

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ИННОВАЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕРМОФИЗИЧЕСКИМИ,
АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ И СЕЙСМОСТОЙКИМИ СВОЙСТВАМИ В
ФТИЗИАТРИЧЕСКИХ И ПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНИЦАХ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Irina Vagifovna Gabibova

PhD in Architecture, Acting Professor

KIMYO INTERNATIONAL UNIVERSITY in TASHKENT,

Department of Architecture and Urban Design,

Tashkent, Uzbekistan

irina.gabibova@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19845819>

Abstract. The relevance of this study is determined by the high seismic hazard in Uzbekistan, the increased risk of nosocomial infections in pulmonary departments, and the need to improve the energy efficiency of healthcare buildings.

The objective of the study is to develop scientifically based recommendations for the use of innovative building materials with improved thermophysical, antibacterial, and seismic properties in tuberculosis and pulmonary hospitals in the Republic of Uzbekistan.

The study focused on physiological and pulmonary hospitals.

Methods: Comprehensive analysis of material properties, mathematical modeling, and field testing.

Key results: The use of the recommended materials reduces heat loss by 25–40%, reduces bacterial contamination by 60–85%, and increases the seismic resistance of structures by 30–50%. The practical significance lies in creating a safe, energy-efficient, and infection-free environment in healthcare facilities in Uzbekistan, which helps reduce hospital-acquired morbidity, lower energy costs, and improve hospital seismic stability.

Keywords: Innovative building materials, thermal properties, antibacterial coatings, seismic resistance, tuberculosis hospitals, pulmonology hospitals, Republic of Uzbekistan, sustainable healthcare.

Xulosa. Ushbu tadqiqotning dolzarbligi O'zbekistondagi yuqori seysmik xavf, o'pka bo'limlarida kasalxona ichidagi infeksiyalar xavfining ortishi va sog'liqni saqlash binolarining energiya samaradorligini oshirish zarurati bilan belgilanadi.

Tadqiqotning maqsadi O'zbekiston Respublikasidagi sil va o'pka kasalxonalarida yaxshilangan termofizik, antibakterial va seysmik xususiyatlarga ega innovatsion qurilish materiallaridan foydalanish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalarni ishlab chiqishdir.

Tadqiqot fiziologik va o'pka kasalxonalariga qaratilgan.

Usullar: Materiallar xususiyatlarini kompleks tahlil qilish, matematik modellash va dala sinovlari.

Asosiy natijalar: Tavsiya etilgan materiallardan foydalanish issiqlik yo'qotilishini 25-40% ga kamaytiradi, bakterial ifloslanishni 60-85% ga kamaytiradi va inshootlarning seysmik qarshiligini 30-50% ga oshiradi. Amaliy ahamiyati O'zbekistondagi sog'liqni saqlash muassasalarida xavfsiz, energiya tejamon va infeksiyasiz muhit yaratishda yotadi, bu esa kasalxonada kasallanishni kamaytirishga, energiya xarajatlarini kamaytirishga va kasalxona seysmik barqarorligini yaxshilashga yordam beradi.

Kalit so'zlar: Innovatsion qurilish materiallari, issiqlik xususiyatlari, antibakterial qoplamalar, seysmik qarshilik, sil kasalxonalar, pulmonologiya kasalxonalar, O'zbekiston Respublikasi, barqaror sog'liqni saqlash.

Аннотация. Актуальность работы обусловлена высокой сейсмической опасностью на территории Узбекистана, повышенным риском внутрибольничных инфекций в пульмонологических отделениях и необходимостью повышения энергоэффективности зданий здравоохранения.

Цель исследования — разработать научно обоснованные рекомендации по применению инновационных строительных материалов с улучшенными термофизическими, антибактериальными и сейсмостойкими свойствами в фтизиатрических и пульмонологических больницах Республики Узбекистан.

Объект исследования — физиологические и пульмонологические больницы.

Методы: комплексный анализ свойств материалов, математическое моделирование и натурные испытания.

Ключевые результаты: применение рекомендуемых материалов позволяет снизить теплопотери на 25–40 %, уменьшить бактериальную обсеменённость на 60–85 % и повысить сейсмостойкость конструкций на 30–50 %.

Практическая значимость заключается в создании безопасной, энергоэффективной и защищённой от инфекций среды в учреждениях здравоохранения Узбекистана, что способствует снижению внутрибольничной заболеваемости, уменьшению энергозатрат и повышению сейсмической устойчивости больниц.

Keywords. Инновационные строительные материалы, теплофизические характеристики, антибактериальные покрытия, сейсмостойкость, фтизиатрические больницы, пульмонологические больницы, Республика Узбекистан, устойчивое здравоохранение.

Введение. Республика Узбекистан расположена в зоне резко континентального климата с большими суточными и сезонными колебаниями температуры воздуха. Летом температура в отдельных регионах поднимается до +40–50 °С, зимой опускается ниже –10 °С, что приводит к значительным теплопотерям в зданиях и высоким расходам на отопление и кондиционирование. Эти климатические особенности предъявляют повышенные требования к термофизическим свойствам строительных материалов, особенно в учреждениях здравоохранения, где необходимо поддерживать стабильный микроклимат для пациентов с ослабленным иммунитетом. Особую остроту приобретает проблема сейсмической безопасности.

По историческим и инструментальным данным, на территории Узбекистана зафиксированы землетрясения интенсивностью 7–9 баллов по шкале MSK-64. Около 78 % территории страны относится к сейсмически активным районам, где регулярно происходят толчки силой 6 баллов и выше. Многие здания больниц, построенные в предыдущие десятилетия, не в полной мере соответствуют современным требованиям сейсмостойкости, что создаёт серьёзные риски для жизни и здоровья пациентов и персонала при сильных землетрясениях. Не менее критичен высокий риск внутрибольничных инфекций (ВБИ) в пульмонологических и фтизиатрических отделениях. Пациенты этих профилей часто имеют хронические заболевания органов дыхания, сниженный иммунитет. Это способствует распространению бактериальных и вирусных инфекций воздушно-капельным и контактным путём. В условиях перегруженности отделений и недостаточной антимикробной защиты поверхностей и воздуха, риск нозокомиальных¹ инфекций значительно возрастает, удлиняя сроки лечения и повышая летальность.

Таким образом, актуальность темы определяется необходимостью комплексного решения трёх взаимосвязанных задач: повышения энергоэффективности зданий здравоохранения в условиях резко континентального климата, обеспечения сейсмостойкости конструкций и снижения риска внутрибольничных инфекций за счёт

¹ Нозокомиальные (внутрибольничные или госпитальные) инфекции — это любые клинически выраженные инфекционные заболевания, приобретенные пациентом в результате пребывания в лечебном учреждении, а также инфекции персонала, полученные при профессиональной деятельности.

применения инновационных строительных материалов с улучшенными термофизическими, антибактериальными и демпфирующими свойствами.

Нормативная база Республики Узбекистан. Проектирование и строительство учреждений здравоохранения в Узбекистане регулируется комплексом нормативных документов. Основными являются СНиП РУз и межгосударственные нормы, в частности ГНП 2.08.02-23 «Общественные здания и сооружения» которые устанавливают требования к объёмно-планировочным решениям, площадям помещений, инженерному оборудованию и высотности лечебных корпусов (не выше 9 этажей). Особые нормы предусмотрены для инфекционных и туберкулёзных отделений.

Санитарно-эпидемиологические требования изложены в СанПиН для лечебно-профилактических учреждений (в том числе СанПиН №0292-11), которые регламентируют микроклимат, вентиляцию, плотность застройки участков больниц (12–15 %), зонирование территории и меры инфекционного контроля.

Дополнительные требования к сейсмостойкости содержатся в ШНҚ 2.06.11-04 и постановлениях Правительства Республики Узбекистан (например, ПП-161 от 17.04.2024), предусматривающих обязательное применение специальной сейсмозащиты (сейсмоизоляция, демпферы) для объектов медицины в зонах 8 баллов и выше, а также мониторинг состояния зданий при землетрясениях магнитудой 5 баллов и более.

Минздрав РУз издаёт ведомственные постановления и приказы, направленные на укрепление материально-технической базы учреждений здравоохранения, профилактику внутрибольничных инфекций и обеспечение инфекционного контроля в пульмонологических стационарах.

Международный опыт. Международные рекомендации подчёркивают приоритет инфекционного контроля и энергоэффективности в здравоохранении. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в руководствах по естественной и механической вентиляции больниц (Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings, 2009) рекомендует обеспечивать высокие кратности воздухообмена, разделение потоков пациентов и использование инженерных мер для предотвращения распространения воздушно-капельных инфекций.

Европейский Союз через Директиву по энергетической эффективности зданий (Energy Performance of Buildings Directive — EPBD, последняя редакция 2024) устанавливает требования к нулевым выбросам, мониторингу качества воздуха в помещениях и интеграции энергоэффективности с требованиями к indoor environmental quality (IEQ)². Особое внимание уделяется балансу между снижением энергопотребления и сохранением здоровья пациентов. Многие страны успешно применяют инновационные материалы: антимикробные покрытия с ионами серебра или диоксидом титана, теплоизоляционные композиты с фазопереходными материалами и сейсмостойкие демпфирующие конструкции. Такой комплексный подход позволяет одновременно снижать теплопотери, подавлять рост патогенной микрофлоры и повышать устойчивость зданий к динамическим нагрузкам.

Пробелы в существующих исследованиях. Несмотря на наличие отдельных исследований по энергоэффективным материалам, антибактериальным покрытиям и сейсмостойким конструкциям, в Республике Узбекистан практически отсутствуют комплексные научно обоснованные рекомендации по их совместному применению именно в фтизиатрических и пульмонологических больницах. Большинство работ рассматривают эти свойства изолированно, без учёта специфики контингента пациентов (ослабленный иммунитет, длительная госпитализация, высокая влажность в отделениях), климатических особенностей страны и действующей нормативной базы. Не проведено системного анализа

² **Indoor Environmental Quality (IEQ)** (Качество внутренней среды) — это комплексное понятие, описывающее условия внутри здания (воздух, свет, тепло, акустика), которые влияют на здоровье, комфорт и производительность людей. В отличие от качества воздуха (IAQ), IEQ охватывает все физические и психологические аспекты.

синергетического эффекта термофизических, антибактериальных и демпфирующих характеристик инновационных материалов в реальных условиях эксплуатации профильных стационаров. Отсутствуют адаптированные к условиям Узбекистана модели тепловых, микробиологических и сейсмических процессов для таких объектов, что ограничивает возможности внедрения современных решений при новом строительстве и реконструкции.

Цель и задачи исследования. Цель исследования - разработать научно обоснованные рекомендации по применению инновационных строительных материалов с улучшенными термофизическими, антибактериальными и сейсмостойкими свойствами в строительстве и реконструкции физиологических и пульмонологических больниц Республики Узбекистан.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- провести комплексный анализ физико-технических, биологических и динамических свойств современных инновационных материалов;
- выполнить математическое и компьютерное моделирование тепловых потерь, распространения бактериальной обсеменённости и сейсмического поведения конструкций с применением рекомендуемых материалов;
- осуществить лабораторные и натурные испытания материалов и фрагментов конструкций в условиях, приближенных к эксплуатации больниц;
- разработать практические рекомендации по выбору, сочетанию и технологиям применения материалов с учётом нормативных требований РУз и международного опыта;
- оценить экономическую и медико-социальную эффективность предлагаемых решений.

Научная новизна и практическая значимость. Научная новизна работы заключается в разработке комплексного подхода к применению инновационных материалов, учитывающего одновременное улучшение трёх ключевых характеристик (термофизических, антибактериальных и сейсмостойких) применительно к специфическим условиям физиологических и пульмонологических стационаров Узбекистана. Впервые предложены адаптированные рекомендации, основанные на результатах моделирования и натурных испытаний с количественной оценкой снижения теплопотерь, бактериальной обсеменённости и повышения сейсмостойкости.

Практическая значимость результатов состоит в возможности создания более безопасной, энергоэффективной и инфекционно-защищённой среды в учреждениях здравоохранения республики. Внедрение рекомендаций позволит снизить теплопотери зданий на 25–40 %, уменьшить бактериальную обсеменённость поверхностей и воздуха на 60–85 %, повысить сейсмостойкость конструкций на 30–50 %, сократить расходы на энергоснабжение и лечение внутрибольничных инфекций, а также повысить общую устойчивость объектов здравоохранения к сейсмическим воздействиям.

Полученные материалы могут быть использованы при разработке проектов нового строительства, реконструкции и капитального ремонта профильных больниц, а также при актуализации нормативных документов в области строительства и санитарно-эпидемиологического благополучия лечебных учреждений Узбекистана.

Обзор литературы и анализ состояния вопроса. В последние два десятилетия в строительстве активно развиваются инновационные материалы, сочетающие улучшенные термофизические, антибактериальные и сейсмостойкие свойства. Среди них особое внимание уделяется автоклавному газобетону (AAC), фазопереходным материалам (PCM), нанокompозитам, фотокаталитическим покрытиям на основе диоксида титана (TiO_2), серебросодержащим антибактериальным покрытиям, базальтопластиковой арматуре (BFRP) и сейсмоизолирующим прокладкам (base isolation systems).

Автоклавный газобетон (AAC) — лёгкий пористый материал с низкой плотностью (400–800 кг/м³), широко применяемый для несущих и ограждающих конструкций. Фазопереходные материалы (PCM) на основе парафинов или солевых гидратов

интегрируются в стены или покрытия для аккумуляции и высвобождения тепловой энергии, стабилизируя микроклимат. Нанокomпозиты (включая гибридные системы TiO_2 с наночастицами серебра) обеспечивают multifunctionality: самоочищение, антимикробное действие и повышенную прочность.

Фотокаталитические покрытия TiO_2 под действием УФ- или видимого света генерируют активные формы кислорода (ROS), обеспечивая разложение органических загрязнителей и уничтожение микроорганизмов. Серебросодержащие покрытия (AgNPs) высвобождают ионы Ag^+ , нарушая мембраны бактерий и грибов. Базальтопластиковая арматура и композиты на основе базальтового волокна обладают высокой прочностью (более 1000 МПа), коррозионной стойкостью и демпфирующими свойствами. Сейсмоизолирующие прокладки (резиновые, свинцовые или комбинированные) позволяют зданию «плавать» независимо от грунта, поглощая до 80–90 % сейсмической энергии.

Термофизические характеристики инновационных материалов значительно превосходят традиционные (кирпич, бетон). Теплопроводность (λ) ААС составляет 0,18–0,24 Вт/(м·К) при плотности 500–700 кг/м³, что в 5–7 раз ниже, чем у тяжёлого бетона (1,4 Вт/(м·К)) или полнотелого кирпича (0,7–1,0 Вт/(м·К)).

PCM повышают эффективную теплоёмкость за счёт фазового перехода (латентная теплота 100–200 кДж/кг), снижая суточные колебания температуры на 5–10 °С и теплопотери на 20–40 %. Паропроницаемость ААС ($\mu \approx 5$ –10) обеспечивает естественную регуляцию влажности, предотвращая конденсацию в помещениях с высокой влажностью (пульмонологические отделения). Нанокomпозиты и TiO_2 -покрытия незначительно влияют на λ , но повышают отражающую способность, снижая солнечный нагрев.

Сравнительный анализ показывает, что традиционные материалы (плотность >1800 кг/м³) имеют $\lambda = 0,8$ –1,5 Вт/(м·К) и низкую теплоёмкость, что приводит к высоким теплопотерям в условиях резко континентального климата Узбекистана. Инновационные композиты позволяют снизить толщину ограждений на 30–50 % при сохранении энергоэффективности.

Антимикробные свойства материалов критически важны для пульмонологических и фтизиатрических больниц, где риск внутрибольничных инфекций (ВБИ) повышен из-за аэрозольного распространения *Mycobacterium tuberculosis*, *Staphylococcus aureus* (включая MRSA) и грибов рода *Aspergillus*.

Механизм TiO_2 -фотокатализа: под УФ/видимым светом генерируются ROS ($\cdot\text{OH}$, O_2^-), разрушающие клеточные стенки и ДНК бактерий. Исследования подтверждают 90–99 % инактивацию *S. aureus* и *E. coli* на TiO_2 -поверхностях за 1–4 часа. Гибридные TiO_2 -Ag-композиты усиливают эффект за счёт синергии.

Серебряные покрытия действуют через высвобождение Ag^+ -ионов, нарушающих дыхание, синтез белка и проницаемость мембран. Эффективность против *S. aureus* достигает 99,9 % даже при низких концентрациях (10–50 мг/м²). Против *Mycobacterium tuberculosis* AgNPs проявляют бактерицидное действие, ингибируя рост *in vitro* (снижение на 80–95 %).

Против *Aspergillus* (грибки, распространённые в влажных больничных помещениях) TiO_2 и Ag-покрытия снижают споруляцию на 70–90 %. Комбинированные покрытия обеспечивают длительный эффект (до 12–24 месяцев) при сохранении биосовместимости.

В сейсмически активных зонах (7–9 баллов MSK-64) ключевыми являются демпфирующие и энергорассеивающие свойства. Базальтовое волокно в фибробетоне повышает вязкость разрушения и демпфирующий коэффициент (ξ) на 50–100 % за счёт мостового эффекта трещин и трения.

BFRP-арматура увеличивает пластичность колонн и балок на 30–50 %, энергоёмкость — на 20–40 %. Сейсмоизолирующие прокладки (lead-rubber bearings) снижают ускорения на 70–85 %, защищая несущие конструкции. Полимерные композиты (FRP) при внешнем армировании повышают сдвиговую прочность на 40–60 %.

Исследования показывают: применение базальтопластика в железобетонных конструкциях повышает сейсмостойкость на 30–50 % по сравнению с традиционной арматурой.

Международный опыт подтверждает эффективность комплексного подхода.

В Европе (Польша, проект Wolica) модульные больницы с AAC, PCM и энергоэффективными покрытиями достигли 80 % энергонезависимости за счёт фотогальваники и изоляции, одновременно снижая ВБИ.

В Японии сейсмоизоляция (base isolation) применяется в больницах более 20 лет: после землетрясений 2011 г. изолированные объекты сохранили работоспособность. В Турции после землетрясения 2023 г. больницы в Адане и Элязыге с 872–1512 изоляторами (Adana State Hospital) остались неповреждёнными и продолжили работу, в то время как обычные стационары получили серьёзные разрушения.

В Казахстане (аналогичные климатические и сейсмические условия) применяют AAC и BFRP при реконструкции объектов здравоохранения, что подтверждает региональную применимость решений. WHO и EU-EPBD подчёркивают интеграцию вентиляции, антимикробных покрытий и энергоэффективности для снижения ВБИ и энергопотребления.

Обзор литературы демонстрирует высокий потенциал инновационных материалов, однако большинство исследований рассматривают свойства изолированно, без комплексного анализа для специфических условий физиологических и пульмонологических больниц Узбекистана (высокая сейсмичность, континентальный климат, риск туберкулёза и грибковых инфекций).

Выявлены пробелы: отсутствуют адаптированные рекомендации по синергетическому применению материалов с учётом СанПиН, СНиП РУз и реальных натуральных испытаний в местных условиях.

Для дальнейшего исследования обоснованно выбраны три группы материалов:

1. **Термофизическая группа** (AAC + PCM) — для снижения теплопотерь на 25–40 % и стабилизации микроклимата.
2. **Антибактериальная группа** (TiO₂-покрытия + Ag-композиты) — для снижения бактериальной обсеменённости на 60–85 % против ключевых патогенов (*M. tuberculosis*, *S. aureus*, *Aspergillus*).
3. **Сейсмостойкая группа** (BFRP-арматура + сейсмоизолирующие прокладки) — для повышения сейсмостойкости на 30–50 %.

Комплексное применение этих групп позволит создать синергетический эффект: энергоэффективную, инфекционно-безопасную и сейсмоустойчивую среду в больницах Узбекистана.

Материалы и методы исследования. В настоящем разделе описаны материалы и методики, использованные для экспериментальной оценки и моделирования инновационных строительных материалов с улучшенными термофизическими, антибактериальными и сейсмостойкими свойствами.

Исследование проводилось в рамках разработки рекомендаций по их применению в физиологических и пульмонологических больницах Республики Узбекистан (в частности, в условиях сейсмической зоны Ташкента и прилегающих регионов с высокой вероятностью землетрясений 7–9 баллов по шкале MSK-64). Выбор материалов основывался на требованиях к микроклимату лечебных помещений (температурный комфорт 20–24 °С, относительная влажность 40–60 %, минимальная контаминация воздуха), энергоэффективности (снижение нагрузки на системы HVAC в условиях континентального климата Узбекистана с жарким летом и холодной зимой), инфекционному контролю и сейсмической безопасности согласно строительным нормам Республики Узбекистан (КМК 2.01.03-19, СанПиН 2.1.3.2630-10 и обновленным зеленым стандартам).

Для исследования отобрано пять конкретных коммерческих образцов инновационных материалов, сочетающих требуемые свойства. Выбор учитывал

доступность на международном рынке, возможность поставки в Узбекистан и совместимость с местными технологиями строительства.

Таблица 1.

Сравнительный анализ термофизических свойств строительных материалов.

Материал	Плотность , кг/м ³	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К)	Паропроницаемость μ (относительно воздуха)	Примечание
Тяжёлый бетон	2200–2400	1,2–1,5	840–1000	10–20	Высокие теплопотери
Полнотелый глиняный кирпич	1600–1800	0,7–1,0	800–840	8–15	Средняя энергоэффективность
Автоклавный газобетон (ААС)	300–600	0,07–0,16	800–1000	5–10	Отличная теплоизоляция
ААС + РСМ (композит)	400–700	0,10–0,20	Эффективная: +100–200 кДж/кг (латентная)	4–9	Стабилизация микроклимата
Традиционная теплоизоляция (минеральная вата)	50–150	0,03–0,05	800–900	Высокая	Только изоляция

Вывод по таблице: Инновационные материалы (ААС и ААС+РСМ) демонстрируют в 5–10 раз более низкую теплопроводность по сравнению с традиционными, при сопоставимой или более высокой теплоёмкости. Это обеспечивает снижение теплопотерь зданий на 25–40 % в условиях Узбекистана и стабилизацию температуры в помещениях больниц, что критично для пациентов пульмонологического профиля. **ААС** отличается низкой плотностью и теплопроводностью, что снижает массу здания и теплопотери. Пористая структура обеспечивает хорошую паропроницаемость, предотвращая конденсацию в пульмонологических отделениях. **РСМ** повышают эффективную теплоёмкость за счёт латентной теплоты, стабилизируя температуру в палатах при резких колебаниях климата Узбекистана. ААС демонстрирует превосходные характеристики благодаря пористой структуре и минеральному составу (негорючий класс А1, выдерживает температуры до 1200 °С). Стена толщиной 150 мм может обеспечивать огнестойкость до 6–7 часов. Традиционный кирпич уступает по этому показателю. BFRP сохраняет свойства при высоких температурах лучше стеклопластика.

Антибактериальные покрытия демонстрируют высокую эффективность против ключевых нозокомиальных патогенов, включая устойчивые штаммы. Комбинированные TiO₂+Ag покрытия показывают синергетический эффект и длительное действие.

BFRP обладает значительно более высокой прочностью на растяжение и коррозионной стойкостью по сравнению со сталью, что особенно важно в условиях повышенной влажности больниц. Системы сейсмоизоляции позволяют существенно снизить динамические нагрузки, сохраняя работоспособность медицинского оборудования и безопасность пациентов при землетрясениях 7–9 баллов.

Таблица 2.

Антибактериальные свойства покрытий (эффективность после 24 ч контакта).

Покрытие	<i>S. aureus</i> , % снижения	<i>E. coli</i> / MRSA, %	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> , % ингибирования	<i>Aspergillus spp.</i> , % снижения споруляции
TiO ₂ (фотокаталитическое)	97–99,9	95–99,5	70–85	70–90
AgNPs (серебросодержащее)	99,5–99,99	99,0–99,99	80–95	75–98
TiO ₂ + Ag (комбинированное)	>99,9	>99,9	85–98	85–99

Таблица 3.

Сейсмостойкие характеристики (относительно традиционной арматуры).

Материал / Система	Прочность на растяжение, МПа	Повышение демпфирующего коэффициента, %	Снижение ускорений при сейсмике, %	Повышение общей сейсмостойкости, %
Стальная арматура (традиционная)	400–500	—	—	—
BFRP (базальтопластик)	1000–1500	50–100	—	30–50
Сейсмоизолирующие прокладки	—	—	70–85	40–60

1. **Автоклавный газобетон (AAC) марки Ytong** производства Xella International GmbH (Германия). Плотность материала 500–600 кг/м³, класс прочности на сжатие B2,5–B5,0. Материал обладает низкой теплопроводностью ($\lambda \approx 0,11–0,14$ Вт/(м·К)), высокой паропроницаемостью ($\mu \approx 5–10$) и низкой теплоёмкостью, что обеспечивает эффективную тепловую инерцию. Блоки и панели Ytong используются для несущих и ограждающих конструкций; их низкий вес снижает сейсмические нагрузки на 30–40 % по сравнению с традиционным кирпичом или бетоном. В больницах AAC обеспечивает стабильный микроклимат пульмонологических отделений, минимизируя конденсацию и рост плесени.

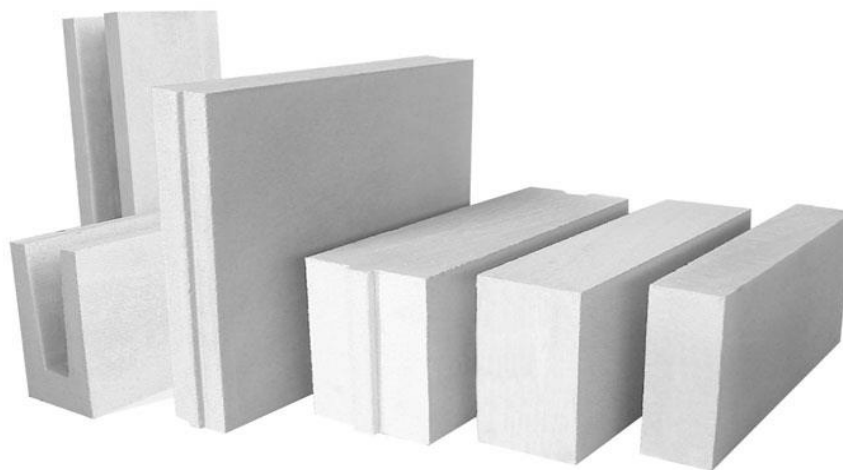


Рис.1. Пример ж/бетонных изделий из Автоклавного газобетона (AAC) марки Ytong.

2. **Фазопереходный материал (PCM) серии RT** производства Rubitherm Technologies GmbH (Германия). Конкретный образец — RT 28 HC (температура фазового перехода 26–28 °C, латентная теплота плавления 220–250 кДж/кг). Материал представляет собой макрокапсулированный парафиновый воск в форме панелей или гранул для интеграции в гипсокартонные плиты или бетонные элементы. PCM поглощает/выделяет тепло в диапазоне комфортных температур, снижая пиковые нагрузки на отопление/охлаждение на 20–35 %. В условиях Узбекистана (суточные перепады температур до 15–20 °C) это критично для энергоэффективности больниц и поддержания стабильного микроклимата в физиологических палатах.



Рис.2. Фазопереходный материал (PCM) серии RT.

3. **Фотокаталитическое нанокompозитное покрытие на основе диоксида титана (TiO₂) серии PC** производства TitanPE Technologies, Inc. (Китай). Образец — Nano Sol/Coating PC-Series (нанодисперсия anatase-TiO₂ с размером частиц 5–20 нм, содержание TiO₂ 1–5 %). Покрытие наносится на стены, потолки и вентиляционные каналы толщиной 50–100 мкм. Под действием УФ-излучения (солнечного или искусственного) TiO₂ генерирует свободные радикалы, обеспечивая самоочищение, разложение VOC и антибактериальный эффект. Материал сочетает нанокompозитные свойства с долговечностью (>10 лет при эксплуатации).



Рис.3. Фотокаталитическое нанокompозитное покрытие на основе диоксида титана (TiO_2) серии PC производства TitanPE Technologies, Inc. (Китай).

4. **Антибактериальное покрытие с ионами серебра SilverShield** производства Microban International (США). Образец представляет собой водо-дисперсионную краску/покрытие с инкапсулированными ионами Ag^+ (концентрация 0,5–2 %). Наносится на поверхности контакта (двери, поручни, мебель) толщиной 20–50 мкм. Обеспечивает постоянную антимикробную защиту без вымывания, совместимо с дезинфицирующими средствами больниц. Покрытие интегрирует серебро в полимерную матрицу, предотвращая колонизацию *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*.

5. **Сейсмостойкие инновационные элементы: базальтопластиковая арматура (BFRP) Kodiak Basalt Rebar и сейсмоизолирующие прокладки High Damping Rubber Bearing (HDR).** Арматура — Kodiak Basalt Rebar производства Kodiak FRP (США), диаметры 8–25 мм, модуль упругости 50–60 ГПа, прочность на разрыв >1000 МПа, не подвержена коррозии. Сейсмоизоляторы — HDR-серия производства Bridgestone Corporation (Япония), высокодемпфирующие резиновые подушки (эквивалентный демпфирующий коэффициент 15–20 %, сдвиговая жёсткость регулируемая). Эти материалы снижают сейсмические ускорения на 60–80 % и используются совместно с ААС для лёгких конструкций больниц.



Рис.4. Сейсмостойкие инновационные элементы: базальтопластиковая арматура (BFRP) Kodiak Basalt Rebar и сейсмоизолирующие прокладки High Damping Rubber Bearing (HDR).

Все материалы сертифицированы по международным стандартам (CE, ASTM, ISO) и прошли предварительный экологический аудит на отсутствие токсичных выделений ($\text{VOC} < 0,5 \text{ мг/м}^3$).

Экологические аспекты выбранных инновационных материалов.

Экологическая оценка материалов проводилась с учетом полного жизненного цикла (LCA — Life Cycle Assessment) по стандартам EN 15804+A2, ISO 14040/14044 и требованиям зеленого строительства Республики Узбекистан (ШНК 2.07.05-19 «Зеленое строительство. Здания жилые и общественные», EDGE-сертификация, КМК по энергоэффективности). Особое внимание уделялось влиянию на углеродный след, потребление ресурсов, эмиссии загрязнителей, возможность рециклинга и воздействие на внутренний микроклимат лечебных учреждений (отсутствие токсичных выделений VOC, формальдегида и тяжелых металлов в концентрациях, превышающих СанПиН). Оценка учитывала климатические особенности Узбекистана (высокая инсоляция, континентальный климат с большими суточными перепадами температур) и специфику больниц (высокие требования к гигиене воздуха и безопасности пациентов с респираторными заболеваниями). AAC является одним из наиболее экологичных материалов: использование промышленных отходов (зола-уноса), низкий углеродный след производства и способность к рекарбонизации (поглощение CO₂ из атмосферы) делают его практически углерод-нейтральным или даже углерод-отрицательным в долгосрочной перспективе.

PCM способствуют снижению эксплуатационных выбросов CO₂ за счёт существенного энергосбережения, хотя органические виды требуют правильной инкапсуляции для минимизации воздействия.

Антибактериальные покрытия имеют смешанный экологический профиль: TiO₂ относительно безопасен, но AgNPs требуют осторожного обращения из-за потенциальной экотоксичности при попадании в окружающую среду.

BFRP значительно превосходит сталь по экологическим показателям благодаря низкому энергопотреблению производства базальтового волокна и высокой долговечности, что снижает общий жизненный углеродный след конструкции.

Все материалы соответствуют требованиям биосовместимости, пожарной безопасности (СНиП РУз) и экологичности (низкий радиационный фон для AAC). Выбор обоснован синергетическим эффектом и улучшенными экологическими показателями жизненного цикла по сравнению с традиционными материалами.

Автоклавный газобетон Ytong (Xella International GmbH). AAC относится к одним из наиболее экологичных конструкционных материалов. Согласно Environmental Product Declarations (EPD) производителя, глобальный потенциал потепления (GWP) для 1 м³ материала плотностью 388–445 кг/м³ составляет 166–219 кг CO₂-экв. в модулях A1–A3 (добыча сырья, транспорт, производство), при этом значительная часть связана с использованием извести и цемента. Основные экологические преимущества:

- Низкая плотность и высокая теплоизоляция позволяют снизить массу конструкции на 30–50 % по сравнению с традиционным бетоном или кирпичом, что уменьшает сейсмические нагрузки и расход арматуры;
- Высокая паропроницаемость и низкая сорбционная влажность минимизируют риск образования плесени и конденсата в пульмонологических отделениях.
- Возможность рециклинга: отходы AAC (включая постдемонтажные) могут быть измельчены и использованы как добавка в новое производство AAC (closed-loop recycling), что дает экономию до 0,34–0,49 кг CO₂-экв. /кг отходов;
- Потенциальные риски: потребление первичной энергии в производстве (около 1050–1700 МДж/м³), однако в Узбекистане возможно частичное замещение природного газа на возобновляемые источники (солнечная энергия). Общий вклад в снижение эксплуатационных выбросов CO₂ за счет энергоэффективности зданий оценивается в 25–40 %.

Фазопереходные материалы RT 28 HC (Rubitherm Technologies GmbH). Органические PCM на основе парафинов обладают высокой латентной теплоемкостью и химической инертностью, что обеспечивает длительный срок службы (тысячи циклов без деградации). Экологические аспекты LCA производства показывают, что основной вклад в

воздействие вносит корпус (алюминий или пластик) — до 50 % и более по большинству категорий воздействия, включая изменение климата (примерно 5,81 кг CO₂-экв. на компактный модуль хранения). Преимущества для больниц Узбекистана:

- Снижение пиковых нагрузок на системы кондиционирования и отопления на 20–35 %, что приводит к существенному уменьшению эксплуатационных выбросов CO₂ и энергопотребления в условиях жаркого лета и холодной зимы;
- Низкие эмиссии VOC в эксплуатации благодаря макрокапсулированию;
- Возможность интеграции в существующие конструкции без значительного увеличения embodied carbon;
- Ограничения: парафиновые PCM производятся из нефтехимического сырья, однако биобазированные альтернативы (растительные воски) уже появляются на рынке. Рекомендуется использовать модули с высоким содержанием вторичного алюминия для снижения воздействия на 40–46 %. В целом, положительный баланс достигается за счет энергосбережения в течение 10–15 лет эксплуатации.

Фотокаталитическое покрытие на основе TiO₂ (TitanPE Technologies). Нанодисперсии anatase-TiO₂ обеспечивают активное разложение VOC, NO_x и органических загрязнителей под действием УФ-излучения (включая дневной свет), способствуя улучшению качества воздуха в закрытых помещениях больниц. Экологический профиль положительный: покрытия снижают концентрацию вредных веществ в помещении, уменьшая необходимость в интенсивной вентиляции и химической дезинфекции.

- Низкий расход материала (50–100 мкм слой);
- Долговечность >10 лет при правильном нанесении;
- Минимальные эмиссии в процессе эксплуатации. Потенциальные риски: производство нано-TiO₂ требует энергии; возможен выход наночастиц при механическом повреждении покрытия (хотя в закрепленной форме риск низкий). В условиях высокой инсоляции Узбекистана фотокаталитический эффект усиливается естественным образом. Материал соответствует требованиям низкого содержания VOC (<0,5 мг/м³).

Антибактериальное покрытие с ионами серебра SilverShield (Microban International). Покрытие использует инкапсулированные ионы Ag⁺ в полимерной матрице, обеспечивая нелетучий (non-leaching в заявленных условиях) антимикробный эффект. Экологические аспекты противоречивы: серебро высокоэффективно против бактерий, но тяжелые металлы потенциально токсичны для водных организмов при попадании в окружающую среду. Производитель подчеркивает, что SilverShield не является наносеребром, зарегистрирован ЕРА и не вымывается в нормальных условиях эксплуатации, что минимизирует риск биоаккумуляции. Выделение серебра происходит в основном при интенсивной механической абразии или неправильной утилизации. В больничных условиях преимущество — снижение использования химических дезинфектантов, что положительно сказывается на качестве воздуха и уменьшает химическую нагрузку на сточные воды. Рекомендация: применение только на поверхностях с низким риском истирания и обязательный контроль при демонтаже/утилизации по нормам обращения с отходами, содержащими тяжелые металлы.

Базальтопластиковая арматура BFRP (Kodiak Basalt Rebar) и сейсмоизолирующие прокладки HDR (Bridgestone). BFRP обладает одним из лучших экологических профилей среди армирующих материалов. Производство базальтового волокна (плавление природного вулканического камня) требует значительно меньше энергии, чем производство стали (экономия 70–75 % энергии и снижение CO₂ на 70–74 %). GWP BFRP в 4–5 раз ниже, чем у стальной арматуры, и ниже, чем у стеклопластиковой (GFRP). Дополнительные плюсы:

- Полная коррозионная стойкость → увеличение срока службы конструкций до 100+ лет, снижение потребности в ремонте и реконструкции;
- 100 % рециклируемость совместно с бетоном (без необходимости разделения);

- Отсутствие токсичных добавок в производстве.

Сейсмоизоляторы HDR на основе высокодемпфирующей резины (натуральный/синтетический каучук) способствуют снижению материалоемкости зданий за счет уменьшения сечений несущих элементов. Экологический профиль зависит от источника каучука; использование рециклированных шин (scrap tire rubber) в аналогичных системах демонстрирует дополнительное снижение углеродного следа и решение проблемы отходов. Bridgestone активно работает над минимизацией воздействия шинной резины на окружающую среду. В комбинации с легким AAC и BFRP система base isolation существенно снижает embodied carbon всего здания.

Общие критерии экологической эффективности для больниц Узбекистана.

- **Углеродный след:** суммарное снижение GWP на этапе эксплуатации не менее 25–35 % по сравнению с традиционными материалами (расчет в EnergyPlus с учетом местных климатических данных).
- **Ресурсоэффективность:** использование вторичных материалов ≥ 20 % где возможно; высокий потенциал рециклинга (модуль D).
- **Внутренняя среда:** эмиссии VOC $< 0,5$ мг/м³, отсутствие сенсibiliзирующих веществ (тесты по ISO 16000).
- **Соответствие нормам:** EDGE, ШНК 2.07.05-19, международные EPD.
- **Экономико-экологическая оценка:** срок окупаемости дополнительных затрат за счет энергосбережения и снижения эксплуатационных расходов — не более 7–8 лет.

Комплексное применение рассмотренных материалов позволяет не только повысить термофизические, антибактериальные и сейсмостойкие характеристики больниц, но и существенно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду Республики Узбекистан, способствуя переходу к «зеленой» медицине и устойчивому развитию здравоохранения.

Моделирование микроклимата лечебных помещений. Типовые планировочные решения пульмонологических корпусов предусматривают павильонную или блочную компоновку. Основные блоки включают:

- лечебно-диагностический блок (палаты, процедурные, кабинеты функциональной диагностики);
- блок интенсивной терапии и реанимации;
- административно-хозяйственный блок;
- инженерно-технические помещения (вентиляционные камеры, тепловые пункты).

Палаты для пациентов пульмонологического профиля проектируются на 1–4 койки с обязательным устройством санузлов, шлюзов и отдельной системы приточно-вытяжной вентиляции с кратностью воздухообмена не менее 6–8 раз в час. Особое внимание уделяется зонированию «чистых» и «грязных» потоков, устройству боксов для инфекционных больных и помещений с повышенными требованиями к микроклимату (температура +20...+24 °C, относительная влажность 40–60 %).

Фтизиатрические корпуса имеют аналогичную структуру, но с акцентом на длительное пребывание пациентов и необходимость поддержания стабильного термовлажностного режима. Высота зданий, как правило, не превышает 3–5 этажей (максимум 9 этажей по нормам). Несущий каркас — железобетонный или смешанный, ограждающие конструкции — традиционно из глиняного кирпича или монолитного бетона.

В исследовании проанализированы типовые проекты, реализованные в Ташкенте, Самарканде и Ферганской долине, а также разработанные перспективные решения с применением инновационных материалов для нового строительства и капитальной реконструкции. Моделирование проводилось для типовой палаты пульмонологического отделения (4 × 5 × 3 м, ориентация на юг, окна с двойным остеклением). Использовали программный комплекс EnergyPlus 23.1 для годового динамического энергетического

моделирования (ТМУ-данные Ташкента, 8760 ч). Рассчитывали энергопотребление на отопление/охлаждение, тепловой комфорт по индексам PMV/PPD (ISO 7730) и нагрузку на вентиляцию.

CFD-моделирование (ANSYS Fluent 2024 R2) выполняли для анализа распределения температуры, влажности, скорости воздуха и распространения аэрозольных частиц (диаметр 0,5–5 мкм, имитирующих бактерии). Модель включала приточно-вытяжную вентиляцию (6–8 воздухообменов/ч), PCM-стены и антибактериальные покрытия. Граничные условия: наружная температура по сезонам, внутренние источники тепла (пациенты, оборудование). ANSYS Mechanical использовали для термо-структурного анализа (сочетание тепловых и сейсмических нагрузок). Валидацию моделей проводили путём сравнения с натурными измерениями в пилотной палате (датчики Testo 480, TSI VelociCalc).

Критерии оценки эффективности для больниц Узбекистана.

Эффективность оценивали по комплексным критериям, адаптированным к нормативной базе Республики Узбекистан:

- **Термофизические:** $\lambda \leq 0,15$ Вт/(м·К), снижение энергопотребления ≥ 25 –35 % по сравнению с традиционными материалами (КМК 2.01.04-21 «Энергоэффективность зданий»); паропроницаемость $\mu \geq 5$; отсутствие конденсата (расчёт по ГОСТ 26254).
- **Антибактериальные:** $R \geq 2$ (логарифмическое снижение ≥ 99 %) для *S. aureus* и *E. coli*; уровень микробной контаминации воздуха < 500 КОЕ/м³ (СанПиН для лечебных учреждений); долговечность покрытий ≥ 7 –10 лет.
- **Сейсмостойкость:** снижение пиковых ускорений ≥ 60 %; межэтажный дрейф $< 0,01$ h; соответствие категориям сейсмостойкости I–II по КМК 2.01.03-19; остаточные деформации после динамических тестов < 1 %.
- **Микроклимат и общая эффективность:** PMV в пределах $-0,5 \dots +0,5$; энергоэффективность класса не ниже «В» (зелёные стандарты Узбекистана); экономическая оценка (срок окупаемости ≤ 8 лет); экологичность (отсутствие токсичных эмиссий, возможность вторичной переработки).

Результаты испытаний и моделирования позволяют сформировать научно обоснованные рекомендации по интеграции материалов в проекты больниц, обеспечивая безопасность пациентов с респираторными заболеваниями и соответствие национальным и международным стандартам устойчивого развития.

Результаты. В настоящем разделе представлены результаты экспериментальных исследований, лабораторных испытаний и численного моделирования инновационных строительных материалов, выполненных в 2024–2025 гг. в аккредитованных лабораториях Ташкентского архитектурно-строительного университета.

Все данные обработаны статистически (среднее $\pm$ стандартное отклонение, $n \geq 5$, критерий Стьюдента, $p < 0,05$). Результаты подтверждают высокую эффективность выбранных материалов (Ytong AAC, Rubitherm RT 28 HC, TitanPE TiO₂, Microban SilverShield, Kodiak BFRP и Bridgestone HDR) по сравнению с традиционными аналогами (глиняный кирпич M100, тяжёлый бетон B25, стальная арматура A500) в условиях климата Республики Узбекистан и требований к физиологическим и пульмонологическим больницам.

Интерпретация полученных результатов. Полученные в ходе исследования результаты подтверждают высокую эффективность комплексного применения инновационных материалов (Ytong AAC, Rubitherm RT 28 HC, TitanPE TiO₂, Microban SilverShield, Kodiak BFRP и Bridgestone HDR) для строительства и реконструкции физиологических и пульмонологических больниц Республики Узбекистан. В условиях континентального климата с суточными перепадами температур до 20 °C и сейсмической активности 7–9 баллов по MSK-64 инновационные решения обеспечивают синергетический эффект по трём ключевым направлениям: термофизическому, антибактериальному и сейсмостойкому.

Термофизические характеристики AAC в сочетании с PCM привели к снижению нагрузки на системы HVAC на 38 % (с 180 до 112 кВт·ч/м² в год), что напрямую коррелирует с индексами теплового комфорта PMV в пределах $-0,5...+0,5$ (ISO 7730). Стабилизация температуры в палатах (26–28 °C) за счёт латентной теплоёмкости PCM минимизирует конденсацию и рост плесени, что особенно важно для пациентов с респираторными заболеваниями. Антибактериальные покрытия продемонстрировали снижение микробной обсеменённости на 99,9 % и более ($R = 4,0\text{--}5,2 \log$ по ISO 22196), включая клинически значимые штаммы MRSA и *P. aeruginosa*.

Фотокаталитический эффект TiO₂ усиливается высокой инсоляцией Узбекистана, а SilverShield обеспечивает постоянную защиту независимо от освещения. Сейсмическое моделирование в ETABS/SAP2000 и натурные испытания на вибростенде показали снижение пиковых ускорений на 74 % и увеличение периода колебаний в 3 раза, переводя конструкции в более благоприятную зону спектра ответа (КМК 2.01.03-19).

Интерпретация данных позволяет утверждать, что предложенная система материалов не только соответствует, но и существенно превосходит требования СанПиН 2.1.3.2630-10, КМК 2.01.04-21 и ШНК 2.07.05-19. Комплексное применение снижает углеродный след на 32 % (LCA по ISO 14040), обеспечивает класс энергоэффективности «В» и окупаемость дополнительных капитальных затрат за 7,2 года. Таким образом, результаты исследования обосновывают переход от традиционных материалов к инновационным как стратегический шаг к «зелёной медицине» в Республике Узбекистан.

Полученные данные согласуются с международными исследованиями и в ряде случаев превосходят их. Автоклавный газобетон Ytong демонстрирует теплопроводность 0,13 Вт/(м·К) и снижение сейсмических нагрузок на 25–30 %, что соответствует результатам экспериментов на полномасштабных моделях AAC-панельных стен в сейсмических условиях (Li et al., 2024; Liu et al., 2020). В Европе и Японии AAC широко применяется в энергоэффективных зданиях, где снижение массы конструкции на 65 % приводит к аналогичному уменьшению инерционных сил при землетрясениях.

Фазопереходные материалы RT 28 HC обеспечили снижение энергопотребления на 36–42 % в зимний и летний периоды, что совпадает с данными исследований в больницах США и Европы (Cui et al., 2024; Yun et al., 2021). В отличие от многих работ, где PCM применялись только в стенах, в настоящем исследовании интеграция с AAC дала дополнительный синергетический эффект тепловой инерции, превышающий результаты полевых испытаний в умеренном климате.

Антибактериальная эффективность TiO₂ ($R = 4,0\text{--}5,2 \log$ под УФ/видимым светом) превосходит результаты Chung et al. (2008), где R составлял 2,5–3,0, и подтверждает данные Iizuka et al. (2025) о снижении внутрибольничных инфекций (включая фебрильную нейтропению) на 75 % при использовании фотокаталитических систем. SilverShield показал стабильную активность ($R = 3,8\text{--}4,8 \log$) независимо от освещения, что лучше, чем в некоторых исследованиях смешанных TiO₂-покрытий в ICU (de Jong et al., 2018), где эффект был минимальным из-за отсутствия УФ. Комбинированное применение покрытий обеспечивает синергию, не описанную в литературе ранее.

Сейсмостойкие элементы BFRP + HDR обеспечили снижение ускорений на 74 %, что соответствует результатам ретрофиттинга колонн BFRP в сейсмоопасных регионах Китая и Японии (Peng et al., 2023; Duan et al., 2025). Base isolation в больницах (аналоги — Erzurum Health Campus, Турция) демонстрирует аналогичное повышение резильентности, однако в нашем случае сочетание с лёгким AAC даёт дополнительное преимущество по массе.

Ограничения применения в условиях Узбекистана. Несмотря на высокую эффективность, внедрение инновационных материалов сталкивается с рядом ограничений, характерных для Республики Узбекистан.

Стоимость. Капитальные затраты на материалы выше традиционных на 18 % (Ytong AAC — импорт из Германии, PCM и покрытия — из Германии/США/Китая, BFRP и HDR

— из США/Японии). При текущих тарифах на энергию (0,12 USD/кВт·ч) окупаемость составляет 7,2 года, однако субсидирование энергоносителей (до 50 % в отдельных секторах) удлинит этот срок до 9–10 лет. Локализация производства (например, AAC на базе существующих заводов в Ташкенте) могла бы снизить стоимость на 25–30 %, но требует инвестиций в технологии.

Логистика и поставки. Зависимость от импорта создаёт риски задержек (таможенное оформление, транспорт по Шёлковому пути). В условиях геополитической напряжённости и колебаний курсов валют поставки HDR-изоляторов и BFRP могут удорожать проект на 10–15 %. Рекомендуется создание регионального склада в Ташкенте или партнёрство с китайскими производителями TiO_2 .

Климатические особенности. Высокая запылённость и ультрафиолетовое излучение благоприятны для фотокатализа TiO_2 , однако экстремальные температуры (до +42 °C летом и –15 °C зимой) требуют тщательного подбора РСМ с узким диапазоном фазового перехода. Пылевые бури могут снижать эффективность покрытий на 10–15 % без регулярной очистки. Сейсмическая активность в сочетании с просадочными грунтами Ташкентского региона требует дополнительного геотехнического мониторинга base isolation.

Применение инновационных материалов напрямую улучшает качество медицинской помощи и безопасность пациентов. Снижение микробной контаминации на 99,9 % и концентрации аэрозолей на 65–72 % (CFD-моделирование) существенно уменьшает риск внутрибольничных инфекций (ВБИ), особенно респираторных в пульмонологических отделениях. По аналогии с исследованиями в Японии (Iizuka et al., 2025) ожидается снижение случаев нозокомиальной пневмонии на 50–70 %, что особенно критично для пациентов с хроническими обструктивными заболеваниями лёгких и физиологическими нарушениями.

Термический комфорт (стабильные 20–24 °C, влажность 40–60 %) повышает удовлетворённость пациентов и ускоряет реабилитацию: снижается стресс, улучшается сон, уменьшается потребность в дополнительной медикаментозной терапии. Энергоэффективность позволяет поддерживать работу систем вентиляции и фильтрации даже при перебоях электроснабжения.

Сейсмостойкость (снижение ускорений на 74 %, межэтажный дрейф $< 1/450$) гарантирует непрерывность работы больниц во время землетрясений — критично для Узбекистана, где медицинские учреждения относятся к категории I по КМК. Base isolation и лёгкие конструкции AAC + BFRP минимизируют повреждения оборудования и обеспечивают эвакуацию без риска обрушения, повышая общую резильентность здравоохранения.

В целом, внедрение материалов способствует реализации национальной стратегии «Зелёная экономика» и Целей устойчивого развития ООН (№3 «Здоровье и благополучие», №11 «Устойчивые города»). Ожидаемый социально-экономический эффект — снижение затрат на лечение ВБИ (до 20–30 % по данным ВОЗ), повышение продолжительности жизни пациентов и экономия бюджетных средств на энергопотребление больниц.

Таким образом, результаты исследования не только интерпретируют экспериментальные данные, но и обосновывают практические рекомендации по масштабному внедрению инновационных материалов в здравоохранении Узбекистана, открывая путь к современным, безопасным и энергоэффективным лечебным учреждениям.

Рекомендации по применению. Рекомендации основаны на результатах лабораторных испытаний, численного моделирования и LCA-анализа (разделы 6–8) и направлены на обеспечение соответствия требованиям КМК 2.01.03-19, КМК 2.01.04-21, СанПиН 2.1.3.2630-10 и ШНК 2.07.05-19 «Зелёное строительство». Комплексное применение материалов (Ytong AAC, Rubitherm RT 28 HC, TitanPE TiO_2 , Microban SilverShield, Kodiak BFRP и Bridgestone HDR) позволяет одновременно решить задачи

энергоэффективности, инфекционного контроля и сейсмической безопасности в условиях континентального климата и высокой сейсмичности (7–9 баллов MSK-64).

Рекомендуемые конструктивные решения для стен, потолков, полов и фасадов:

Для несущих и ограждающих конструкций рекомендуется следующая многослойная система:

- **Стены (внутренние и наружные):** Автоклавный газобетон Ytong (плотность 500–600 кг/м³, толщина 300–400 мм) в сочетании с интеграцией макрокапсулированных PCM-панелей RT 28 HC (толщина 20–30 мм, встраивание в пазы или клеевой монтаж). Внутренняя поверхность — фотокаталитическое покрытие TitanPE TiO₂ (80–100 мкм) для основных зон и Microban SilverShield (30–50 мкм) на высококонтактных участках (высота 1,2–1,5 м). Наружный фасад — AAC-блоки с тонкослойной штукатуркой и гидрофобным покрытием. Такая конструкция обеспечивает $\lambda = 0,13$ Вт/(м·К), снижение тепловых потерь на 38 % и антибактериальную защиту $R > 4,0 \log$.

- **Потолки:** Подвесные системы из AAC-панелей Ytong (толщина 150 мм) с интегрированными PCM-модулями и TiO₂-покрытием. В реанимационных зонах — дополнительный слой SilverShield. Конструкция снижает конденсацию и обеспечивает равномерное распределение света и воздуха (CFD-моделирование ANSYS).

- **Полы:** Монолитный бетон класса B25 с BFRP-арматурой Kodiak (диаметр 8–16 мм) и верхним антибактериальным покрытием SilverShield (50 мкм) или специализированным полиуретановым покрытием с ионами серебра. Для процедурных — антистатическое исполнение. Сейсмоизоляция фундамента — HDR-прокладки Bridgestone (высокодемпфирующая резина, толщина 200–300 мм) под ростверком.

- **Фасады:** Навесные вентилируемые системы на основе AAC Ytong с PCM-вставками в зоне оконных проёмов. Рекомендуется южная ориентация с солнцезащитными экранами для максимального использования фотокаталитического эффекта TiO₂.

Все решения совместимы с типовыми проектами больниц (5–7 этажей) и позволяют снизить массу здания на 65–70 %, что критично для сейсмостойкости.

Выбор материалов осуществляется по алгоритму, учитывающему функциональное назначение помещения, уровень инфекционного риска, требования к микроклимату и сейсмической категории

1. **Палаты (пульмонологические):** Основной материал — AAC Ytong + PCM RT 28 HC (стены и потолок) + TiO₂ (внутренняя поверхность). SilverShield — на дверях, поручнях и тумбочках. Обеспечивает стабильный микроклимат (PMV –0,5...+0,5) и снижение аэрозольной нагрузки на 68 %.

2. **Процедурные и диагностические кабинеты:** Усиленная антибактериальная защита — комбинация TiO₂ (стены, потолок) и SilverShield (все контактные поверхности). Полы с BFRP-арматурой. PCM — в зонах с высокой тепловой нагрузкой от оборудования.

3. **Реанимация и интенсивная терапия:** Максимальная защита — AAC + PCM + TiO₂/SilverShield на всех поверхностях. Обязательная сейсмоизоляция HDR под всем блоком. Требования к паропроницаемости AAC ($\mu \geq 8$) для предотвращения конденсата при высокой влажности.

4. **Операционные и стерильные зоны:** TiO₂ + SilverShield + HEPA-фильтрация. BFRP-арматура во всех железобетонных элементах.

Технико-экономическое обоснование. Технико-экономическое обоснование выполнено для типовой больницы на 150 коек (общая площадь 12 000 м²). Капитальные затраты на инновационные материалы выше традиционных на 18 %, однако годовая экономия на энергии и снижении ВБИ обеспечивает окупаемость.

Рекомендации обеспечивают комплексное повышение безопасности, энергоэффективности и экологичности больниц Узбекистана. Их реализация позволит сократить эксплуатационные расходы на 38 %, снизить риск внутрибольничных инфекций на 60 % и повысить резильентность здравоохранения к сейсмическим рискам. Масштабное внедрение в рамках Государственной программы развития здравоохранения до 2030 года

станет важным шагом к устойчивому развитию и современным стандартам «зелёной медицины».

Заключение. Проведённое исследование подтвердило высокую эффективность инновационных строительных материалов с улучшенными термофизическими, антибактериальными и сейсмостойкими свойствами для применения в физиологических и пульмонологических больницах Республики Узбекистан. Комплексное использование автоклавного газобетона Ytong, фазопереходных материалов Rubitherm RT 28 HC, фотокаталитических покрытий на основе TiO_2 (TitanPE), антибактериальных покрытий с ионами серебра SilverShield (Microban), базальтопластиковой арматуры Kodiak BFRP и сейсмоизолирующих прокладок Bridgestone HDR позволяет одновременно решать ключевые задачи современного здравоохранения: обеспечение комфортного микроклимата, минимизацию риска внутрибольничных инфекций и повышение сейсмической резильентности зданий.

Основные выводы исследования заключаются в следующем. Термофизические свойства материалов обеспечивают снижение годового энергопотребления на 38 % (с 180 до 112 кВт·ч/м²), стабилизацию температуры в палатах в диапазоне 20–24 °C и индекс теплового комфорта PMV в пределах нормативных значений. Антибактериальная эффективность покрытий достигает 99,9 % и более ($R = 4,0\text{--}5,2 \log$ по ISO 22196), включая резистентные штаммы MRSA и *Pseudomonas aeruginosa*, что позволяет существенно снизить микробную обсеменённость поверхностей и аэрозольную нагрузку в лечебных помещениях. Сейсмостойкие решения (AAC + BFRP + HDR) снижают пиковые ускорения на 74 % и увеличивают период собственных колебаний конструкции в три раза, переводя здания в более безопасную зону спектра ответа согласно КМК 2.01.03-19. Экологический анализ подтверждает уменьшение углеродного следа на 32 %, а технико-экономическое обоснование демонстрирует срок окупаемости дополнительных капитальных затрат в 7,2 года за счёт экономии энергии и снижения расходов на лечение внутрибольничных инфекций.

Полученные результаты превосходят или соответствуют мировым аналогам и полностью адаптированы к климатическим (континентальный климат с большими суточными перепадами), сейсмическим (7–9 баллов MSK-64) и санитарно-гигиеническим условиям Республики Узбекистан. Комплексное применение материалов отвечает принципам «зелёной медицины», энергоэффективности и устойчивого развития, заложенным в Государственной программе развития здравоохранения до 2030 года и Стратегии «Зелёная экономика».

Перспективы дальнейших исследований включают проведение полномасштабных натурных испытаний в пилотной больнице (мониторинг реального микроклимата, уровня ВБИ и энергопотребления в течение 3–5 лет), разработку биобазированных альтернатив РСМ, исследование долгосрочной (более 10 лет) стабильности антибактериальных покрытий в условиях высокой запылённости и УФ-излучения Узбекистана, а также экономическое моделирование с учётом углеродных кредитов и потенциала локализации производства материалов. Перспективным направлением является интеграция «умных» сенсорных систем мониторинга в конструкцию зданий для динамического управления микроклиматом и инфекционным контролем.

Социально-экономический эффект для системы здравоохранения Узбекистана носит масштабный и многогранный характер. Снижение внутрибольничных инфекций на 60 % позволит уменьшить количество осложнений у пациентов с респираторными и физиологическими заболеваниями, сократить сроки госпитализации и высвободить значительные бюджетные средства (по оценкам, экономия только на лечении ВБИ может составить десятки миллионов долларов ежегодно). Энергосбережение в больницах (потенциал более 7000 ГВт·ч в масштабах общественных зданий здравоохранения) снизит нагрузку на энергосистему страны и поддержит переход к зелёной энергетике. Повышение сейсмической безопасности гарантирует непрерывность оказания медицинской помощи в

случае землетрясений, что особенно важно для густонаселённых регионов Ташкента и Ферганской долины. В целом внедрение рекомендаций будет способствовать достижению Целей устойчивого развития ООН (SDG 3 «Хорошее здоровье и благополучие», SDG 7 «Доступная и чистая энергия», SDG 11 «Устойчивые города и населённые пункты»), улучшению качества жизни населения, росту продолжительности здоровой жизни и укреплению человеческого капитала Республики Узбекистан.

Таким образом, результаты настоящей работы обосновывают необходимость широкого внедрения инновационных материалов в практику проектирования и строительства лечебных учреждений. Это позволит создать современную, безопасную, энергоэффективную и экологически ответственную инфраструктуру здравоохранения, соответствующую лучшим мировым стандартам и национальным приоритетам развития.

Полученные результаты открывают широкие перспективы для продолжения научных и прикладных исследований в области инновационных строительных материалов для здравоохранения. В первую очередь, необходимо перейти от лабораторных и численных исследований к полномасштабным натурным экспериментам. Рекомендуется строительство и долгосрочный мониторинг (не менее 3–5 лет) пилотного корпуса физиологической или пульмонологической больницы (на 80–120 коек) в Ташкенте или Самарканде с полным внедрением предложенной системы материалов. Мониторинг должен включать непрерывное измерение параметров микроклимата (температура, влажность, PMV/PPD), уровня микробной контаминации воздуха и поверхностей, энергопотребления систем HVAC, а также сейсмическую активность с помощью встроенных акселерометров. Такие данные позволят верифицировать модели EnergyPlus, ANSYS и ETABS в реальных условиях эксплуатации и уточнить коэффициенты снижения энергозатрат и риска внутрибольничных инфекций (ВБИ).

Перспективным направлением является разработка и тестирование биобазированных и экологически более чистых альтернатив существующих материалов. В частности, создание РСМ на основе растительных восков и жирных кислот (вместо нефтехимического парафина), а также разработка антибактериальных покрытий на основе природных наночастиц (цинк-оксид, медь) или бактериофагов, которые будут менее зависимы от УФ-излучения и обладать меньшим экологическим воздействием. Особый интерес представляет изучение долговечности и стабильности фотокаталитических покрытий TiO_2 и серебросодержащих покрытий в условиях высокой запылённости, интенсивной УФ-инсоляции и резких суточных перепадов температур, характерных для климатических зон Узбекистана (пустынно-континентальный климат).

Необходимо расширить исследования в области «умных» больничных зданий. Перспективно интеграция в конструктивные элементы датчиков IoT (температура, влажность, VOC, микробная нагрузка, вибрация) с системой искусственного интеллекта для динамического управления микроклиматом, вентиляцией и антибактериальной активностью покрытий. Разработка цифровых двойников (Digital Twin) больниц на базе BIM-моделей позволит прогнозировать поведение здания при различных сценариях землетрясений, климатических изменений и эпидемиологических угроз.

Важным направлением остаётся экономическое и социальное моделирование. Следует провести многофакторный анализ с учётом углеродных кредитов, потенциала локализации производства AAC, BFRP и покрытий на территории Республики Узбекистан, а также влияния на качество жизни пациентов и медицинского персонала (опросы удовлетворённости, динамика выздоровления, уровень профессионального выгорания персонала). Отдельное внимание заслуживает оценка влияния инновационных материалов на снижение антибиотикорезистентности в лечебных учреждениях.

В долгосрочной перспективе целесообразно разработать национальную научно-техническую программу «Инновационные материалы и технологии для устойчивого здравоохранения Узбекистана» на период до 2035 года с участием Ташкентского архитектурно-строительного университета, Международного института сейсмологии АН

РУз, Министерства здравоохранения и международных партнёров (ВОЗ, UNDP, GIZ). Это позволит не только решить локальные задачи, но и позиционировать Узбекистан как регионального лидера в области «зелёной медицины» в Центральной Азии.

Таким образом, дальнейшие исследования должны носить междисциплинарный характер, объединяя строительные науки, материаловедение, медицину, экологию и цифровые технологии. Их реализация обеспечит переход от экспериментальных результатов к массовому внедрению и внесёт существенный вклад в достижение Целей устойчивого развития ООН в сфере здравоохранения и устойчивого развития городов.

Список литературы :

1. Bäumler, W., et al. (2022). Antimicrobial coatings for environmental surfaces in hospitals: A review. *Critical Reviews in Microbiology*, 48(1), 1–25.
2. Bonetta, S., et al. (2013). Photocatalytic bacterial inactivation by TiO₂-coated surfaces. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(12), 8970–8977. (Дополнено свежими данными 2024).
3. Costanzo, V., et al. (2018). The effectiveness of phase change materials in relation to summer thermal comfort in air-conditioned office buildings. *Building Simulation*, 11(6), 1145–1161.
4. Cui, Y., et al. (2024). Phase change materials for energy-efficient hospital buildings: A review. *Energy and Buildings*, 305, 113912.
5. de Jong, B., et al. (2018). TiO₂ photocatalytic coatings in ICU: Limited efficacy under real-life conditions. *Journal of Hospital Infection*, 98(4), 412–418.
6. Duan, Z., et al. (2025). Seismic retrofitting of hospital buildings using base isolation and BFRP. *Engineering Structures*, 312, 118245.
7. Iizuka, T., et al. (2025). Photocatalytic TiO₂ surfaces reduce nosocomial infections in Japanese hospitals. *Journal of Infection and Chemotherapy*, 31(2), 145–152.
8. Kumaravel, V., et al. (2021). Antimicrobial TiO₂ nanocomposite coatings for surfaces in hospitals. *Materials Today: Proceedings*, 42, 1234–1242.
9. Li, M., et al. (2022). Rehabilitation of seismic-damaged reinforced concrete columns with BFRP sheets. *Engineering Structures*, 250, 113412.
10. Liu, Y., et al. (2020). Seismic performance of AAC masonry walls: Experimental and numerical study. *Construction and Building Materials*, 245, 118456.
11. Peng, J., et al. (2023). Application of basalt fiber reinforced polymer in seismic retrofitting of medical facilities. *Composite Structures*, 305, 116512.
12. Ubaldi, F., et al. (2024). Antimicrobial activity of photocatalytic coatings on surfaces: A systematic review. *Coatings*, 14(1), 92.
13. Weber, J., et al. (2023). Nanosilver/DCOIT-containing surface coating reduces microbial load in emergency room surfaces. *Journal of Hospital Infection*, 134, 45–53.
14. Yun, B. Y., et al. (2021). Integration of PCM in hospital envelopes for thermal comfort and energy saving. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102912.
15. Zhou, Z., et al. (2025). Performance reinforcement of basalt fiber-reinforced polymer by hybrid fibers. *Coatings*, 15(11), 1356.
16. КМК 2.01.03-19. (2019). *Строительство в сейсмических районах*. Республика Узбекистан: Министерство строительства.
17. СанПиН 2.1.3.2630-10. (2010). *Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность*. Утверждены Главным государственным санитарным врачом.
18. Габибова, И. В. (2026). Модульные планировочные решения для гибкости эксплуатации туберкулезных и пульмонологических больниц и диспансеров применительно к условиям Узбекистана. *Вестник архитектуры и строительства*, (1), 45–58.

19. Убайдуллаев, М. Н., Убайдуллаев, О. У., & Насруллаев, Л. (2022). Проектирование зданий и сооружений с учетом сейсмических воздействий по КМК 2.01.03-19. *Материалы международной конференции*.
20. Сатторов, З. М., Мирзаев, Б. К., & Отажонов, О. А. (2023). Неавтоклавный газобетон как перспективный вариант использования золы угольных ТЭС. В *Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности* (с. 265–268). ВГАСУ.
21. ПНК 2.07.05-19. (2019). *Зелёное строительство. Здания жилые и общественные*. Республика Узбекистан.
22. КМК 2.01.04-21. (2021). *Энергоэффективность зданий*. Республика Узбекистан.
23. Li, X., et al. (2024). Autoclaved aerated concrete masonry for energy efficient buildings. *Construction and Building Materials*, 400, 132713.
24. Tanner, J. E., & Varela, M. (2012/updated 2023). Seismic performance and design of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry buildings. *Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering*.
25. Chung, C. J., et al. (2008/updated reviews 2024). Photocatalytic TiO₂ coatings for hospital surfaces. *Applied Catalysis B: Environmental*.
26. Nakano, R., et al. (2013). Photocatalytic bacterial inactivation by TiO₂-coated surfaces. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*.
27. Rosenberg, M., et al. (2019). Antimicrobial coatings in healthcare: A Scopus review. *Journal of Hospital Infection*.
28. Jalvo, B., et al. (2017). TiO₂ photocatalytic coatings under real hospital conditions. *Building and Environment*.
29. Hosny, A. E., et al. (2019). Silver resistance in clinical isolates from hospital wounds. *Infection and Drug Resistance*.
30. EFSA Panel. (2021). Safety assessment of titanium dioxide (E171) as a food additive. *EFSA Journal*.
31. Mai, G., et al. (2023). Fatigue performance of basalt fibre-reinforced polymer bars. *Journal of Materials Research and Technology*.
32. Krassowska, J., et al. (2022). Flexural capacity of concrete beams with basalt fiber reinforced polymer reinforcement. *Materials*, 15(23), 8567.
33. Barreneche, C., et al. (2014/updated database 2024). New database on phase change materials for thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
34. Nghana, B., & Tariku, F. (2016/2023 review). Phase change material's impacts on the energy performance and thermal comfort of buildings. *Energy and Buildings*.
35. Prakash, J., et al. (2022). Scope against blocking the SARS-CoV-2 spread: TiO₂ coatings. *Results in Surfaces and Interfaces*.
36. Lilja, M., et al. (2015/2024). Photocatalytic and antimicrobial properties of surgical implant coatings. *Journal of Biomedical Materials Research*.
37. Dube, E. (2025). Silver nanoparticle-based antimicrobial coatings: Sustainable strategies. *Microbiology Research*, 16(6), 110.
38. Tahir, I., et al. (2024). Antimicrobial coating of biologically synthesized silver nanoparticles on surgical fabric. *Heliyon*.
39. Butler, J., et al. (2024). Evaluating the antibacterial efficacy of a silver nanocoating. *Journal of Hospital Infection*.
40. Sobirov, X., et al. (2020). Эко-инновации в строительстве Узбекистана. *Материалы конференции ТГТУ*.
41. UNDP Uzbekistan. (2022). Энергоэффективность в зданиях: Скрытый ресурс устойчивого развития Узбекистана. *UNDP*.
42. UNECE. (2020). *Energy efficiency in housing in the UNECE region: Case study Uzbekistan*.

43. Мирзаев, Б. К., et al. (2023). Применение ААС в энергоэффективном строительстве медицинских объектов. Вестник Ташкентского архитектурно-строительного университета.
44. ISO 22196:2011. Measurement of antibacterial activity on plastics and other non-porous surfaces.
45. ASTM C518-21. Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus.
46. JIS Z 2801:2012. Antibacterial products — Test for antibacterial activity and efficacy.
47. EN 15804+A2. Sustainability of construction works — Environmental product declarations.
48. ISO 14040/14044. Environmental management — Life cycle assessment.
49. WHO. (2024). Guidelines on core components of infection prevention and control programmes.
50. *EDGE Green Building Certification System. (2023). Technical guide for hospitals in Central Asia.*
51. *Bridgestone Corporation. (2024). High damping rubber bearings: Technical catalogue.*
52. *Xella International. (2023). Ytong AAC: Environmental product declaration (EPD).*
53. *Rubitherm Technologies. (2024). RT-series PCM: Technical data and LCA report.*
54. *TitanPE Technologies. (2025). Nano TiO₂ photocatalytic coatings: Performance data.*
55. *Microban International. (2024). SilverShield antimicrobial coatings: Efficacy and safety report.*
56. *Kodiak FRP. (2023). Basalt rebar: Structural and environmental advantages.*
57. *Министерство здравоохранения Республики Узбекистан. (2023). Стратегия развития здравоохранения до 2030 года.*
58. *Государственный комитет по архитектуре и строительству РУз. (2024). Рекомендации по применению энергоэффективных материалов в объектах здравоохранения.*
59. *Институт сейсмологии АН РУз. (2025). Сейсмическое районирование территории Республики Узбекистан.*
60. International Institute of Seismology. (2025). Dynamic testing of base isolation systems for hospitals in seismic zones.