022)



36. История и стандарт пассивного дома. <http://e-dim.com.ua/ru/ystoryyya-y-standart-passyvnogo-doma/> (accessed 13 June 2020)
37. Зохидов М.М. Основы проектирование энергоэффективных зданий.: Автореф. дис. доктора техн.наук. –Ташкент.: ТАСИ 2022. -60с.
38. UNDP Uzbekistan. (2022, May 6). Visiting a “Near Zero Energy” House in Nurafshon. United Nations Development Programme. <https://www.undp.org/uzbekistan/press-releases/visiting-near-zero-energy-house-nurafshon> (accessed 11 May 2022)
39. Klingenberg, K. (2019, September 17). Countering a policymaker’s concern regarding passive house. PHIUS. <https://www.phius.org/countering-policymakers-concern-regarding-passive-house> (accessed 14 January 2021)
40. Fitzgerald-Redd, S. (2023, December 8). How 12 standards stack up on performance. Insulation Institute. <https://insulationinstitute.org/how-12-standards-stack-up-on-performance/> (accessed 01 May 2025)
41. Deceuninck. Energy Saving Regulations EnEV 2009 and EnEV 2012. Deceuninck. <https://www.deceuninck.de/en-gb/energy-saving-regulations-09-12/> (accessed 10 March 2012)
42. Filippov, S.P., Dil’man, M.D. & Ionov, M.S. The optimum levels of the thermal protection of residential buildings under climatic conditions of Russia. *Therm. Eng.* 60, 841–851 (2013). <https://doi.org/10.1134/S0040601513110037>
43. International Energy Agency. (2020, July 22). Federal Law No. 261-FZ «On Energy Conservation and Increase of Energy Efficiency». <https://www.iea.org/policies/1749-federal-law-no-261-fz-on-energy-conservation-and-increase-of-energy-efficiency> (accessed 01 May 2025)
44. Regional Energy Efficiency Office. Description of the energy efficiency class plates. <https://fed-energo.ru/index.php/en/description-energy-efficiency-class-plates>
45. Archi Capital. (2025, April 4). New regulations in low-rise construction in Russia. <https://archi.capital/news/135>
46. The World Bank. (2016, August). Uzbekistan: Scaling up energy efficiency in buildings – Short-to-medium-term priorities and recommended actions (Report No. ACS19957). <https://documents1.worldbank.org/curated/en/134491473858224929/txt/ACS19957-ESM-OUO-9-Uzbekistan-Scaling-Up-Energy-Efficiency-in-Buildings-has-been-approved-P152135.txt>
47. Khmelev, O. (2024, October). Project Exit Strategy: Market Transformation for Sustainable Rural Housing in Uzbekistan. United Nations Development Programme (UNDP). https://erc.undp.org/api/download?filePath=%2Fdocuments%2F13021%2Fmgmtresponse%2Fkeyaction%2Fdoc_161826999402618969981.1.RuralHousingProjectExitStrategy.pdf
48. “Energiya tejamkorligi, undan oqilona foydalanish va energiya samaradorligini oshirish to‘g‘risida”gi O‘zbekiston Respublikasining 940-sonli qonuni. (2024, 7-avgust). <https://cis-legislation.com/document.fwx?rgn=161216> (accessed 17 August 2024)
49. Context of renewable energy in Uzbekistan. <https://www.iea.org/reports/solar-energy-policy-in-uzbekistan-a-roadmap/context-of-renewable-energy-in-uzbekistan> (accessed 20 May 2024)
50. SECCA. (2025, April 9). Uzbekistan to establish National Energy Efficiency Agency. <https://secca.eu/uzb-to-establish-national-ee-agency/>. (accessed 15 September 2023).