

АРХИТЕКТУРА ДЛЯ ЖИЗНИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

МАТЕРИАЛЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ



МОСКВА
2024

МИНИСТЕРСТВО КУЛЬТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ХУДОЖЕСТВ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ
ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.И. СУРИКОВА
ПРИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ХУДОЖЕСТВ

АРХИТЕКТУРА ДЛЯ ЖИЗНИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

**МАТЕРИАЛЫ
XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
АРХИТЕКТУРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Под редакцией
кандидата архитектуры *Е.Г. Трибельской*

Москва
ИНФРА-М
2024

УДК 72(075.4)
ББК 85.11
А87

А87 **Архитектура для жизни в экстремальных условиях. Материалы XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых архитектурных специальностей :** сборник научных трудов / под ред. канд. архитектуры Е.Г. Трибельской. — Москва : ИНФРА-М, 2024. — 262 с.

ISBN 978-5-16-021234-0

В сборнике представлены материалы докладов XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых архитектурных специальностей, направленные на ознакомление с особенностями проектирования и строительства в экстремальных условиях: холодном и жарком климате, сейсмоопасных зонах, на затопляемых и подтопляемых территориях, в местах природных и техногенных катастроф. Тематика докладов охватывает опыт реального проектирования и прогностические предложения, учитывающие перспективы технического и технологического развития.

Адресован студентам вузов, обучающимся по специальностям «Архитектура», «Градостроительство», «Строительство», «Промышленное и гражданское строительство», преподавателям, ученым и специалистам, занимающимся проектированием среды для жизни в экстремальных условиях.

УДК 72(075.4)
ББК 85.11

Доклады публикуются в авторской редакции. Авторы опубликованных докладов несут ответственность за достоверность приведенных в них сведений.

ISBN 978-5-16-021234-0

© МГАХИ имени В.И. Сурикова,
2024

Организатор конференции:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный академический художественный институт имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств» (МГАХИ им. В.И. Сурикова).

Организационный комитет:**Председатель конференции:**

А.А. Любавин – ректор МГАХИ им. В.И. Сурикова, Народный художник Российской Федерации, действительный член Российской академии художеств, член президиума Российской академии художеств, профессор.

Заместитель председателя:

Е.Г. Трибельская – канд. архитектуры, зав. кафедрой архитектуры МГАХИ им. В.И. Сурикова, член-корреспондент Российской академии художеств.

Члены Оргкомитета:

О.А. Кошкин – главный ученый секретарь Президиума Российской академии художеств, академик-секретарь отделения архитектуры.

Е.Н. Кузнецова – декан факультета архитектуры МГАХИ им. В.И. Сурикова.

Е.В. Орлов – к.т.н., профессор кафедры архитектуры МГАХИ им. В.И. Сурикова.

Д.Д. Попова – канд. архитектуры, доцент кафедры архитектуры МГАХИ им. В.И. Сурикова.

Уважаемые коллеги, преподаватели и студенты!



Приветствую Вас на XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых архитектурных специальностей «Архитектура для жизни в экстремальных условиях». Как обычно мы собираем в нашем институте всех заинтересованных в научном познании людей.

Сегодняшний уровень науки и техники позволяет возводить здания и сооружения в самых сложных природных условиях нашей огромной планеты. В архитектуре за последние десятки лет произошли качественные изменения за счет новых научных исследований: апробированы различные подходы и технологии создания комфортной среды обитания как в жарких, так и в холодных климатических зонах.

Мы живем в огромной и великой стране, территория которой протянулась через четыре климатических пояса. На ее просторах можно встретить города и населенные пункты, которые возводились нашими ведущими архитекторами, вложившими свой опыт и любовь в формирование комфортной среды обитания.

Наша архитектура уникальна еще тем, что она восхищает своей красотой от запада до востока и от юга до севера, в полной мере сливаясь с природной средой, формируя уникальность окружающего пространства.

Разработка оптимальных архитектурных и инженерных решений для вновь возводимых городов, населенных пунктов, зданий и сооружений, находящихся в экстремальных природных условиях, является необходимой задачей для создания качественной среды обитания. Обсуждению таких важнейших вопросов и будет посвящена наша конференция в этом году.

Мы с радостью приветствуем всех участников такого важного события, которое позволит услышать новые предложения от коллег в области архитектуры и строительства, обменяться опытом и сформировать у будущих специалистов широкое представление о традициях и новейших тенденциях проектирования в экстремальных условиях.

**Ректор МГАХИ им. В.И. Сурикова,
Народный художник Российской Федерации,
действительный член Российской академии художеств,
член президиума Российской академии художеств,
профессор
А.А. Любавин**

Уважаемые коллеги, преподаватели, гости и студенты!



28 и 29 марта 2024 года в МГАХИ им. В.И. Сурикова состоялась XI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых архитектурных специальностей «Архитектура для жизни в экстремальных условиях». Мероприятие проводилось под патронажем Министерства культуры Российской Федерации и Российской академии художеств.

28 марта по традиции конференцию открыл А.А. Любавин, ректор МГАХИ им. В.И. Сурикова, профессор, народный художник Российской Федерации, Действительный член Российской академии художеств, член президиума Российской академии художеств. Он поприветствовал участников и гостей конференции, пожелал успешной и плодотворной работы.

О.А. Кошкин, заслуженный работник культуры, заслуженный архитектор Российской Федерации, главный ученый секретарь Президиума Российской академии художеств, академик-секретарь отделения архитектуры Российской академии художеств, приветствовал участников конференции, подчеркнул важность выбранной темы для будущих архитекторов и передал поздравительный адрес от лица Президента Российской академии художеств З.К. Церетели.

Следующим участников конференции приветствовал Сунь Фэн, проректор МГАХИ им. В.И. Сурикова по научной работе, кандидат филологических наук, член-корреспондент Российской академии художеств. Он, в частности, отметил важность проведения научных конференций в ВУЗе и положительный опыт участия в них студентов.



Участников конференции приветствуют академик РАХ О.А. Кошкин и проректор МГАХИ им. В.И. Сурикова Сунь Фэн

Приветствие и наилучшие пожелания участники конференции получили из далекого морозного Якутска. По видеосвязи выступил Романов Прокопий Георгиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология деревообработки и деревянные конструкции» ИТИ СВФУ им. М.К. Аммосова, Почетный строитель Якутии. П.Г. Романов отметил актуальность проектирования и строительства объектов в условиях Крайнего Севера, отметил необходимость применения энергоэффективных решений. О важности этой темы говорил и присутствующий на конференции Галеев Сергей Абрекович, кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура экстремальных сред» МАРХИ.



Участников конференции приветствуют
профессор МАРХИ С.А. Галеев;
Почетный строитель г. Москвы, академик РААСН С.С. Каприелов

От лица РААСН участников конференции приветствовал Каприелов Семен Суренович, заведующей лабораторией химических добавок и модифицированных бетонов НИИЖБ А.А. Гвоздева АО «НИЦ Строительство», доктор технических наук, профессор, академик РААСН, лауреат Премий Правительства России, Почетный строитель г. Москвы. Он отметил важность применения новых технологий при проектировании и использовании инновационных строительных материалов, в частности, бетонов нового поколения, в районах с экстремальным климатом.

По видеосвязи из Санкт-Петербурга выступил Мамошин Михаил Александрович, академик архитектуры (РАХ, РААСН, МААМ), Заслуженный архитектор России, генеральный директор и руководитель проектов ООО «Архитектурная мастерская Мамошина». После приветствия М.А. Мамошин представил презентацию «Современное формообразование в архитектуре Арктики и Севера» на примерах работ ООО «Архитектурная мастерская Мамошина», реализованных в Архангельске, Северодвинске и Салехарде.



Участников конференции приветствуют:
Почетный строитель Якутии П.Г. Романов;
Заслуженный архитектор России, академик архитектуры (РАХ, РААСН, МААМ) М.А. Мамошин

Во второй день конференции, 29 марта по видеосвязи из Салехарда выступил Панфилов Александр Владимирович, кандидат архитектуры, советник Главы города Салехарда. А.В. Панфилов рассказал об особенностях проектирования и строительства на Крайнем Севере. В настоящее время разрабатываются мастер-планы городов северного региона. А.В. Панфилов отметил, что Салехард занимает особое место в регионе, как единственный город, население которого неуклонно растет. Администрация города уделяет особое внимание созданию комфортных условий для жителей: это высококачественное жилье, строительство новых детских садов и школ, отвечающих всем современным нормам и требованиям, строительство досуговых объектов. Большое внимание город уделяет световой палитре, что особенно важно в период длинной полярной ночи, при обилии снега и экстремально низких температурах. А.В. Панфилов подчеркнул уникальность работы архитекторов в такой ситуации: поиск нестандартных решений многих вопросов.

Стоянов Владимир Олегович, кандидат технических наук, директор по научно-техническому развитию Ассоциации деревянного домостроения, доцент кафедры архитектуры МГАХИ им. В.И. Сурикова выступил с презентацией «Деревянные конструкции в особых условиях эксплуатации».

Ерзовский Александр Эдуардович, доцент кафедры архитектуры МГАХИ им. В.И. Сурикова, профессор МААМ, советник Главы Республики Алтай по градостроительству и архитектуре выступил с докладом на тему «Пространственные структуры для комфортной жизни в Арктике». Большое внимание на конференции было уделено актуальной проблеме сохранения окружающей среды при строительстве в условиях Крайнего Севера.



С докладами выступают: советник Главы города Салехарда А.В. Панфилов; директор по научно-техническому развитию Ассоциации деревянного домостроения В.О. Стоянов; советник Главы Республики Алтай по градостроительству и архитектуре А.Э. Ерзовский

За два дня на конференции более 30 человек выступили с докладами и презентациями на актуальные темы. Это студенты, магистры, аспиранты и молодые ученые из МГАХИ им. В.И. Сурикова, МАРХИ, НИУ МГСУ, ГУЗ, РАЖВиЗ Ильи Глазунова, РГУ им. А.Н. Косыгина, ИВГПУ, Азербайджанского архитектурно-строительного университета, Казахской головной архитектурно-строительной академии.

К сожалению, не все участники из других городов смогли присутствовать на конференции. Они выслали в организационный комитет свои доклады, которые будут опубликованы в настоящем сборнике.

В ходе конференции слушатели задавали вопросы. Некоторые доклады вызвали активные дискуссии.

Важно отметить, что участие в конференциях и выступления с докладами – это полезная практика, которая вырабатывает навык публичных выступлений, а также формирует дружеские контакты между студентами и преподавателями разных ВУЗов.

Желаю всем участникам конференции успехов в исследовательской работе, архитектуре и творчестве!

*Заведующая кафедрой архитектуры,
кандидат архитектуры,
профессор МГАХИ им. В.И. Сурикова,
корреспондент Российской академии художеств,
Е.Г. Трибельская*

АРХИТЕКТУРА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

УДК 728.71

АДАПТИВНОЕ И МОБИЛЬНОЕ ЖИЛИЩЕ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА: СИНТЕЗ ТРАДИЦИЙ, ТЕХНОЛОГИЙ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

ADAPTIVE AND MOBILE HOUSING IN THE FAR NORTH: SYNTHESIS OF TRADITIONS, TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

А.В. Панфилов, канд. арх., доцент кафедры архитектуры и градостроительства.
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

A.V. Panfilov, PhD, associate professor of the Department of Architecture and Urban Planning. Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы потенциала применения систем мобильного жилища, включая трансформируемое и адаптируемое, а также альтернативные варианты мобильности для применения в условиях Арктики и крайнего Севера. Проводится обобщающая параллель между различными формами «мобильности» объединяющая их в понятие адаптивного жилища.

Ключевые слова: мобильная архитектура, адаптивная архитектура, самоадаптивная архитектура, архитектура Арктики.

Annotation. The article discusses the potential of mobile housing systems, including transformable and adaptable, as well as alternative mobility options for use in the Arctic and the Far North. A generalizing parallel is drawn between various forms of “mobility”, uniting them into the concept of adaptive housing.

Keywords: mobile architecture, adaptive architecture, self-adaptive architecture, architecture of the Arctic.

Крайний Север, с его экстремальными климатическими условиями, вечной мерзлотой, ограниченной доступностью ресурсов и удаленностью от инфраструктурных центров, представляет собой уникальный вызов для архитектурной мысли. Традиционные методы строительства, ориентированные на статичность и капитальность, здесь сталкиваются с непреодолимыми трудностями: высокими затратами, экологическими рисками и неспособностью адаптироваться к динамичным изменениям среды. В этом контексте мобильная и адаптивная архитектура, эволюционировавшая от кочевых практик до высокотехнологичных решений, становится не просто альтернативой, но и необходимым условием устойчивого развития региона. Данная статья исследует исторические корни, современные технологиче-

ские достижения и социокультурные аспекты применения мобильного жилища на Крайнем Севере, опираясь на теоретические работы отечественных и зарубежных исследователей, а также реальные проекты, демонстрирующие потенциал таких решений.

Исторически мобильное жилище являлось неотъемлемой частью жизни коренных народов Севера. Чумы, яранги, балки - эти конструкции, созданные из шкур, дерева и снега, отражали глубокое понимание взаимодействия с окружающей средой. Их ключевой особенностью была не только портативность, но и способность трансформироваться в ответ на сезонные изменения. Например, ненцы корректировали угол наклона шестов чума в зависимости от силы ветра, а эвены использовали многослойные покрытия яранг для регулирования теплового режима [2]. Эти традиционные методы, основанные на многовековом опыте, заложили основы для современных концепций адаптивности, где мобильность понимается не как физическое перемещение объекта, а как его способность к динамической перестройке в ответ на внешние и внутренние факторы.

XX век принес радикальные изменения: индустриализация и освоение северных территорий потребовали создания временных поселений для геологов, военных и вахтовых работников. Однако такие решения, как сборные бараки или модульные здания, часто игнорировали эргономику, эстетику и экологическую устойчивость. Их главной задачей было обеспечение минимальных условий для выживания, что контрастировало с философией традиционного кочевого жилища, где функциональность неотделима от гармонии с природой. Лишь в последние десятилетия, с развитием технологий и ростом экологического сознания, мобильная архитектура начала восприниматься как комплексная система, объединяющая автономность, энергоэффективность и антропоцентричный дизайн.

Современные исследователи определяют мобильное жилище как «машину для проживания», подчеркивая его технологическую сложность и способность к самоадаптации. Это определение выходит за рамки простой портативности, акцентируя внимание на интерактивности, многофункциональности и интеграции с окружающей средой. Например, проект «Volkner Mobil Performance» (рис. 1) демонстрирует, как автономный дом-трейлер, оснащенный солнечными панелями, системами рекуперации воды и интеллектуальным климат-контролем, может быть модифицирован для арктических условий за счет усиленной теплоизоляции и ветрозащитных элементов [9]. Подобные решения не только обеспечивают комфорт, но и минимизируют антропогенное воздействие, что критически важно для хрупких экосистем Севера.

Технологические инновации играют ключевую роль в трансформации мобильной архитектуры. Аддитивные технологии, или 3D-печать, открывают возможность использования местных материалов – от песка и льда до промышленных отходов – для создания конструкций, устойчивых к экстремальным температурам и механическим нагрузкам. Компания ICON, специализирующаяся на 3D-печати из бетона, разработала методику, поз-

воляющую возводить здания на вечной мерзлоте за счет специальных составов, предотвращающих растрескивание при температурных деформациях [5]. Этот подход не только снижает логистические издержки, но и позволяет создавать архитектурные формы, оптимизированные под конкретные климатические условия, например, куполообразные структуры, устойчивые к снеговым нагрузкам.



Рис. 1. Автодом «Volkner Mobil» со встроенным гаражом¹

Энергоэффективность остается краеугольным камнем для любого проекта на Крайнем Севере. Солнечные панели, ветрогенераторы и гибридные системы аккумуляции энергии становятся неотъемлемыми элементами мобильных модулей. Российский проект международной арктической станции «Снежинка» (рис. 2) сочетает геодезические купола, сохраняющие тепло, с комбинацией солнечных батарей и ветроустановок, что обеспечивает автономность до шести месяцев [3]. Однако энергетические решения требуют учета специфики региона: полярная ночь ограничивает эффективность солнечных панелей, а экстремальные температуры снижают КПД аккумуляторов. Эти вызовы стимулируют разработку новых материалов, таких как перовскитные солнечные элементы, сохраняющие работоспособность при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, или термоэлектрические генераторы, преобразующие перепады температур в энергию.

Модульность и кластерные системы в мобильном жилище для Севера и Арктики представляют собой еще один шаг к адаптивности [8]. Концепция предполагает сборку зданий из стандартизированных блоков, которые могут комбинироваться в зависимости от потребностей пользователя. Примером служит вахтовый поселок «Ямал-СПГ», где модульные общежития

¹([https://quto.ru/thumb/1280x720/filters:quality\(75\)/imgs/2022/12/28/11/5733370/b3bb707aa5af183843c2e961e20d58041aab3822.jpg](https://quto.ru/thumb/1280x720/filters:quality(75)/imgs/2022/12/28/11/5733370/b3bb707aa5af183843c2e961e20d58041aab3822.jpg))

оснащены системами естественной (сезонной) заморозки фундаментов, предотвращающими таяние мерзлоты, и могут быть быстро развернуты или демонтированы в зависимости от этапов разработки месторождения. Такая гибкость особенно актуальна в условиях динамично меняющихся промышленных и климатических сценариев.



Рис. 2. Международная арктическая станция «Снежинка» (проект)²

Социально-экономические аспекты внедрения мобильного жилища на Крайнем Севере требуют отдельного анализа. Коренные народы, столкнувшиеся с давлением глобализации, ищут способы совместить традиционный образ жизни с современными стандартами комфорта. Проекты вроде «Умного чума», разработанного в Якутии, интегрируют солнечные панели, спутниковый интернет и системы очистки воды в традиционные конструкции, позволяя сохранять кочевой уклад без ущерба для доступа к образованию и здравоохранению. Это не только укрепляет культурную идентичность, но и снижает риски урбанизации, ведущей к маргинализации коренных сообществ.

Для промышленных компаний и научных экспедиций мобильные модули становятся инструментом оптимизации затрат. Арктическая станция «Барнео», размещенная на дрейфующей льдине, использует модули на санях, которые можно перемещать вслед за изменением ледовой обстановки. Подобные решения сокращают зависимость от дорогостоящих транспортных операций и повышают безопасность персонала. Однако экономическая эффективность таких проектов зачастую зависит от государственной поддержки и международного сотрудничества, как в случае с норвежско-российской программой «Арктический мост», направленной на развитие инфраструктуры вдоль Северного морского пути.

² <https://vesti-yamal.ru/i/47/47848ff8d4c651176ad44087581beddc.jpg>

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение мобильной архитектуры на Крайнем Севере сталкивается с серьезными вызовами. Климатические риски – штормовые ветра, снеговые нагрузки, температурные перепады – требуют использования высокопрочных материалов и инженерных решений, что увеличивает стоимость проектов. Например, каркасы модулей для арктических условий часто изготавливаются из алюминиевых сплавов с низкой теплопроводностью, что на 30–40 % дороже традиционных стальных конструкций. Нормативные барьеры также остаются проблемой: отсутствие единых стандартов для мобильного жилища в условиях вечной мерзлоты затрудняет сертификацию и страхование объектов. Кроме того, психологический фактор – недоверие местного населения к «временным» решениям – требует проведения просветительской работы и демонстрации успешных кейсов.

Перспективы развития мобильной архитектуры на Крайнем Севере связаны с междисциплинарным подходом, объединяющим достижения материаловедения, энергетики, социологии и традиционного знания. Внедрение аддитивных технологий, как прогнозирует [7], может привести к созданию самообеспечивающихся поселений, где каждый модуль производится на месте из местных ресурсов, минимизируя логистическую цепочку. Развитие искусственного интеллекта и интернета вещей (IoT) позволит оптимизировать энергопотребление и прогнозировать климатические изменения, адаптируя конфигурацию жилища в реальном времени. Уже сегодня эксперименты с нейросетевым моделированием, как в проекте «Manned Cloud» (рис. 3) – дирижабле-отеле с адаптивными каютами – показывают, как технологии могут трансформировать пространство под нужды пользователя [9].

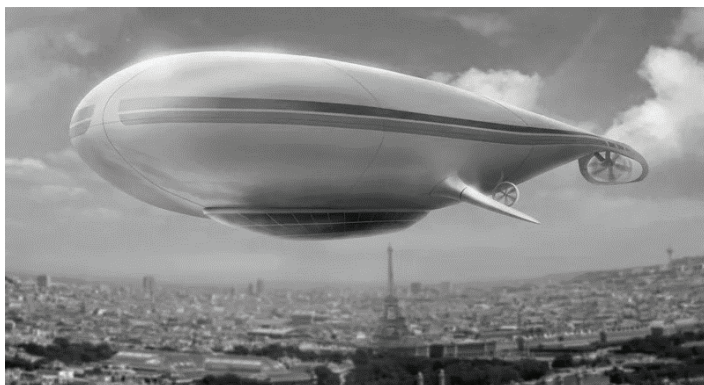


Рис. 3. Проект отеля-дирижабля «Manned Cloud»³

³ (<https://www.popsci.com/wp-content/uploads/2019/03/18/7FY2DEFAWFRY4Q4LGWYHZZKTETI.jpg>)

Важным направлением остается сотрудничество с коренными сообществами. Интеграция традиционных практик в современные проекты, как в случае с эко-поселением «Кангалассы 2.0» в Якутии, где яранги сочетаются с геотермальным отоплением, демонстрирует, что устойчивое развитие возможно только через диалог культур. Такие инициативы не только сохраняют наследие, но и обогащают архитектурную науку, предлагая нетривиальные решения для климатических вызовов.

В заключение стоит отметить, что мобильная и адаптивная архитектура на Крайнем Севере – это не просто технический ответ на экстремальные условия, но и философская переоценка отношений между человеком и средой. Как отмечал Поль Вирилио [5], в эпоху глобализации: «Пространство утрачивает статичность», и мобильность становится новой парадигмой существования. Для Севера, где границы между природой и технологией особенно хрупки, это означает поиск баланса между инновациями и традицией, эффективностью и устойчивостью. Будущее арктических поселений зависит от того, насколько архитектура сможет стать не просто укрытием, но и живым организмом, способным эволюционировать вместе с меняющимся миром.

Список литературы

1. Вирилио П. Информационная бомба. Стратегия обмана. Пер. с фр / Перевод И Окуновой М ИТДГКТнозис", Фонд "Прагматика культуры". 2002. 192 с.
2. Панфилов А.В. Мобильное жилище: на пути от мобильного к самоадаптивному // Сборник научных трудов SWorld. 2013.
3. Сивухина И.В., Сапрыкина Н.А., Лагоцка Т.В. Устойчивая архитектура в Арктике РФ на примере МАС "Снежинка" [Электронный ресурс]. URL: https://otherreferats.allbest.ru/construction/01516360_0.html (дата обращения: 15.02.2024).
4. Фреско Ж. Проектируя будущее. Проект Венера, 2007.
5. Gibson, Ian & Rosen, David & Stucker, Brent & Khorasani, Amirmahyar. (2020). Additive Manufacturing Technologies. 10.1007/978-3-030-56127-7.
6. ICON Build. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iconbuild.com/arctic-projects> (дата обращения: 15.02.2024).
7. Jean-Marie Massaud presents 'Manned Cloud'—a conceptual airship hotel sustainably reducing the impact of tourism infrastructure [Электронный ресурс]. URL: <https://globaldesignnews.com/jean-marie-massaud-presents-manned-cloud-a-conceptual-airship-hotel-sustainably-reducing-the-impact-of-tourism-infrastructure/> (дата обращения: 15.02.2024).
8. Panfilov A., Panfilov V. Principles of formation of mobile dwelling of cluster type with application of additive technologies // MATEC Web of Conferences. 2017. С. 00133.
9. Volkner Mobil. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.volkner-mobil.com> (дата обращения: 15.02.2024).

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СТРУКТУРЫ
ДЛЯ КОМФОРТНОЙ ЖИЗНИ В АРКТИКЕ**

**SPATIAL STRUCTURES
FOR A COMFORTABLE LIFE IN THE ARCTIC**

А.Э. Ерзовский, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.E. Erzovsky, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье предложено технологическое и конструктивное решение по созданию пространственных структур для районов Арктики, что позволит создать для человека благоприятную среду в неблагоприятных и экстремальных климатических условиях. Представлен опыт, примеры и экспериментальные студенческие проекты в рамках курсового и дипломного проектирования в МАРХИ.

Ключевые слова: экстремальная среда, оболочки, пространственно-стержневые конструкции, конструкции МАРХИ.

Abstract. The article proposes a technological and constructive solution for creating spatial structures for the Arctic regions, which will create a favorable environment for humans in unfavorable and extreme climatic conditions. The experience, examples and experimental student projects within the framework of course and diploma projects at MARCHI are presented.

Keywords: extreme environment, shells, spatial-rod structures, MARCHI structures.

Перед нашей страной остро стоит задача освоения Дальнего Востока, Сибири и Арктики для целей государственной безопасности, развития экономики, обеспечения функционирования транспортных коридоров. Для этого необходимо обеспечить присутствие людей, в том числе в районах с экстремальными природными условиями, создавая для них комфортные условия для жизни и работы, применяя прогрессивные технологические и конструктивные решения.

В качестве основных проблем по данной теме обозначены следующие:

- неблагоприятные для жизни территории не должны исключаться из хозяйственного оборота;
- необходимо остановить отток населения, обеспечив привлекательность жизни в суровых условиях Арктики, Сибири и Дальнего Востока России;
- традиционные приемы строительства в условиях экстремальной среды показывают свою неэффективность, вечномёрзлые грунты приходят в

движение из-за климатических изменений. Необходимы новые решения, отвечающих требованиям экстремальной среды.

Цель. Предложить направление развития пространственных структур для проживания и производственной деятельности в экстремальной природной среде России с обеспечением комфортных и безопасных условий.

Для обоснования благоприятности природных условий проживания населения принята методика Е.Б. Лопатиной и О.Р. Назаревского, в которой сформулированы климатические и внеклиматические условия, как критерии оценки окружающей среды.



Рис. 1. Карта-типология благоприятности природных условий для проживания населения (по Е.Б. Лопатиной, О.Р. Назаревскому)

Согласно сводной карте благоприятности природных условий для проживания населения менее 30 % территории России относительно благоприятны для жизни. Значит задача поиска новых пространственных форм освоения неблагоприятных условий является особо актуальной для Российской Федерации.

Северный морской путь (СМП) является важной предпосылкой развития арктических территорий России в части:

- развития портовой инфраструктуры;
- развития Арктических акваториально-производственных комплексов;
- организации проживания и производственной деятельности для населения с необходимой инфраструктурой;
- санации заброшенных объектов и поселений;
- формирования современных экологических, технологических и эстетических требований к проектным решениям.

Основные черты, характерные для экстремальных областей:

- удалённость и изолированность от развитых районов, очаговость и труднодоступность, малая освоенность территории;

– сложные неблагоприятные, а порой и невозможные без соответствующего технического оснащения, условия существования людей, требующие обеспечения защиты человека от агрессивной окружающей среды;

– временность проживания и автономность существования, в значительной степени связанные с функциональным использованием.

В районах экстремальной среды особенности выполнения строительных работ определяются метеорологическими и геофизическими условиями. Противостояния стихии учитываются в:

- разработке приёмов строительства,
- выборе конструкций,
- создании архитектурно-планировочных решений объектов.

Необходимо предусмотреть защиту пространственной структуры от внешних факторов: ветра, УФ-излучения, сеймики, светового режима дня/ночи, снега, дождя и града, экстремальных явлений, вечной мерзлоты и плохих грунтов, кровососущих насекомых, высокой/низкой влажности, высоких/низких температур, болезней.

Пространственные структуры должны обеспечивать необходимый набор функций для поддержания функционирования объекта, при этом должны быть сформированы следующие блоки: жилой, социально-бытовой, рекреационный, рабоче-образовательный и технический.

Пространственные структуры потребуют обеспечения внешними ресурсами, включающие в себя: продукты питания, непродовольственные товары (оборудование, комплектующие и т.д.), авиасообщение, автомобильное сообщение, водоснабжение, энергоснабжение (2 независимых источника, один из альтернативных источников), доступ к высокоскоростному интернету, спутниковая связь.

Системы жизнеобеспечения комплекса должны включать в себя следующие системы: электросеть, освещение, затенение, слабые токи, сотовая связь, дата-центр, спутниковая связь, радиосвязь, авиасообщение, отопление, водоснабжение, водоотведение, вентиляция и кондиционирование, дезинфекция, дератизация, дезинсекция.

Опыт создания автономных жилых структур демонстрируют кочевые народы. Традиционное жильё кочевых народов идеально приспособлено к условиям окружающей среды. Технологические решения, конструкция, материалы – адаптированы к быту каждого из народов. Для разных климатических зон характерны различные типы мобильного жилья, например, юрта, чум, вигвам, иглу, из разных строительных материалов, но имеющие общие характерные черты для каждого типа:

- использование подручных материалов;
- симметричная (обычно круглая) форма;
- обтекаемая форма;
- сборно-разборная конструкция;
- мобильность (возможность перемещения);
- обеспечивает защиту от воздействия окружающей среды – низкой и высокой температуры, ветра, осадков.

В качестве примера адаптации к экстремальной среде рассмотрены проекты и постройки производственные сооружений в Норвегии, Канаде, США, России. Также рассмотрен опыт строительства и научно-исследовательских станций в Арктике и Антарктике: Pearl (Канада, Нунавут, 2006), Cen Whapmagoostui-Kuujuarapik Reseach Station (Канада, Квебек, 2010), Chars (Канада, Нунавут, 2017), Concordia (Франция, 2005), Princess Elizabeth (Бельгия, 2009), Neumayer III (ФРГ, 2009), Bharati (Индия, 2012), Halley-VI (Великобритания, 2013), Прогресс (РФ, 2013), Amundsen-Scott (США, 2003), The Scott Base (Австралия, 2022). Научно-исследовательские станции являются примерами сочетания научной, производственной, жилой и социально-бытовой функций.

Поиски пространственных структур для Севера предпринимали советские архитекторы. В журнале «Архитектура СССР» (№2, 1960 г.) опубликован проект Константина Агафонова, где поселок на Севере размещен в четырех круглых пятиэтажных зданиях, соединённые закрытыми переходами. В одном из зданий должны были разместиться школа, физкультурно-спортивный центр, административные центр и другие учреждения обслуживания, в остальных – благоустроенные квартиры, а во внутренних дворах могли быть созданы зимние сады и прогулочные площадки, укрытые от ветра.

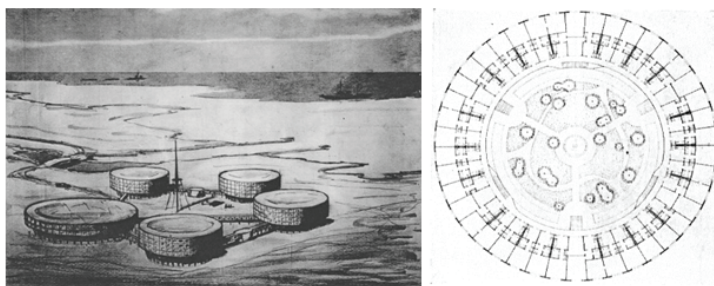


Рис. 2. Проект арх. К. Агафонова. «Архитектура СССР», № 2, 1960 год⁴

Круглая форма зданий позволила бы лучше сохранять тепло и избегать вблизи стен сильных снежных заносов. Теплые переходы между зданиями дают возможность жителям комфортно перемещаться по комплексу во время морозов.

Архитектор Валентин Танкаян в 1969 году предлагал проект поселка на 4 тысячи человек, состоящего из одного кольцеобразного здания, объединяющего под своей крышей жилье, необходимые общественные, спортивные и культурные учреждения, зимний сад, магазины и школы.

В журнале «Проблемы Севера» (№10, 1964 г.) представлен проект Станислава Однородова и Майи Цимбал компактный жилой комплекс для

⁴ <https://arzasamas.academy/materials/1821>

Крайнего Севера, состоящий из нескольких многоэтажных жилых башен, соединенных крытыми галереями с общественным центром, который размещается в стеклянном геодезическом куполе.

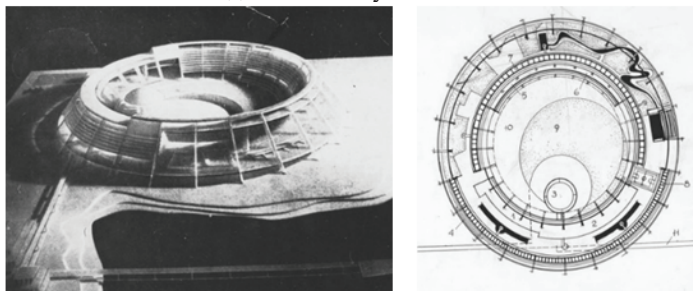


Рис. 3. Проект поселка на 4 тысячи человек арх. В. Танкаяна. 1968 год⁵

Идея геодезического купола, как защитной оболочки от неблагоприятных внешних условий получила широкое распространение в футуристических проектах и в научной фантастике. Под куполом обычно создается идеальные комфортные условия для жизни. Купола обычно выполнены из металлических конструкций или в виде магнитной сферы. Общее у всех этих куполов вне зависимости их расположения (космос, подводный мир, пустыня, север) – это прозрачность.

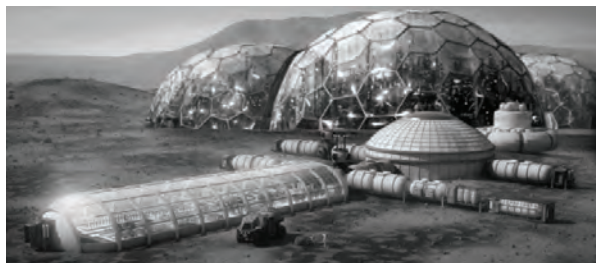


Рис. 4. Футуристическая космическая станция на Марсе⁶

Часто отдельные купольные объекты объединяются в станциях будущего во взаимосвязанную структуру, образуя сложный производственно-жилой комплекс или даже город.

Принципы построения такой структуры, следующие:

- модульность;
- единое архитектурно-художественная стилистика;
- возможность развития;

⁵ <https://arzamas.academy/materials/1821>

⁶ <https://www.coasttocoastam.com/article/mary-joyce-images-7321/>

- использование классических форм геометрии;
- светопрозрачные оболочки;
- интеграция с инженерными системами.

Кроме теоретических поисков имеются примеры похожих реализованных объектов. Например, аквапарк «Тропические острова» в Германии. Летом 2002 г. ангар был выкуплен инициатором проекта у компании CargoLifter-Airship, которая первоначально собирались делать здесь дирижабли. В пределах достаточно большого объема ангара создан интересный и популярный рекреационный объект, обеспечивающий людям атмосферу тропического острова в течении всего года. Подобные структуры могут создаваться и в условиях более сурового климата. В интеграции с жильем и работой такие объекты создают «оазисы» для человека в удаленной суровой среде. На огромные экраны проецируются, горизонт, восход и заход солнца. Вместимость комплекса – 8200 человек. В аквапарке создан тропический климат (воздух: +25 °С, вода: +28 °С, влажность – около 55 %). Габариты сооружения – 360×210 м, высота 107 м. Общая площадь 6,6 га.

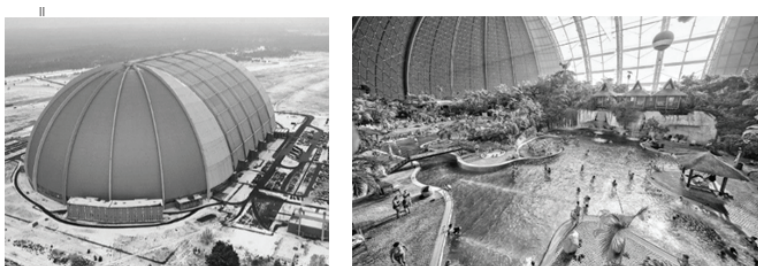


Рис. 5. Комплекс «Тропические острова». Берлин. ФРГ⁷

В качестве несущего каркаса в комплексе использованы металлические конструкции, а в качестве ограждающих конструкций – мягкие оболочки, частично светопрозрачные.

Еще один пример – комплекс «Биосфера-2» в пустыне Аризоны. Данный проект объект был реализован для масштабного эксперимента по автономному выживанию группы людей с использованием только внутренних ресурсов комплекса. «Биосфера-2» представлял собой структуру из пространственно-стержневых конструкций компании MIRO, ограждающие конструкции – стекло. В комплексе эмитировано 5 типов ландшафта: океан с коралловым рифом, саванна, джунгли, пустыня и болото. Замкнутая система включала также сельскохозяйственный блок, хороший комфортабельный дом для жилья.

⁷https://www.tourister.ru/world/europe/germany/city/halbe/parks_ent/21126

Сам эксперимент закончился неудачно из-за недостаточного количества продовольствия в сельскохозяйственной зоне и из-за неверных расчетов по автономной генерации кислорода. После эксперимента были сделаны следующие выводы:

- производство продуктов питания необходимо выносить в отдельный/смежный комплекс или обеспечивать продуктами извне;
- пространственные структуры на основе перекрестно-стержневой системы обеспечивают единое пространство без промежуточных опор, прочность, безопасность и надежность;
- высокая доля светопрозрачных ограждающих конструкций зарекомендовали себя положительно;
- необходимо уделять внимание санитарной обработке зеленых насаждений от микроорганизмов;
- абсолютная изоляция комплекса от окружающей среды нежелательна;
- комплекс должен иметь устойчивое обеспечение инженерными и другими питающими системами.



Рис. 6. Комплекс «Биосфера-2». Аризона. США⁸

Отечественным аналогом конструкциям компании MERO является хорошо известная система перекрестно-стержневых пространственных конструкций (ПСПК) МАРХИ, разработанная В.К. Файбишенко. Идеология системы МАРХИ заключается в следующем:

1. Единый унифицированный сортамент с максимальными композиционными возможностями;
2. Использование оптимальных по форме малодифицитных трубчатых профилей проката;
3. Применение высокопрочных сталей в соединениях элементов;
4. Полная индустриализация производства, основанная на использовании высокопроизводительного автоматического и полуавтоматического оборудования, литья, штамповки и т.д.;

⁸ <https://ru.ruwiki.ru/wiki/Биосфера-2>

5. Компактность монтажных марок и возможность их транспортировки любым видом транспорта;
6. Высокая надежность и быстрота сборки и монтажа конструкций, включая конвейерную сборку и крупноблочный монтаж;
7. Широкие возможности объемно-пространственной композиции каркасов;
8. Практически неограниченное разнообразие конструктивных форм на базе ограниченного набора исходных типовых элементов;
9. Деконцентрация материала – применение сечений стержневых элементов под величину усилия, возникающего в них;
10. Применение в качестве объекта типизации стержня и узлового элемента, оптимизированных по массе и несущей способности, не подчиняющихся какой-либо конкретной архитектурно-конструктивной форме, что обеспечивает, возможность их массового изготовления.

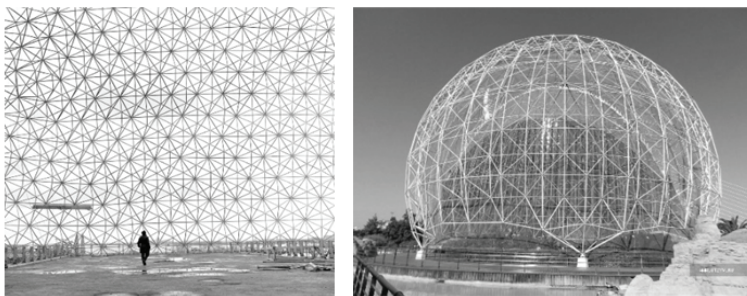


Рис. 7. ПСПК в качестве несущих конструкций. Купол Фуллера. Музей-Биосфера в Монреале. Канада (фото Р. Дачезней)

Для ограждающих конструкций хорошо зарекомендовали себя свето-прозрачные мембраны из материала ETFE, на основе «подушечных» технологий обеспечивают высокие показатели по защите от внешней среды.

Система оболочек на основе материала ETFE имеет следующие преимущества:

- эффект антикапли (отсутствию образования на поверхности пленки ETFE капель конденсата);
- самоочищаемость поверхности пленки;
- адаптивность к снеговым и ливневым нагрузкам;
- стойкость к агрессивным средам;
- ремонтнопригодность и долговечность;
- подавление внутреннего шума;
- малый вес;
- прозрачность для УФ излучения;
- безопасное разрушение;
- возможность сочетания с кровельными материалами ПВХ и Kalzip.

В качестве гипотезы на основе теоретических разработок, опыта реализованных проектов предлагается создавать в неблагоприятных климатических условиях, в первую очередь в Арктике, пространственные структуры, где несущей системой являются перекрестно-стержневые пространственные конструкции МАРХИ, а в качестве оболочек – «подушечные» технологии из материала ETFE.



Рис. 8. Подушки из материала ETFE в качестве ограждающих конструкций⁹

Принципы пространственных структур

Экологичность

Многослойная прозрачная фольга из сополимера этилена и тетрафторэтилена (ETFE) – экологически чистый материал не опасный для человека, который по окончании срока службы быстро разлагается и не загрязняет почву.

Конструкции МАРХИ является экологически инертным материалом, полностью перерабатывается при необходимости.

Энергоэффективность

Минимальное количество слоёв материала в «подушках» – два. Чем больше слоёв материала в пневматической мембранной системе, тем больше ее сопротивление теплопередаче (по аналогии со стеклопакетом). Использование «подушечной» технологии позволяет уменьшить теплопередачу за счет изолированных слоев воздуха в конструкциях. Поэтому затраты на охлаждение/отопление покрываемых помещений уменьшаются.

Для 3-х слоев ETFE:

- коэффициент теплопередачи - $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- коэффициент термоизоляции - $2,9 \text{ Ft}^2\text{hrF/BTU}$

⁹ <https://www.to-experts.com/en/membrane-construction/membrane-roofs/etfe-foil-cushion-roofs/>

Модульность

Построение комплекса возможно производить путем стыковки различных блоков и модулей, тем самым обеспечить возможность развития, строительства очередями и гибкий набор функций. В качестве модулей могут использоваться независимые сооружения различного назначения, удовлетворяющих требованиям взаимной унификации.

Унификация

Основа оптимальности конструктивной системы МАРХИ – унификация всех ее элементов конструкций и узлов.

ПСПК МАРХИ адаптирована к инженерным системам, крепящимися к конструкции (освещение, вентиляция, кондиционирование и др.), к технологическому оборудованию и устройствам (кранбалка), конструктивным элементами (колонны, витражи, фонари).

В системе МАРХИ возможна взаимозаменяемость элементов.

Системы оболочек на основе «подушечных» технологий также унифицированы в рамках своей системы и с ПСПК МАРХИ.

Архитектурная гибкость

Конструктивная система МАРХИ обладает высокими архитектурно-художественными качествами и архитектурной логикой формообразования:

- конструкции МАРХИ, как пространственная конструктивная система, находит широкое применение во многих современных проектах больших пролетных сооружений;
- большие возможности формообразования;
- технологичность в логике архитектурных решений внутренних пространств в единстве с тектоникой здания;
- многообразие вариантов отделки и окраски;

Большие возможности в применении элементов верхнего освещения;

Оболочки находят широкое применение в современной архитектуре в качестве ограждающих конструкций с высокими техническими и эстетическими характеристиками. Оболочки дают возможность перекрытия больших пролетов, как совместно с металлоконструкциями, так и независимо.

Широкие возможности дает архитектурное освещение.

Комбинация ПСПК МАРХИ и оболочек формируют интересные архитектурные решения в современной стилистики хай-тек и бионики.

Надежность

Конструкции МАРХИ обладают высокой надежностью, воспринимая свыше 3 кН/м² при пролетах до 150 м.

Конструкции устойчивы к сейсмическим воздействиям до 9 баллов.

Контроль качества собранной конструкции без необходимости определения скрытых дефектов.

Защита от коррозии: ПСПК защищены от коррозии – стандартное решение состоит в том, что все детали подвергаются горячему цинкованию. Дополнительная порошковая агломерация с одной стороны обеспечивает дальнейшую защиту от коррозии, с другой стороны служит для украшения сооружения.

Противопожарная защита: вследствие своей высокой статической неопределенности выпадение одного или нескольких стержней не приводит к выходу из строя несущей части. Для повышения противопожарных мер пространственные решетчатые конструкции могут быть снабжены на случай пожара самопенящимся опрыскиванием или спринклерным оборудованием.

Материала ETFE имеет диапазон температур: от -100°C до $+200^{\circ}\text{C}$.

Материал способен выдерживать значительные ветровые и снеговые нагрузки, за счет обратимой деформации снижает нагрузку на каркас.

Пожарная безопасность: материал выдерживает очень высокую температуру, а при плавлении не образует капель.

Долговечность, по разным данным – от 25 до 50 лет.

Защита от внешних условий

Фторполимерная природа материала делает пленку нечувствительной к действию агрессивных веществ, кислотным дождям, ультрафиолету и проникающей радиации.

Высокая прочность материала в сочетании с оптимальным углом наклона крыши и поверхностным антиадгезионным эффектом не дает возможности накапливаться осадкам. Материал также не повреждается градом. Грязь, листва, пыльца и пыль скатываются с поверхности фторопласта ETFE лучше, чем с поверхностей других пластиков.

Современные тенденции во многом основываются на энергоэффективном использовании солнечной энергии. Пленка ETFE отлично инкапсулирует внутри себя солнечные элементы, датчики освещенности, температуры, другую электронику, включая широкие панели LED экранов. Путем модификации угла отражения высокоэнергетической части солнечного спектра многослойными ETFE пленками, можно добиться того, что в помещениях, не будет жарко в солнечные дни. Такие пленки известны под аббревиатурой ETFE MOF.

Безопасность при разрушении

Конструктивная система МАРХИ показала себя, как исключительно надежная в случае чрезвычайной ситуации. Не было случая разрушения конструкции МАРХИ, кроме как по следующим причинам: неквалифици-

рованное проектирование, перегруз конструкции сверх предельных значений, техногенные катастрофы.

ПСПК МАРХИ из-за особенностей конструкции не подвергается единовременному обрушению. При выходе из строя до 30% стержней конструкция сохраняет устойчивость. ПСПК МАРХИ имеет все необходимые сертификаты и свидетельства по безопасности.

ETFE не распространяет пламя по поверхности, самостоятельно не медленно гаснет и не выделяет при пожаре искр (DIN EN 13 501-1 – самозатухающий материал). В России мембранные конструкции обладают классом пожарной опасности – КМ1, токсичностью продуктов горения – Т1 (малоопасные), дымообразующей способностью – Д1 (малой дымообразующей способностью), группой горючести по ГОСТ 30244 – Г1 (слабогорючие материалы), группой распространения пламени по ГОСТ Р 51032 – РП1 (не распространяющие). При $T > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ подушки лопаются и пламя, жар и дым вырываются наружу, что снижает риск обрушения. Благодаря отсутствию острых кромок, малому весу, приходящемуся на единицу площади материала, мягкости и парусности мембранные системы при разрушении и падении физически не могут причинить сколько-нибудь значимый вред людям и имуществу, которые находятся в здании. В случае взрыва внутри здания мембранная система не создает эффект замкнутого пространства, то есть не усиливает, а, наоборот, ослабляет разрушительное действие ударной волны.

Транспортировка

Конструкции МАРХИ очень удобны при транспортировке, т.к. имеют небольшой вес элементов, некритические габариты элементов. Также для перевозки не требуется большие объемы по тоннажу конструкций. В случае необходимости стержневые элементы могут быть произведены на месте строительства (при соответствующей технической оснащенности), а узловые элементы достаточно компактны к транспортировке от завода-изготовителя самолетом, вертолетом, автотранспортом.

Оболочки из-за своего веса легки в перевозке, не требуется также использовать защитные элементы для стекла или блоков поликарбоната.

Монтаж

Конструкции МАРХИ могут монтироваться различными способами. С одной стороны, возможно монтировать комплексную пространственную конструкцию на земле и в заключении поднять с помощью крана или лифта в окончательное положение. С другой стороны, имеется возможность монтировать на высоте с монтажных мостиков. Бригада из 4–5 человек за 5 рабочих дней-смен собирает блок покрытия любой конфигурации в плане размером 1000 м^2 . Возможно заменить аварийные элементы МАРХИ без остановки эксплуатации здания;

Оболочки также имеют высокую производительность и технологичность монтажа. В сравнении с традиционными покрывными материалами, такими как листы поликарбоната или силикатным стеклом, оболочки из ETFE легко собираются без специальной техники и оснастки. В случае механического повреждения пленки ETFE острым предметом или клювом птицы, её можно легко починить специальным скотчем, сделанным на основе такой же пленки.

Экономичность

Конструктивная система МАРХИ показала себя, как исключительно экономичная система по отношению к другим конструктивным системам (фермы, рамы, балки). Экономичность достигается в следующих позициях:

- уменьшение веса конструкции на 30–500 %;
- уменьшение расхода металла – от 14 кг/м²;
- уменьшение стоимости изготовления конструкции – 10–20%;
- уменьшение стоимости монтажа – от 25%;
- уменьшение стоимости транспортировки – от 50%;
- сокращение сроков строительства в 1,5–2 раза.

Долговечность

Конструкции МАРХИ не имеют предела по долговечности при своевременном ремонте. До сих пор успешно используются конструкции, введенные более 50 лет назад.

Результаты испытаний показывают, что светопропускающая способность пленки ETFE снижается всего на 5 % после 20 лет эксплуатации при гарантийном сроке, превышающем 30 лет. В ходе проведенных испытаний фирмой Duneon на старение, после 10 тыс. часов воздействия УФ-излучения (тест Xenontest 150) не было выявлено признаков оптического повреждения ETFE. Фирма AGC в этой связи оценивает начало разрушения углеродной цепи величиной свыше 100 лет.

Опыт экспериментального проектирования в Московском архитектурном институте в рамках курсовых и дипломных проектов демонстрируют большие возможности сочетания пространственных структур на основе конструкций МАРХИ и технологий «подушечных» оболочек из ETFE, что дает основания рекомендовать данный подход для активного строительства в экстремальной среде Арктики.

Список литературы

1. Оценка природно-географических условий для жизни населения и хозяйственной деятельности – URL: <https://geographyofrussia.com/ocenka->

- prirodno-geograficheskix-uslovij-dlya-zhizni-naseleniya-i-xozyajstvennoj-deyatelnosti/ (дата обращения: 20.03.2024).
2. Логинов В.Г., Игнатьева М.Н., Балащенко В.В. Методический подход к оценке комфортности проживания населения в границах северных территорий // Экономика региона – 2018. – Т.14, вып.4. – с. 1399-1410.
 3. Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения российской Арктики. / Рук. авт. колл. Ревич Б.А. – М.: Представительство ООН в Российской Федерации, 2008. – 30 с.
 4. Какими могли быть арктические города. Е. Калеменева. <https://arzamas.academy/materials/1821> (дата обращения: 20.03.2024).
 5. Научно-проектный центр «Виктория». Конструкции системы МАРХИ. <https://makoffd.github.io/> (дата обращения: 20.03.2024).
 6. Компания Лометта – ограждающие конструкции ETFE: <https://lometta.ru/> (дата обращения: 20.03.2024).
 7. Temme // Obermeier. Системы подушек из ETFE-фольги: <https://www.to-experts.com/en/membrane-construction/membrane-roofs/etfe-foil-cushion-roofs/> (дата обращения: 20.03.2024).

**ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЯ
ОТ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ В УСЛОВИЯХ
ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ЯКУТИИ**

**DEPENDENCE OF ENERGY EFFICIENCY OF A BUILDING
FROM ARCHITECTURAL FORM IN CONDITIONS
EXTREMELY LOW TEMPERATURES OF YAKUTIA**

П.С. Семенов, магистрант 1 курса

В.А. Сергучева, архитектор

Д.Ф. Федоров, магистрант 1 курса

С.С. Мухоплев, магистрант 2 курса

И.А. Докторов, доцент

П.Г. Романов, доцент

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»

P.S. Semenov, 1st year master's student

V.A. Sergucheva, architect

S.I. Mukhoplev, 2nd year master's student

D.F. Fedorov, 1st year master's student

I.A. Doktorov, associate professor

P.G. Romanov, associate professor

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov

Аннотация. Реализован комплекс тепловизионных обследований жилых домов в городе Якутске с целью обоснования энергетической эффективности в зависимости от их архитектурной формы.

Ключевые слова: Архитектурная форма, жилые дома, энергетическая эффективность, климат Якутии.

Abstract. A complex of thermal imaging surveys of residential buildings has been implemented in Yakutsk city in order to justify energy efficiency depending on their architectural form.

Keywords: Architectural form, residential buildings, energy efficiency, climate of Yakutia.

Энергетическая эффективность эксплуатации любого здания, в том числе жилого дома, является комплексной функцией, зависящей от многих факторов, таких как:

1. Затраты на строительно-монтажные работы (термосопротивления используемых материалов, их эффективное использования, качество строительства в целом);

2. Затраты на энергообеспечение, энергосбережение, качество и степень автоматизации процессов инженерного обеспечения;

3. Архитектурная форма и объёмно-планировочное решение здания;
4. Другие факторы.

Практика проектирования, строительства и эксплуатации зданий и жилых домов, в частности, в условиях Крайнего Севера Якутии и в других регионах с экстремальными климатическими условиями показала определённую зависимость эффективности и окупаемости в целом, и энергоэффективности на текущих этапах эксплуатации от принятой архитектурной формы.

Данная функциональная зависимость усложняется имеющимися в каждом проектном решении здания, жилого дома, решениями и конструктивными формами дверных и тамбурных групп, разнообразием и характеристиками заполнения оконных проемов и остекленных фасадных поверхностей, узлами соединения частей стен, цокольных и чердачных перекрытий. Важное значение имеют характеристики генерации и потребления тепла, систем автоматизации управления тепловыми и вентиляционными режимами эксплуатации.

Допуская определенную сопоставимость объёмов сравниваемых зданий, характеристик термического сопротивления их ограждающих конструкций, эксплуатационных режимов, возможно оценить эксплуатационные затраты, обуславливаемые именно архитектурной формой.

Архитектурная форма – это зрительно воспринимаемый облик сооружения или его части, и в данной статье под этим термином подразумевается его объёмная форма [1].

Целью проведенного исследования является обследование, в том числе тепловизионное, трех существующих туристских домиков, для определения влияния архитектурной формы на эксплуатационные затраты. Домики находятся в местности «Орто Дойду» (Срединный мир), в 50 километрах от города Якутска, в составе комплекса ЭкоПаркОтель.

Домики под названиями «Торонто», «Осло» и «Токио» расположены на одной ровной площадке, на открытой местности, на опушке леса, на расстоянии от 50 до 100 друг от друга (рис. 1).



Рис. 1. Исследуемые дома:

1 – «Торонто», 2 – «Осло», 3 – «Токио» (фото авторов)

Архитектурная форма исследуемых зданий отличается друг от друга. Так, форма домика «Торонто» сферическая, «Осло» – шатрообразная (т.н.

А-фрейм) и «Токио» – кубическая (квадратная в плане). Первые два дома каркасной (панельной) конструкции, конструкция третьего традиционная, выполненная из бревен. Строительные объемы и площади внешних поверхностей ограждающих конструкций примерно сопоставимы: 179,5/153,86; 147/175; 180/192 ($\text{м}^3/\text{м}^2$) (рис. 2).

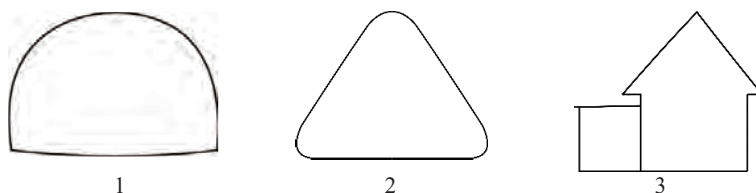


Рис. 2. Формы зданий:

- 1 – сферическая; 2 – треугольная (шатровообразная);
3 – традиционная (схемы авторов)

Тепловизионные обследования были проведены 16.01.2024 г. при температуре наружного воздуха $t_n = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ при безветренной погоде. Следует отметить, что в декабре 2023 года, и в январе 2024 года в г. Якутске морозы достигали $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует многолетним наблюдениям, по данным Якутского гидрометеоцентра [2, 3]. Температура внутреннего воздуха в помещениях $22\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует требованиям ГОСТ 30494-2021 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [5].

Тепловизионные обследования проведены в соответствии с требованиями следующих нормативных документов – ГОСТ 26629-85 «Методы тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций», и СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [4, 6].

Для тепловизионного обследования был использован тепловизор японского производства NEC G100 с диапазоном измерений температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$. с погрешностью измерения температуры $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дополнительно применялся анемометр Testo 405, предназначенный для измерения скорости потока воздуха, температуры, а также объемного расхода. Средства измерения внесены в Госреестр СИ РФ, проверены и откалиброваны.

Ниже приведены термограммы на наиболее характерных участках обследованных домов различных архитектурных форм. Это узлы стыковых соединений стеновых конструкций, а также остекленного фасада со стенами.

На рис. 3 представлена верхняя зона 1 этажа здания «Торонто». В области №1 минимальная температура поверхности составила $24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует температуре помещения. Дефектов в данной термограмме не обнаружено.

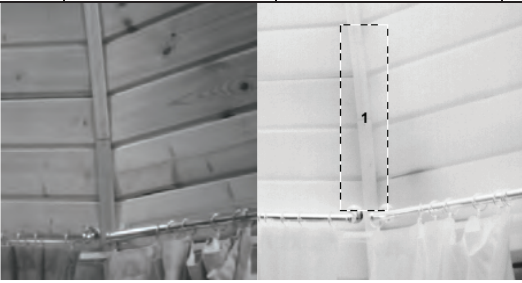
Дата	Время	Температура наружного воздуха, °C	Температура внут- реннего воздуха, °C
16.01		–40	23,3
			
№ Области	Максимальная Температура	Средняя Темпера- тура	Минимальная Тем- пература
1	32,1	27,2	24,3

Рис. 3. Термограмма узлового соединения стеновых конструкций, дом «Торонто»

Характерные термограммы домов «Осло» и «Токио» демонстрируют близкие по характеру процессы термического сопротивления и теплопотерь (рис. 4 и 5).

Дата	Время	Температура наружного воздуха, °C	Температура внутрен- него воздуха, °C
16.01		–40	22,7
			
№ Облас- ти	Максимальная Температура	Средняя Темпера- тура	Минимальная Темпе- ратура
Линия 1	26,2	21,3	18,8
Линия 2	16,4	12,3	10,1

Рис. 4. Термограмма узлового соединения остекленного фасада со стенами, дом «Осло»

В здании типа А-фрейм (домик «Осло»), минимальная температура на поверхности узлового соединения остекленного фасада с шатровообразной стеновой конструкцией составляет 18,1 °С, что не ниже температуры точки росы. Такое значение не приводит к образованию конденсации влаги на поверхности стены. В местах примыкания стеклопакета к оконному профилю наблюдается понижение температуры до 12,3 °С, что также не ниже температуры точки росы, однако при этом превышено нормируемое значение перепада между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены в соответствии с требованиями [6].

В домике «Тойота» бревенчатой конструкции выявлен «мостик холода» по периметру стыка стеновых конструкций (рис. 5). На участке 1 стыкового соединения зафиксирована отрицательная температура –15,5 °С, что явно не соответствует требованиям [6] как по нормируемому перепаду температур, так и по температуре точки росы. Возможно, что такая ситуация образовалась в результате недостаточной проработки конструктивного решения углового соединения стеновых конструкций из бревен.

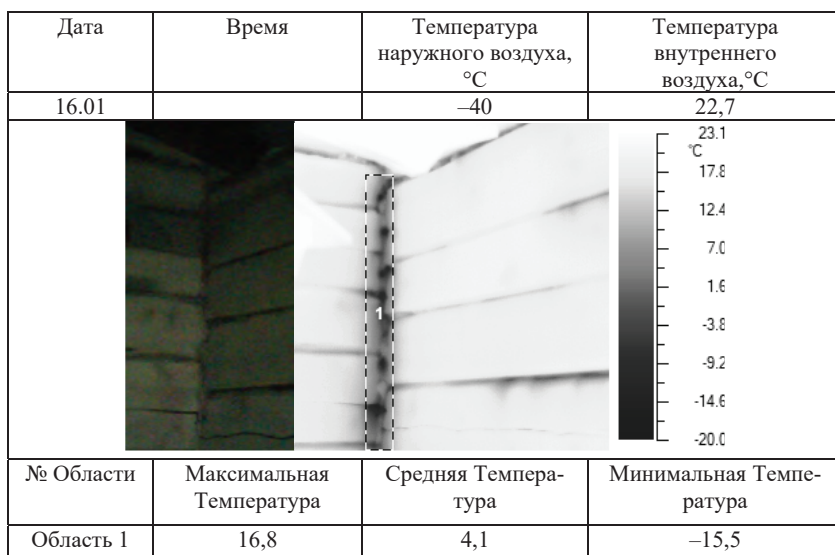


Рис. 5. Термограмма углового соединения стен, дом «Токио»

В результате проведенного тепловизионного обследования можно сделать следующие выводы:

1. Оптимальным с точки зрения энергоэффективности, из трех видов рассмотренных зданий, является здание сферической формы. Наблюдается некоторая зависимость энергоэффективности здания от соотношения строительного объема к общей площади внешних поверхностей ограждающих конструкций.

2. В исследованном здании шатровообразной формы выявлены незначительные теплопотери в местах примыкания стеклопакета к оконному профилю, что может быть связано с применяемым типом уплотняющей прокладки для окон.

3. В исследованном здании традиционной формы бревенчатой конструкции выявлен «мостик холода» по периметру углового стыка стеновых конструкций, где наблюдаются отрицательные значения температуры поверхности до $-15,5^{\circ}\text{C}$. Возможно это связано с недостаточной проработкой конструктивного решения углового соединения стеновых конструкций из бревен.

4. Дальнейшие экспериментальные исследования зданий различных архитектурных форм будут реализованы с целью разработки конструктивных решений ограждающих конструкций, снижающих тепловые потери, и выявления резервов для повышения их энергетической эффективности.

Список литературы

1. Терминологический словарь по строительству на 12 языках (ВНИИИС Госстроя СССР). Актуализирован 01.10.2008.
2. <https://world-weather.ru/pogoda/russia/yakutsk/december-2023/>.
3. <https://world-weather.ru/pogoda/russia/yakutsk/january-2024/>.
4. ГОСТ 26629-85 «Методы тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций».
5. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
6. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

**СПЕЦИФИКА ВОЗВЕДЕНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ
В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

**SPECIFICITY OF CONSTRUCTION OF
ARCHITECTURAL STRUCTURES
IN NORTHERN REGIONS TAKING INTO ACCOUNT THE FEATURES
OF EXTREME CLIMATE CONDITIONS**

В.А. Ледовских, студентка 4 курса

В.Р. Орлова, студентка 4 курса

Г.И. Быкова, доцент, кандидат архитектуры

Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

V.A. Ledovskikh, 4th year student

V.R. Orlova, 4th year student

G.I. Bykova, PhD, associate professor

The State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

Аннотация. В статье отражены особенности возведения архитектурных объектов в условиях Арктического Севера, а также специфика формирования мобильной аква-архитектуры, являющейся экологически ориентированной и использующей высокие технологии. Учет специфики климата нужен для выявления оптимальных вариантов, дающих возможность предотвратить деформацию суши прибрежных районов из-за затоплений, образованных таянием вечной мерзлоты и повышением уровня воды в Арктических морях. В рамках адаптации архитектуры к условиям повышения уровня мирового океана рассматриваются различные подходы к строительству, включая возведение зданий на плавучих основаниях, на свайных конструкциях, внутри защитных дамб, а также на искусственных островах.

Ключевые слова: глобальное потепление, колебания климата, повышение уровня воды мирового океана, разрушение мерзлых грунтов, деградация инфраструктуры, способы адаптации архитектуры, аква-архитектура.

Abstract. The article discusses the unique challenges faced in constructing architectural structures in the Arctic North, focusing on the formation of environmentally friendly mobile aqua-architecture utilizing advanced technologies. It is crucial to consider the impact of the harsh climate on coastal areas, such as the deformation caused by melting permafrost and rising sea levels. In response to these challenges, various innovative construction approaches are explored, including building on floating foundations, pile structures, protective dams, and artificial islands.

Keywords: global warming, climate change, rising sea levels, degradation of permafrost, infrastructure destruction, architectural adaptation methods, aqua-architecture.

В настоящее время широко обсуждается проблема изменения климата. Росгидромет информирует, что в Арктической зоне России происходит значительное потепление. За последние десять лет по сравнению со средними значениями произошло потепление на 0,8 градусов Цельсия. Одной из причин этого может быть увеличение парниковых газов в атмосфере.

В 2015 году выявлено, что за последние сорок лет наблюдений со спутников площадь льда на морях Северного Ледовитого океана рекордно сократилась.

Эксперты ООН сообщают, что уровень мирового океана поднялся на 10-20 см. Это намного выше средних значений за две тысячи лет.

Подобные процессы ведут к нагреванию почвы в криолитозоне и увеличению глубины сезонного оттаивания многолетнемерзлых грунтов во многих районах Арктики.

Меняющийся климат в арктической зоне ведет к активному повышению глубины сезонного оттаивания многолетнемерзлых грунтов, поскольку температура верхней части почвы постепенно нагревается, что снижает ее прочность. Все это приводит к разрушению построек в прибрежной полосе, а также отрицательно влияет на состояние дорог, мостов, портовых сооружений, тоннелей и всей транспортной инфраструктуры. Первоначально все это проектировалось без расчета на изменения климата [1] (рис. 1).

В результате глобального потепления наблюдается не только повышение температуры многолетнемерзлых грунтов, но и снижение их прочности, что усиливает геокриологические процессы, такие как термокарст, соляфлюкция и неравномерные осадки почвы.



Рис. 1. Разрушение инфраструктуры из-за проседания грунта вследствие таяния льдов¹⁰

Расчеты специалистов показывают, что к 2050 году в результате глобального потепления может произойти деформация до 70% такой инфраструктуры (рис. 2).

¹⁰ <https://www.geo.de/natur/oekologie/permafrost-boeden-in-nordeuropa-vor-dem-aus-31704260.html>

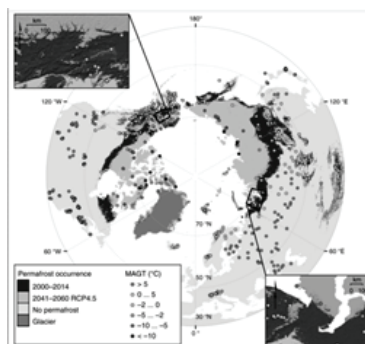


Рис. 2. Зонирование вечной мерзлоты в настоящем и будущем времени¹¹

Теперьшняя протяженность вечной мерзлоты, обозначенной фиолетовым цветом, включает ее будущее расположение, покрашенное зеленым цветом. Размещение и фиксируемая среднегодовая температура грунта (MAGT) точек данных размещены в виде цветных кружком [2].

В журнале Nature Communications, учеными из Финляндии, Норвегии и США, показаны результаты разработки уточненной карты многолетнемерзлых грунтов. Здесь выявлена инфраструктура, находящаяся в зоне возможного риска. Показано как таяние многолетнемерзлых грунтов может повлиять на состояние объектов. Разработана карта с высоким разрешением и указанием зон риска с возможным ухудшением несущей способности грунта. Все это, возможно, приведет к деформации зданий и сооружений жилищного, транспортного и промышленного назначения к середине этого столетия.

Оказалось, что почти 70 % арктической инфраструктуры будут расположены в зоне риска таяния многолетнемерзлых грунтов к 2050 году. Это влияет на 1200 городов и поселений, а также 3000 км нефте- и газопроводов, что аналогично с протяженностью от Москвы до Новосибирска. Около 33 % всей инфраструктуры расположено в зонах со значительной долей грунтового льда, ведущей к риску таяния мерзлоты. Поэтому очень важно разработать стратегии адаптации архитектуры к изменяющимся условиям, включая подъем уровня моря.

В настоящее время активно изучается направление «акватории» - создания объектов, адаптированных к подъему уровня моря, выявляются причины, ведущие к риску обострения разрушительной гидрометеорологической. В настоящее время активно изучается направление «акватории» – создания объектов, адаптированных к подъему уровня моря, выявляются причины, ведущие к риску обострения разрушительной гидрометеорологической ситуации. Колонизация океанов является одним из перспективных

¹¹https://cdn-media.tass.ru/width/1020_b9261fa1/tass/m2/uploads/i/20190830/5145125.jpg

направлений, нормализующих состояние земной поверхности. Объединенные территории океанических городов могут стать одним из значимых достижений, по мнению футуролога-исследователя Ж. Фреско, изучавшего параметры проектирования городов будущего [5].

Подобные «морские города», по его мнению, могут стать основой для улучшения аквакультуры, опреснению воды, производству электроэнергии и глубоководной добыче полезных ископаемых. Все это уменьшит нехватку подобных ресурсов и обеспечит человечество неиссякаемыми ресурсами для промышленного производства и жизни.

Одним из инновационных подходов является создание объектов на водозмещающих основаниях, как демонстрирует проект «Lilypad» – плавающий город, представленный на выставке ЭКСПО в Южной Корее (рис. 3). Этот город, дизайн которого вдохновлен водяной лилией, может вместить 50 тысяч жителей, предлагая уникальное сосуществование человека и природы, с лагуной в центре и экзотическими растениями и фруктовыми садами вокруг нее, а также рыбной фермой в подводной части.



Рис. 3. Проект эколопса «Lilypad» by architect Vincent Callebø¹²

Другим способом улучшения территории затопления может быть использование зданий и сооружений на сваях как в отеле Svart, это дом в виде кольца, окруженного красивой природой в зоне полярного круга около норвежского ледника Свартисен. Авторы – архитектурное бюро Snohetta, Аналог – опыт строительства на сваях народных норвежских рыбацких хижин минимально воздействующих на окружение. Здесь можно кататься на лодках прямо под зданием (рис. 4).

Возведение объектов внутри защитных дамб предлагают зодчие из Великобритании. Это проект «Морской город», являющийся островом из стекла и бетона, находящийся на мелководьях океанов и функционирующий как город на 30000 жителей, способен обеспечить себя всем необходимым. Это экономически выгодный проект и эстетически благоприятное место для пребывания. Он представлен объемным амфитеатром с гибкими

¹²<https://itcrumbs.ru/wp-content/uploads/2020/02/gorod2.jpg>

сочленениями. Это позволяет воде циркулировать и образует модульную систему. «Морской город» является пространством с искусственно созданным климатом, с многоуровневыми трибунами – многоэтажными зданиями, создающими защищенную лагуну с плавающими островами и волнорезами. Острова в лагуне являются треугольными бетонными понтонами, зафиксированными якорями.



Рис. 4. Проект отеля «Svart» by Snohetta¹³

Один из способов приспособления к наводнениям является возведение сооружений на островах. Примером может служить остров Феникс, разработанный студией MAD architects для центра города Санья на острове Хайнань в Китае и являющийся искусственным островом в море длиной 1250 метров и шириной – 350 метров. Это международный центр туризма и отдыха [5].

Таким образом, в настоящее время ведутся исследования по предотвращению тяжелых последствий от разрушающегося ледяного покрова тающих арктических льдов. Вариантами предотвращения бедствий является возведение поселений на воде. Они могут включать в себя плавучие города, мобильные платформы и экологически устойчивые дома на плавучих основаниях. Это может обеспечить безопасное проживание для людей, а также создавать условия для охраны природной среды и снижения вредных изменений климата.

Способами создания подобных поселений могут быть: адаптивная плавучесть, автономность управления, экологическая рециркуляция, резистентность к вредоносным условиям, а также возможность трансформации планировки и модульная агрегация окружения.

Здесь могут применяться новейшие технологии, такие как 3D печать. Это даст возможность возводить и эксплуатировать подобные сооружения, обеспечивая высокую степень комфорта и безопасности для проживающих, что поспособствует сбережению ресурсов и сокращению отрицательного воздействия на окружающую среду.

Экспериментальное моделирование показало эффективность выработанных положений, создавая условия для воплощений в жизнь широкой

¹³ https://naked-science.ru/wp-content/uploads/2018/02/field_image_1_962-1024x653.jpg

палитры функциональных задач, позволяя соответствовать современным климатическим требованиям.

Список литературы

1. Быкова Г. И. Специфика формирования архитектуры в условиях динамики природно-климатических изменений Арктического региона / Г.И. Быкова, М.А. Гриппас. // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель – 2021 - Том 16, № 12 - С. 425-432.
2. Быкова Г. И. Динамика климатических изменений воздействующих на объекты инфраструктуры и архитектуры в Арктическом регионе / Г.И. Быкова, М.А. Гриппас // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель – 2021 - Том 16, № 6 - С. 916-925.
3. Кизилова С.А. Резервная аква-архитектура как стратегия формирования безопасной среды обитания «Общества 5.0» / С.А. Кизилова // Наука, образование и экспериментальное проектирование. – 2020. – Science, education and experimental design. – с. 220-223. (дата обращения: 04.12.24). – DOI: DOI: 10.24411/9999-034A-2020-10048.
4. Зуев, О. Ю. Современные способы обеспечения автономности резервного мобильного жилища в водной среде / О. Ю. Зуев, Г. И. Быкова // Актуальные исследования. – 2023. – № 49-1(179). – С. 70-75.
5. Hjørt, J., Karjalainen, O., Aalto, J. et al. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century. Nat Commun 9, 5147 (2018).

КОНЦЕПЦИЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА С АГРОТЕХНОПАРКОМ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

THE CONCEPT OF A SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL CENTER WITH AN AGROTECHNOPARK IN THE FAR NORTH

А.В. Денисова, магистрант I курса

Н.В. Каспер, канд. арх., доцент

Государственный Университет по землеустройству, Москва, Россия

A.V. Denisova, 1st year master's student

N.V. Kasper, PhD, associate professor

State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

Аннотация. Научно-образовательный центр (НОЦ) с агротехнопарком в составе является элементом региональной инновационной инфраструктуры и обеспечивает продовольственную безопасность и повышение конкурентноспособности отечественной продукции в условиях Крайнего Севера.

Ключевые слова: научно-образовательный центр, агротехнопарк, Нарьян-Мар, гидропоника, аэропоника, Крайний Север.

Abstract. The Scientific and Educational Center (SEC) with an agrotechnopark is an element of the regional innovation infrastructure and ensures food security and increasing the competitiveness of domestic products in the Far North.

Keywords: scientific and educational center, agrotechnopark, Naryan-Mar, hydroponics, aeroponics, The Far North.

Арктическая зона имеет важнейшее стратегическое значение для России. В Стратегии развития Арктической зоны до 2035 года (далее – Стратегия) среди приоритетных задач поставлены развитие отечественной высокотехнологичной промышленной базы, в т.ч. тепличных хозяйств, развитие сети центров опережающей профессиональной подготовки по стратегически важным направлениям, более тесное сотрудничество научных и образовательных организаций с промышленными предприятиями [1].

Традиционной проблемой жителей Крайнего Севера является низкий уровень развития социальных услуг, отсутствие качественной благоустроенной среды в населённых пунктах, недоступность многих товаров и их высокие цены, в т.ч. и продуктов питания, вследствие дорогой логистики.

Данное исследование посвящено проблемам развития научно-образовательной и производственной базы для обеспечения продовольственной безопасности в Ненецком автономном округе (НАО). Стратегией также предусматривается здесь открытие агротехнопарков, а также развитие научно-образовательного потенциала [1].

Важнейшую роль в поддержании высокого качества жизни человека играет питание. Норма ИП РАН по потреблению человеком тепличных овощей и зелени в год составляет около 13 кг, на сегодняшний день НАО обеспечивает себя тепличными овощами лишь на 15%, а значит, потребитель переплачивает в итоге за транспортировку и испытывает дефицит. Население Нарьян-Мара 24000 жителей, а в целом население округа ~ 40 000 тыс. жителей.

Не менее остро в городе ощущаются проблемы нехватки рабочих мест, нехватки качественного жилья и инфраструктуры, несоответствие профессиональной образовательной среды реальным запросам округа, что в целом ведёт к заметному оттоку молодёжи из региона.

Цель исследования – определение современных подходов к архитектурному проектированию научно-образовательных центров (НОЦ) с агротехнопарком в условиях крайнего севера на примере концептуальной архитектурной модели НОЦ с агротехнопарком в г. Нарьян-Маре (НАО).

Стоит отметить, что высокий уровень развития инженерно-строительных технологий позволяет сегодня формировать агротехнопарки и выращивать овощи в теплицах независимо от температуры за окном. Недостаток искусственного освещения компенсируется экономичными лампами специального спектра. Технологии гидропоники и аэропоники позволяют максимально интенсивно использовать полезную площадь теплицы.

С точки зрения кадрового потенциала стоит отметить, что в столице НАО Нарьян-Маре действует Ненецкий аграрно-экономический техникум. Представляется целесообразным формирование на его базе НОЦ с экспериментальным тепличным хозяйством, который позволил бы готовить необходимые кадры для развития агропромышленного комплекса региона, а с другой частично обеспечивать жителей города овощами собственного производства.

НОЦ сегодня стали важнейшими элементами системы создания новых технологий, знаний, умений и инноваций, таким образом, способствуют социально-экономическому росту регионов. Сегодня в России существует 15 крупных НОЦ международного уровня. На основе таких объединённых научно-образовательных систем и создаются агротехнопарки, технопарки, инновационные кластеры. («Сколково», «Титановая долина», «Иннополис» и др.) [2].

НОЦ с агротехнопарком – полифункциональный комплекс, включающий в себя все функции НОЦ, но при этом имеющее в своём составе дополнительно научно-производственный полигон для отработки новой техники и технологий выращивания [6].

Информационно-правовую базу исследования составляют Указы Президента РФ и постановления Правительства РФ, Министерства образования и науки РФ. Теоретическую базу исследования составляют научные труды в области архитектурного формирования НОЦ (Пучков М.В.), проектирования агротехнопарков (Демидова М.А.) [3, 4], а также развития северного земледелия в целом, в частности, Журавского А.В., являющегося основателем сельскохозяйственной науки на Европейском Севере России [5].

В результате проведённого анализа теоретической базы исследования и существующих НОЦ, установлены основные приёмы формирования их объёмно-пространственной композиции: смещение помещений по уровням или по смежным пространствам, разделение помещений НОЦ по блокам, что обеспечивает гибкость и вариативность пространств. Нередко встречаются НОЦ, построенные на принципе объединения в одном блоке разных дисциплин (НОЦ ядерной медицины в Университете Цзинань, Гаунчжоу, КНР) [2].

Как отмечается в исследовании Пучкова М.В., «...на смену приёму «каждому блоку-корпусу своя функция» сейчас приходит приём «каждому этажу своя функция...» [2]. Наряду с традиционным выделением в архитектуре НОЦ функциональных групп пространств (традиционный подход), встречается также выделение основного многофункционального пространства, выстраивание индивидуальной планировочной организации с учётом образовательного сценария.

Кроме того, большое внимание при проектировании современных НОЦ уделяется экологичности и энергосбережению, что особенно актуально в условиях Крайнего Севера.

Основными функциональными элементами центров, как правило, являются учебные, научные, административные, рекреационные зоны, досуговые, коммуникационные, информационные, презентационные пространства и т.д. [7]. Коммуникационно-рекреационные узлы могут быть представлены крытыми дворами, внутренними садами, амфитеатрами и являться центральным смысловым пространством, объединяющим центром композиции.

На основе выявленных принципов и подходов к проектированию современных НОЦ, в рамках выполнения автором выпускной квалификационной работы была разработана концепция НОЦ с агротехнопарком на территории города Нарьян-Мар (рис. 1).

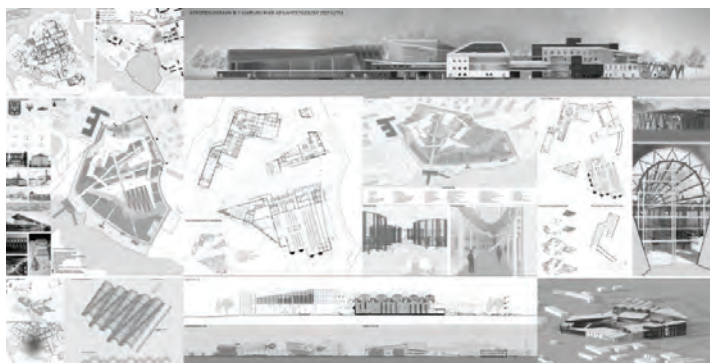


Рис. 1. Концепция научно-образовательного центра с агротехнопарком в Нарьян-Маре (автор проекта А.В. Денисова)

Объект проектируется в развитие научно-образовательной базы существующего аграрно-экономического техникума и высокотехнологичного производства, обеспечивающего город сельскохозяйственной (растительной) продукцией. Рядом находится озеро Городецкая Курья, территория не является подтопляемой. Город расположен за Северным полярным кругом, вблизи реки Печоры. Климат в Нарьян-Маре субарктический, город входит в зону распространения локальной вечной мерзлоты. Средняя температура в январе -21°C , в июле $-9,6^{\circ}\text{C}$. Невозможность заниматься овощеводством на открытой земле обуславливается непригодностью мерзлых грунтов и недостаточной инсоляцией. Тепличные технологии гидропонники и аэропонники как раз позволяют решить данные проблемы [8].

Площадь участка – 4,2 га. Территория находится недалеко от центра города и имеет хорошую транспортно-пешеходную доступность. До аэропорта Нарьян-Мара – 6,6 км (12 минут на машине). Главная подъездная дорога к участку переходит в Лая-Волжскую дорогу, соединяющую Нарьян-Мар и Усинск (Республика Коми). Основной грузовой поток в летнее время приходится на водный транспорт. В зимнее – осуществляется по зимнику (рис. 2, 3).

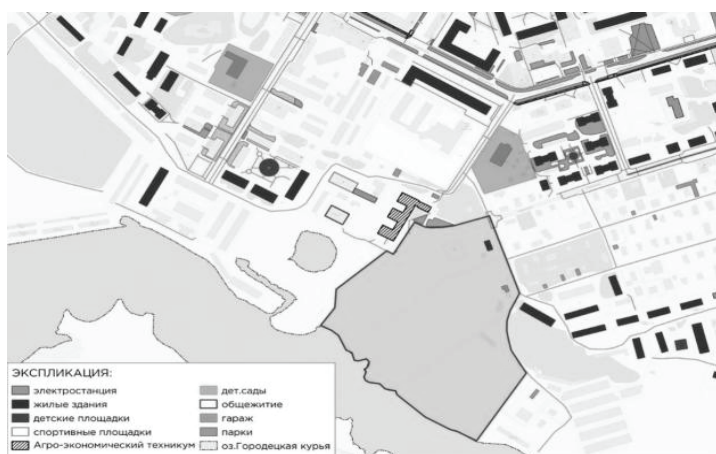


Рис. 2. Выбранный участок проектирования (автор проекта А.В. Денисова)

Проектируемый объект включает научный, образовательный, производственный модули, спроектированные исходя из климатических особенностей Крайнего Севера.

Центральную ось композиции генплана составляет небольшой пешеходный бульвар, ведущий от главной улицы до пристани и пляжной территории. Зонирование произведено с учётом разделения пешеходных и транспортных потоков. Модули агропромышленного комплекса образуют замкнутый внутренний двор, главная ось которого выходит на озеро Горо-

децкая Курья. Главный фасад просматривается с улицы Пустозёрская. Со стороны техникума видны научно-исследовательский, образовательный и жилой блоки.



Рис. 3. Транспортная доступность территории (автор проекта А.В. Денисова)

На генплане предусмотрены торгово-выставочная, прогулочная, пляжно-причальная зоны (для свободного доступа горожан), зона научно-исследовательского центра, жилая, промышленная, парковочная, хозяйственная (рис. 4).

Компактно расположенные функциональные блоки защищают внутренний двор от холодных северных ветров и создают более комфортное пространство для пребывания людей. По аналогичному принципу вокруг зеленого атриума формируются помещения учебного блока.

Все модули агротехнопарка соединены тремя крытыми переходами. В северной части комплекса располагаются вестибюль, фойе, научный блок, помещения хранения, бизнес-инкубатор, в юго-западной и юго-восточной – образовательный блок, в южной части - производственные теплицы.

Архитектура НОЦ формируется 3 обособленными зданиями:

1. Многофункциональный центр с образовательными, научно-исследовательскими и жилыми пространствами;
2. Здание торгово-выставочного назначения;
3. Агрокомплекс (производственное здание).

Первый блок включает общественную, образовательную, научно – исследовательскую зоны, а также общежитие для студентов и ресторан. В каждую зону предусмотрен отдельный вход с улицы.

Научно-исследовательская зона включает экспериментальные лаборатории, селекционные станции, зал с климатическими камерами и агрохи-

Одной из задач проекта было снижение влияния на здания экстремальных средовых факторов Крайнего Севера: вечномёрзлых грунтов, холодного порывистого ветра, давления значительных снежных масс и нерегулярной смены суток.



Для этого в проекте предлагаются следующие меры: применение двойного тамбура, подъём здания на опоры, применение технологии свайного фундирования (для снижения трудоёмкости закладки фундаментов в

десять раз, заносов снега у стен и передачи тепла от зданий в грунт), устройство скосов в нижней части ограждающих конструкций (для сохранения вечномёрзлых грунтов и направления потока ветра под здание для охлаждения грунтов и уменьшения снежных заносов), использование термотрубок с цифровыми термодатчиками (для контроля за безопасностью объекта), установка сейсмодатчиков (для фиксации колебаний строительных конструкций объектов, реагирующих на отклонения железобетонных конструкций фундаментов), применение светопоглощающих панелей, применение экологических клеёно-деревянных CLT-панелей [9].

Стилистика проектируемого здания продиктована градостроительным контекстом. В основу художественной идеи положен контраст простоты и северной сдержанности снаружи и элегантности, уюта и тепла внутри (во внутреннем дворе и внутри зданий).

Концепция НОЦ с агротехнопарком способствует улучшению качества жизни народа Крайнего Севера, повышению уровня образования и развитию наукоемких технологий по приоритетным направлениям региона, развитию высокотехнологичного земледелия и уменьшению дефицита овощей в регионе, созданию новых рабочих мест. Кроме того, яркий архитектурный облик НОЦ и качественное благоустройство территории с уютным, закрытым от ветров бульваром и двором, позволят ему стать одним из узнаваемых мест города, новым местом притяжения не только для студентов и профессионалов в области выращивания овощей в экстремальных условиях Крайнего Севера, но и для всех жителей и гостей города.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации №645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года», утв. 26.10.2020 (в ред. Указов Президента РФ от 12.11.2021 N 651, от 27.02.2023 N 126).
2. Пучков, М. В. Теоретические основы архитектурно-пространственного формирования научно-образовательных комплексов: специальность 2.1.11: автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора архитектуры/ Пучков Максим Викторович; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022.
3. Демидова М. А. Агрообъекты в городской среде / М.А. Демидова, А.С. Карпов, В.Д. Волков, Е.П. Гороновская и др.// Наука, образование и экспериментальное проектирование. 2022. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agroobekty-v-gorodskoy-srede> (дата обращения: 19.03.2024).
4. Иванов, В. А. Роль аграрного сектора Севера в обеспечении продовольственной безопасности и социально-экономическом развитии сельских территорий / В. А. Иванов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2011. – № 2(14). – С. 117-127.

5. Папаскири Т.В., Вершинин В.В., Ананичева Е.П. Формирование аграрного учебно-научно-производственного кластера (агротехнопарк) // МСХ. 2024. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-agrarnogo-uchebno-nauchno-proizvodstvennogo-klastera-agrotehnopark> (дата обращения: 19.03.2024).
6. Суходольская, А. П. Агротехнопарк как инновационная структура АПК / А. П. Суходольская // Символ науки: международный научный журнал. – 2020. – № 3. – С. 107-110.
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Ненецкого автономного округа в 2021 году»: гос. доклад / Департамент природных ресурсов, экологии и агропромышленного комплекса Ненецкого автономного округа [и др.]. – электронная версия. – Нарьян-мар: Департамент природных ресурсов, экологии и агропромышленного комплекса Ненецкого автономного округа. 2022. – 141 с. (дата обращения 19.03.2024).
8. Грек А.В. Арктический город будущего: как строятся фантастические дома на Крайнем Севере // TechInsider : электрон.журн. 2022. URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/1547718-arkticheskiy-gorod-budushchego-kak-stroyatsya-fantasticheskie-doma-na-kraynem-severe/> (дата обращения 19.03.2024).
9. Ильвицкая, С. В., Каспер Н.В. Перспективные направления развития архитектурного образования в рамках аграрного вуза (на примере архитектурного факультета Государственного Университета по Землеустройству) // Архитектура и строительство России. – 2022. – № 2(242). – С. 108-113.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ФОТОБИОРЕАКТОРОВ
НА ОСНОВЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ: СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
В АРКТИКЕ**

**OPTIMIZATION OF MICROALGAE-BASED PHOTOBIOREACTORS:
CURRENT TRENDS AND PROSPECTS OF APPLICATION
IN THE ARCTIC**

Д.Ю. Ткачева, магистрант 2 курса

С.А. Галеев, канд. арх., заведующий кафедры «Архитектура Экстремальных Сред»,
Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

D. Y. Tkacheva, 2nd year master's student

S.A. Galeev PhD, Head of the Department "Architecture of Extreme Environments",
Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia

Аннотация. Данная статья рассматривает актуальность исследований в сфере применения и оптимизации фотобиореакторов, а также условий культивирования микроводорослей. Проводится комплексный анализ современных тенденций и существующих методологий, помимо этого проводится исследование возможных перспектив применения данной технологии в специфических условиях Арктического региона. В статье представлены основные цели и задачи такого исследования, выводятся достигнутые результаты, анализируется их практическая значимость.

Ключевые слова: фотобиореакторы, микроводоросли, биотопливо, архитектура арктики, альтернативная энергетика, инновационные технологии, возобновляемые источники энергии, адаптивные технологии.

Abstract. This article examines the relevance of research in the field of application and optimization of photobioreactors, as well as microalgae cultivation conditions. A comprehensive analysis of current trends and existing methodologies is being carried out, in addition, a study is being conducted on the possible prospects for using this technology in the specific conditions of the Arctic region. The article presents the main goals and objectives of such a study, summarizes the results achieved, and analyzes their practical significance.

Keywords: photobioreactors, microalgae, biofuels, Arctic architecture, alternative energy, innovative technologies, renewable energy sources, adaptive technologies.

На данный момент общество столкнулось с растущим потреблением энергии и острой необходимостью сокращения выбросов парниковых газов для противодействия глобальному потеплению, что стало для него двойным вызовом [5]. Традиционные источники энергии, такие как газ, уголь, бензин и прочие, не только иссекаемы, но и способствуют загрязнению окружающей среды [6]. В данном контексте развитие возобновляемой

энергетики становится приоритетной задачей для учёных и инженеров всего мира.

Биотопливо, являясь одним из видов возобновляемой энергии, привлекает все большее внимание. Однако биотопливо первого поколения, производимое из пищевых культур, способно составить конкуренцию продовольственному сектору, хотя и требует значительных земельных ресурсов.

Микроводоросли (МВ) представляют собой привлекательную альтернативу в качестве средства для производства биотоплива третьего поколения [4]. Ключевыми преимуществами МВ являются высокая скорость роста, упрощенная система культивации в водоемах (включая сточные воды), а также потенциально гораздо более высокую продуктивность по биомассе и липидам по сравнению с наземными растениями [2]. Это делает их перспективным сырьем для производства биодизеля, биоэтанола и биогаза [15].

Актуальность исследования оптимизации фотобиореакторов на основе микроводорослей обусловлена необходимостью повышения экономической эффективности и экологической устойчивости процессов получения биотоплива. Несмотря на значительный потенциал МВ, их широкомасштабное применение в энергетике сдерживается высокой себестоимостью производства биомассы и ее переработки [6]. Оптимизация условий культивирования и конструкций фотобиореакторов имеет решающее значение для снижения капитальных и эксплуатационных затрат [11].

Особую актуальность приобретают исследования в контексте Арктического региона. Развитие Арктики требует надежных и экологически чистых источников энергии, а доставка традиционного топлива в удаленные районы сопряжена с высокими логистическими затратами и экологическими рисками. Использование местного возобновляемого сырья, такого как микроводоросли, адаптированные к холодным условиям, может способствовать энергетической независимости и устойчивому развитию региона. Интеграция систем культивирования МВ с существующими промышленными объектами в Арктике (например, для утилизации отходящего тепла и CO_2) может создать синергетический эффект и повысить рентабельность [8].

Целью настоящего исследования является анализ современных тенденций оптимизации фотобиореакторов, производящих биотоплива основе водорослей и независимая оценка перспектив применения данной технологии в условиях Арктики. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Анализ преимущества использования микроводорослей в качестве сырья для производства биотоплива третьего поколения;
2. Исследование типологии фотобиореакторов и методов культивации микроводорослей;
3. Определение ключевых параметров оптимизации условий культивации микроводорослей для повышения объема получаемой биомассы.

4. Оценка современного состояния и дальнейших перспектив применения данной технологии;

5. Выявление специфических вызовов и потенциальных возможностей применения фотобиореакторов данного типа в арктических условиях;

6. Обоснование архитектурно-технологических решений, возможных к применению с целью адаптации фотобиореакторных комплексов к климату Арктики.

Исследование основано на методологии теоретического анализа и синтеза научных публикаций, посвященных культивированию микроводорослей, оптимизации фотобиореакторов, производству биотоплива и аспектам применения данных технологий в различных климатических условиях, включая Арктику. Проведен обзор отечественных и зарубежных источников, представленных в предоставленном списке литературы.

Анализировались данные о продуктивности различных штаммов микроводорослей, влиянии физико-химических параметров (температура, освещенность, концентрация CO_2 , состав питательной среды) на их рост и биохимический состав, конструктивных особенностях фотобиореакторов различных типов (открытые, закрытые трубчатые, панельные и др.), методах сбора и переработки биомассы, а также результатах пилотных и промышленных проектов. Особое внимание уделено информации, касающейся интеграции систем культивирования МВ с источниками отходящих ресурсов (CO_2 , тепло, сточные воды) и возможностям адаптации технологий к экстремальным условиям [9].

Методы синтеза позволили обобщить полученные данные, выявить ключевые тенденции в развитии области, определить основные проблемы и перспективные направления исследований. Проведена оценка теоретической и практической значимости выявленных результатов для дальнейшего развития биоэнергетики на основе микроводорослей, в частности, в условиях Арктики.

Микроводоросли как источник альтернативного топлива

Интенсивный рост населения и увеличение потребления энергоресурсов привели к сокращению запасов ископаемого топлива. Использование традиционных видов топлива также усугубляет экологические проблемы, связанные с эмиссией парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу [5]. Эти факторы стимулируют поиск и разработку альтернативных источников энергии. Биотопливо, производимое из возобновляемого биологического сырья, является одним из наиболее перспективных направлений в этой области. По мнению профессора Милтона Соммерсфилда (лаборатория исследований водорослей и биотехнологий, университет штата Аризона), многообразие дисциплин, количество вовлеченных людей, появление инноваций в системе возделывания культур, технология производства и выделения целевого продукта, а также фундаментальные исследования в биологии – все это дает предвкушение от нахождения решения ост-

рых вопросов: как сделать переработку водорослей в биотопливо экономически целесообразной и предпринимательской деятельностью, осуществляемой на принципах неистощительного природопользования [7].

Биотопливо представляет собой продукт переработки животного или растительного сырья и биологических отходов. К основным видам биотоплива относятся биоэтанол, биодизель, бионефть и биогаз [5]. Преимуществами биотоплива являются его высокая эффективность, потенциально более низкая стоимость и минимальное негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с ископаемым топливом [1]. В зависимости от типа исходного сырья и технологии переработки выделяют три поколения биотоплива. Первое поколение основано на использовании пищевых сельскохозяйственных культур (кукуруза, соя, рапс), что сопряжено с конкуренцией за земельные ресурсы и влиянием на цены на продовольствие. Второе поколение использует неприпищевое растительное сырье, отработанные масла и отходы, что требует значительных капиталовложений в технологии [2]. Микроводоросли являются ключевым сырьем для биотоплива третьего поколения. Благодаря высокой скорости роста и способности накапливать значительное количество липидов, микроводоросли демонстрируют потенциально гораздо более высокую продуктивность на единицу площади по сравнению с традиционными масличными культурами. В Таблице 1 представлено сравнение объемов биотоплива, получаемых из различных культур [3].

Методы культивирования микроводорослей и условия

Эффективное культивирование микроводорослей является критическим этапом для рентабельного производства биотоплива [5]. Существуют два основных типа систем культивирования: открытые пруды (рис. 1) и закрытые фотобиореакторы (ФБР) (рис. 2) [5].

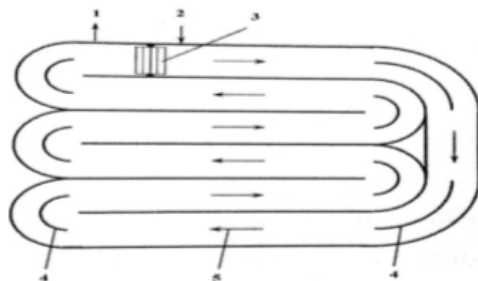


Рис. 1. Схема открытого пруда:

- 1 – сбор водорослей; 2 – исходный поток; 3 – колесная мешалка; 4 – отражатели;
5 – направление потока¹⁴

¹⁴ <https://www.vo-da.ru/articles/energoeffektivnye-los/kultivirovanie-mikrovodorosley>

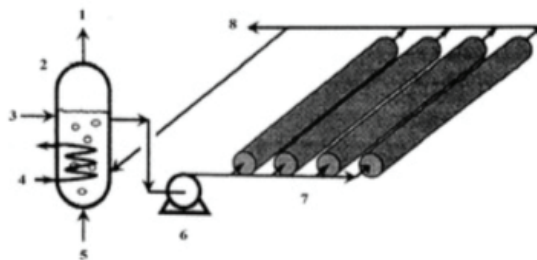


Рис. 2. Схема закрытого фотобиореактора:

- 1 – отходящие газы; 2 – дегазационная колонна; 3 – исходный субстрат;
4 – охлаждающая вода; 5 – воздух; 6 – насос; 7 – батарея из прозрачных трубок;
8 – сбор водорослей¹⁵

Открытые пруды являются исторически первыми и наиболее простыми системами, представляющими собой неглубокие каналы, в которых водоросли растут в условиях, близких к естественным [5]. Несмотря на низкие капитальные и эксплуатационные затраты, они подвержены контаминации, значительным потерям воды на испарение и затрудняют точное поддержание оптимальных параметров среды, что ограничивает рост биомассы [5].

Закрытые фотобиореакторы разработаны для преодоления недостатков открытых систем, обеспечивая контроль над условиями культивирования и защиту от загрязнений. Различные конструкции ФБР, такие как трубчатые, панельные [11] и эйрлифтные [11], изготавливаются из прозрачных материалов для эффективного проникновения света. Оптимальные условия культивирования, включая температуру, освещенность, концентрацию CO_2 и состав питательной среды, играют решающую роль в максимизации прироста биомассы и накопления липидов.

Для штамма *Chlorella vulgaris*, например, оптимальная температура культивирования составляет 34-36 °C [1]. Температура в диапазоне 20-30 °C обычно считается приемлемой для большинства видов, однако ее колебания могут снижать урожайность [4]. Освещенность 20-25 клк и подача углекислого газа в концентрации 2-10 % значительно ускоряют прирост биомассы [1]. Оптимальная концентрация CO_2 может варьироваться от 0,8 до 10 % в зависимости от штамма и условий. Повышение температуры в определенных пределах также стимулирует рост. Содержание азотных компонентов в питательной среде влияет на концентрацию биомассы [1]. При этом наблюдается компромисс между скоростью роста и накоплением липидов: высокое содержание азота способствует быстрому росту, но снижает накопление липидов, тогда как дефицит азота стимулирует липидогенез.

¹⁵<https://www.vo-da.ru/articles/energoeffektivnye-los/kultivirovanie-mikrovodorosley>

нез при замедлении роста [4]. Это привело к разработке двухстадийных процессов культивирования, оптимизирующих условия сначала для наращивания биомассы, а затем для индукции накопления липидов.

Переработка биомассы в биотопливо

После этапа культивирования осуществляется сбор и переработка биомассы микроводорослей для получения различных видов биотоплива, основным из которых является биодизель и биогаз [5]. Производство биодизеля начинается с экстракции липидов из биомассы, за которой следует процесс трансэтерификации – химическая реакция жиров с низкомолекулярным спиртом (например, метанолом или этанолом) в присутствии катализатора (кислотного или щелочного) [15]. Методы извлечения масла включают прессование, центрифугирование, экстракцию растворителями или термохимическое сжижение [4].

Для получения биогаза биомасса микроводорослей подвергается анаэробному расщеплению в биогазовых установках [5]. Технологический процесс получения топлив из микроводорослей отличается высокой степенью безотходности. Сухие остатки после экстракции липидов сохраняют ценные вещества и могут использоваться в пищевой промышленности, фармацевтике, а также в качестве корма для животных и рыб. Существует также возможность получения топливных брикетов из отходов биомассы. На рис. 3 представлена принципиальная схема получения биодизеля и биогаза из микроводорослей [5].



Рис. 3. Принципиальная схема получения биодизеля и биогаза из микроводорослей¹⁶

¹⁶ <https://moluch.ru/archive/312/70907/>

Современные тенденции и архитектурные решения

Немаловажной задачей для архитекторов является поиск приемов проектирования, которые смогут упростить применение технологии биореакторов. Уже сейчас тренд на формирование устойчивой архитектуры, основанной на экономии энергии и использовании альтернативных источников энергетического обеспечения зданий во всем мире является ключевым. Современные исследования сосредоточены на повышении эффективности производства биотоплива из микроводорослей. Одним из ключевых направлений является поиск и селекция штаммов с повышенным содержанием масла или жидких углеводородов. Применение методов генетической инженерии исследуется с целью увеличения скорости роста и продуктивности перспективных штаммов. На сегодняшний день производство биотоплива третьего поколения носит экспериментальный характер, в этой области ведется все больше исследований, в том числе и в России [7].

Важной тенденцией является интеграция систем культивирования микроводорослей с существующими промышленными производствами. Очистные сооружения сточных вод могут выступать в качестве источника питательных веществ (азота и фосфора), необходимых для роста водорослей [8]. Использование дымовых газов тепловых электростанций или отработанных газов пищевых производств обеспечивает поставку CO_2 , что повышает эффективность процесса культивирования. Такая интеграция не только снижает затраты, но и способствует биоремедиации и утилизации парниковых газов [8].

Архитектурные решения для фотобиореакторов и комплексов направлены на максимальное использование доступного света и оптимизацию занимаемого пространства. Разрабатываются модульные системы ФБР, которые могут быть интегрированы в городскую среду, например, в виде фасадных систем зданий, выполняющих функции очистки воздуха и производства биомассы [14]. Концепция домашних биореакторов демонстрирует возможность культивирования в малых масштабах [13]. Модульность и возможность интеграции с существующими структурами являются ключевыми аспектами для масштабирования технологии до крупных промышленных комплексов.

Перспективы применения в Арктике

Применение технологии культивирования микроводорослей для производства биотоплива в условиях Арктики сопряжено со значительными климатическими вызовами, такими как низкие температуры, длительная полярная ночь и логистические ограничения. Однако Арктический регион обладает спецификой, которая может быть использована для реализации таких проектов.

Среди основных вызовов экстремальной среды можно выделить следующие:

1. Низкие температуры, требующие значительных затрат энергии на поддержание оптимального температурного режима культивирования [1]. При данном условии возникает необходимость использования закрытых, хорошо изолированных фотобиореакторов является очевидной;

2. Ограниченная освещенность также усложняет процесс проектирования и применения биореакторов. Продолжительная полярная ночь требует применения систем искусственного освещения, в частности, энергоэффективных светодиодных систем с возможностью регулирования спектра и интенсивности;

3. Удаленность территорий и слаборазвитая инфраструктура могут затруднять транспортировку оборудования, реагентов и сбыт готовой продукции.

Помимо этого, мы можем выделить потенциал данных территорий для применения технологии выработки биотоплива из микроводорослей. К примеру, наличие промышленных объектов является одним из ключевых факторов в пользу биореакторов. Поскольку предприятия добывающей промышленности и энергетики в Арктике являются потенциальными источниками отходящего тепла и CO_2 [6], это может существенно снизить эксплуатационные расходы на культивирование. Также явным плюсом является доступность воды. Обширные водные ресурсы региона (пресные и соленые) могут быть использованы для приготовления питательных сред. Потребность в локальных источниках энергии также становится предпосылкой для использования возобновляемой технологии энергообеспечения объектов архитектуры. Производство биотоплива непосредственно в регионе потребления может решить проблемы с доставкой традиционного топлива в удаленные населенные пункты и промышленные объекты. Стоит коснуться и экологических аспектов: интеграция систем культивирования с очистными сооружениями промышленных предприятий в Арктике может обеспечить биоремедиацию загрязненных стоков в сочетании с производством биомассы для топлива [9].

Для успешной реализации проектов в Арктике необходимы специализированные архитектурно-технологические решения. Требуется разработка закрытых, модульных фотобиореакторных комплексов, интегрирующих все этапы процесса: культивирование, системы освещения, отопления, сбора и переработки биомассы, а также модули для утилизации отходящих ресурсов промышленных объектов. Энергоэффективный дизайн, включающий использование современных изоляционных материалов, пассивных систем обогрева за счет отходящего тепла и оптимизированное расположение ФБР для максимального использования солнечного света в периоды полярного дня, является приоритетом. Важным аспектом является интеграция с существующей инфраструктурой промышленных предприятий. Возможна разработка специализированных фасадных или кровельных модулей с микроводорослями для промышленных зданий в Арктике, аналогично решениям для умеренного климата, которые будут выполнять функции очистки воздуха и производства биомассы. Выбор материалов и конструк-

ций должен обеспечивать устойчивость к экстремальным низким температурам, сильным ветрам и снеговым нагрузкам.

Анализ литературы подтверждает, что микроводоросли являются высокопродуктивным сырьем для биотоплива. Их способность накапливать значительные количества липидов (до 80 % сухой массы у некоторых штаммов) делает их ценным источником для биодизеля. Теоретически, площадь, необходимая для замещения дизельного топлива из нефти топливом из МВ, в десятки раз меньше, чем для замещения топливом из традиционных масличных культур [10].

Выбор между открытыми прудами и закрытыми фотобиореакторами определяется балансом между капитальными затратами и эффективностью культивирования. Закрытые ФБР, несмотря на более высокую стоимость, позволяют создавать контролируемые условия, что критически важно для оптимизации роста и биохимического состава биомассы. Исследования показали, что оптимизация температуры, освещенности, концентрации CO_2 и питательных веществ значительно повышает продуктивность [5]. Например, для *Chlorella vulgaris* определены оптимальные диапазоны температуры и концентрации CO_2 , способствующие максимальному приросту [1].

Важное теоретическое значение имеют исследования влияния дефицита питательных веществ (например, азота) на накопление липидов. Это привело к разработке двухстадийных процессов культивирования, разделяющих фазы активного роста и накопления целевого продукта [4]. Исследования в области генетической инженерии также открывают теоретические перспективы для создания штаммов с заданными свойствами, например, повышенным содержанием липидов или устойчивостью к определенным условиям.

Практическая значимость результатов заключается в разработке более эффективных и экономически целесообразных технологий. Использование сточных вод в качестве питательной среды и утилизация отходящего CO_2 промышленных предприятий имеют двойную выгоду: снижение затрат на культивирование и вклад в решение экологических проблем (очистка стоков, сокращение выбросов парниковых газов) [9]. Разработка модульных фотобиореакторов, интегрируемых в фасады зданий [14], или даже домашних биореакторов, демонстрирует потенциал децентрализованного производства биомассы и очистки воздуха.

Применение этих технологий в Арктике, несмотря на климатические трудности, обладает значительной практической значимостью. Возможность использования отходящего тепла и CO_2 от промышленных объектов позволяет частично решить проблему энергозатрат на поддержание температуры [6]. Разработка морозоустойчивых штаммов микроводорослей и специализированных конструкций ФБР, способных работать в условиях низких температур и ограниченной освещенности, становится ключевой задачей для реализации потенциала Арктики как региона для производства биотоплива на основе МВ.

Изучение актуальных научных работ по данной тематике лишь подтверждает большой потенциал микроводорослей как устойчивого источника сырья с высоким КПД. Такой продукт идеален для производства биотоплива третьего поколения. Мы можем сделать вывод, что оптимизация фотобиореакторов и условий культивации водорослей является необходимым условием для достижения экономической конкурентоспособности представленной технологии [6]. Современные тенденции требуют интеграции с источниками отходящих ресурсов, а также разработку модульных, архитектурно-интегрированных систем культивирования.

Применение технологии переработки микроводорослей в биотопливо в условиях Арктики, несмотря на экстремальные климатические условия, является наиболее перспективным. Использование специфических условий региона, таких как наличие промышленных источников тепла и CO₂, а также потребность в локальных источниках энергии, говорит о рентабельности производства биотоплива из микроводорослей в арктическом регионе. По моему мнению, дальнейшие исследования следует сосредоточить на разработке адаптированных к экстремальным условиям среды штаммов микроводорослей, проектировании энергоэффективных фотобиореакторных комплексов, устойчивых к низким температурам и особенностям светового режима, а также на проведении детальных технико-экономических оценок для конкретных проектов в регионе. Успешная реализация этих направлений позволит создать базу для развития устойчивой биоэнергетики в Арктике.

Список литературы

1. Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В. Исследование условий культивирования микроводоросли хлорелла в трубчатом фотобиореакторе // Вестник ТГТУ. 2015. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-usloviy-kultivirovaniya-mikrovodorosli-hlorella-v-trubchatom-fotobioreaktore> (дата обращения: 05.01.2024).
2. Пилигаев А.В., Самойлова Ю.В., Сорокина К.Н. Современное состояние и перспективы развития производства биотоплива из микроводорослей // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2014. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-proizvodstva-biotopliva-iz-mikrovodorosley> (дата обращения: 05.01.2024).
3. Макарова Е.И., Отурина И.П., Сидякин А.И. Прикладные аспекты применения микроводорослей -обитателей водных экосистем // Эко-системы. 2009. №1 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prikladnye-aspekty-primeneniya-mikrovodorosley-obitateley-vodnyh-ekosistem> (дата обращения: 05.01.2024).

4. Чернова Н.И., Киселева С.В., Коробкова Т.П., Зайцев С.И. Микроводоросли в качестве сырья для получения биотоплива // АЭЭ. 2008. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrovodorosli-v-kachestve-syrya-dlya-polucheniya-biotopliva> (дата обращения: 05.01.2024).
5. Иванова П.В. Микроводоросли как источник альтернативного топлива / П.В. Иванова, А.А. Натальина. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 22 (312). – С. 591-594. – URL: <https://moluch.ru/archive/312/70907/> (дата обращения: 05.01.2024).
6. Чирков В.Г., Кожевников Ю.А., Воробьев В.В., Чижигов А.Г., Щекочихин Ю.М., Иванникова Е.М. Технология производства и использование биомассы микроводорослей топливного назначения // АЭЭ. 2015. №2 (166). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-proizvodstva-i-ispolzovanie-biomassy-mikrovodorosley-toplivnogo-naznacheniya> (дата обращения: 05.01.2024).
7. Муртазина Э.И. Получение биотоплива из водорослей с использованием нанотехнологий в университете штата Аризона (США) // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-biotopliva-iz-vodorosley-s-ispolzovaniem-nanotehnologiy-v-universitete-shtata-arizona-ssha> (дата обращения: 05.01.2024).
8. Стребков Д.С., Росс М.Ю., Щекочихин Ю.М., Порев И.А. Производственно-технологический потенциал водоочистных сооружений в культивировании микроводорослей для альтернативной энергетики // Достижения науки и техники АПК. 2009. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvenno-tehnologicheskii-potentsial-vodoochistnyh-sooruzheniy-v-kultivirovanii-mikrovodorosley-dlya-alternativnoy> (дата обращения: 05.01.2024).
9. Вайшла О.Б., Кулятов Д.В. Перспективные виды микроводорослей для биodeградации поллютантов водных экосистем юга Западной Сибири // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №1-4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-vidy-mikrovodorosley-dlya-biodegradatsii-pollutantov-vodnyh-ekosistem-yuga-zapadnoy-sibiri> (дата обращения: 05.01.2024).
10. Василенко А.П., Иванникова Е.М., Систер В.Г., Ямчук А.И., Цедилин А.Н., Иванникова Ю.М. Микроводоросли источник альтернативного топлива // Технические науки – от теории к практике. 2015. №6 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrovodorosli-istochnik-alternativnogo-topliva> (дата обращения: 05.01.2024).
11. Цоглин И.Н., Габель Б.В., Фалькович Е.Н., Семененко В.Е. Фотобиореакторы закрытого типа для культивирования микроводорослей // Физиология растений. 1996. – Т.43. № 1. С. 149–155.
12. Шмойлова А.А. Биотопливо из микроводорослей как возобновляемый источник энергии // Научные вести. 2019. № 6 (11). С. 244–251. URL: <https://moluch.ru/archive/312/70907/> (дата обращения: 05.01.2024).

13. Измайлова А. Домашний биореактор на микроводорослях очищает воздух в квартире и производит растительный белок / Алина Измайлова [Электронный ресурс] // archi.ru : [сайт]. — URL: <https://archi.ru/news/83716/domashnyaya-ferma-dlya-vyraschivaniya-mikrovodoroslei> (дата обращения: 05.01.2024).
14. Измайлова А. Американские ученые придумали систему модульных фасадов с микроводорослями, которые очищают воздух / Алина Измайлова [Электронный ресурс] // archi.ru : [сайт]. — URL: <https://archi.ru/news/83552/amerikanskie-uchenye-pridumali-sistemu-modulnykh-fasadov-s-mikrovodoroslyami-kotorye-ochischayut-vozdukh> (дата обращения: 05.01.2024).
15. Марков С.А. Использование водорослей для получения биотоплива и удаления избытка углекислого газа из атмосферы // АЭЭ. 2009. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vodorosley-dlya-polucheniya-biotopliva-i-udaleniya-izbytka-uglekislogo-gaza-iz-atmosfery> (дата обращения: 05.01.2024).

**СТРОИТЕЛЬСТВО В УСЛОВИЯХ ЗАПОЛЯРЬЯ.
НЕОБХОДИМОСТЬ ВОЗВЕДЕНИЯ НЕБОСКРЕБОВ
В ЗАПОЛЯРЬЕ**

**CONSTRUCTION IN THE ARCTIC. THE NEED TO BUILD
SKYSCRAPERS IN THE ARCTIC**

А.Д. Ченцова, студентка 4 курса

М.А. Бутузова, старший преподаватель

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

A.D. Chentsova, 4th year student

M.A. Butuzova, senior lecturer

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности возведения зданий и сооружений в Заполярье, используемые строительные материалы и конструкции, а также возможность многоэтажного строительства за счет применения современных технологий.

Ключевые слова: строительство в Заполярье, национальные программы Заполярья, строительство в сложных климатических условиях, многоэтажное строительство в Заполярье, строительство небоскребов в Заполярье, энергоэффективные здания, энергосбережение.

Abstract. This article discusses the features of the construction of buildings and structures in the Arctic, the construction materials and structures used, as well as the possibility of multi-storey construction through the use of modern technologies.

Keywords: construction in the Arctic, national programs of the Arctic, construction in difficult climatic conditions, multi-storey construction in the Arctic, construction of skyscrapers in the Arctic, energy-efficient buildings, energy conservation.

Неконтролируемое изменение климатических условий на территории РФ и стран СНГ является одной из важнейших тем для обсуждения и соответствующего решения, поскольку нельзя отрицать влияние температурно-влажностных характеристик на все сферы деятельности человека. Наиболее серьезное влияние климат оказывает на строительную отрасль, также как и уже построенные здания и сооружения оказывают воздействие на окружающую среду [1].

Однако человеку не всегда удастся с легкостью «покорить» ту или иную территорию. На протяжении многих столетий Заполярье России оставалось нетронутым. Так было до 20-х годов прошлого века, пока не возникла необходимость изучения сурового края для добычи полезных ископаемых. Уже к 50-ым годам на территории Заполярья были построены

советские города, которые хоть и были очень похожи на типичные города того времени, но также имели свои характерные особенности, напрямую связанные с климатическим районом. Во многом эти особенности сохранились и по сей день.

Строительство в Заполярье требует больших капиталовложений, связанных напрямую с высокими тарифами на отопление и электроэнергию. Поэтому главной задачей при строительстве в таком районе является создание проекта здания или сооружения с наибольшими энергоэффективными возможностями, которые приведут к уменьшению затрат энергоресурсов, но и, в свою очередь, к увеличению стоимости строительства в несколько раз.

Уменьшение стоимости проекта происходит за счет:

1. Использования в строительстве стеновых панелей из бетонных и железобетонных изделий. Однако путем исследований было обнаружено, что наружные стены лучше возводить из силикатного кирпича, обладающего низкой теплопроводностью и высокими плотностью и прочностью;

2. Уменьшения оконных проемов. Согласно СП «Строительная климатология» в Заполярье возможно проектирование уменьшенных окон, так как продолжительность светового дня очень мала, не учитывая полярную ночь;

3. Проверки качества антикоррозионной обработке, которая препятствует возникновению и развитию плесени. Тем самым продлевается срок службы здания, препятствуя постепенному разрушению кирпичной кладки или стеновых панелей;

4. Правильного расчета с учетом поправки на сложные климатические условия. Происходит повышение требований к несущему основанию проектируемого здания [2].

Таким образом, все вышеперечисленное приводит к выводу о том, что целесообразно грамотное проектирование зданий и сооружений на уровне базовых расчетов устойчивости и рабочих чертежей строительства.

Строительство и проектирование зданий в условиях вечной мерзлоты не строит на месте, развиваясь и совершенствуясь с каждым днем. Этому способствует правительство России. Программа национальных проектов, утвержденная президентом РФ, направлена на развитие городов Заполярья, за счет привлечения дополнительных инвестиций, капиталовложений, человеческого ресурса в данный регион нашей страны [3].

Соответствующие решения требуют дополнительных исследований в области строительства, а в частности решения вопроса о строительстве многоэтажных зданий, небоскребов на вечномёрзлом грунте.

Примером удачного многоэтажного строительства в условиях вечной мерзлоты могут служить известные дома на «ножках» (рис. 1). Данное конструктивное решение выбрано с учетом расчета фундаментов в Заполярье, отсутствия просадки и усадки здания с течением времени и с увеличением срока эксплуатации.



Рис. 1. Дом на «ножках»

Кафедра строительной физики и конструкций Берлинского технического университета провела исследование на тему сравнения конструкций небоскребов в разных климатических условиях, в том числе в условиях вечной мерзлоты, которые сравнительно похожи на Заполярье России. Различные варианты конструкций оценивались с точки зрения энергоэффективности, также изучались критерии комфорта внутри помещений. В результате был произведен анализ температуры и влажности внутри всех зданий. Особое внимание уделялось возобновляемым и невозобновляемым источникам энергии, глобальному потеплению и потенциалу окисления. Результаты учитывали связь между климатическими районами и минимальной инсоляцией, качеством воздуха в помещении [3].

Конечная потребность в энергии для отопления многоэтажного здания различна в зависимости от климатического района (рис. 2).

Если здание изолировано, то конечная потребность в энергии значительно ниже. Также для неотапливаемого здания конечная потребность в энергии снижается с увеличением площади окон, в связи с попаданием солнечной энергии в здания, что приводит к увеличению температуры внутри помещений здания. В более холодном климате потребность неизолированного здания в энергии снижается за счет изменения площади окон с 30 % до 50 %, а увеличение оконных проемов до 80 % увеличивает конечный спрос на электроэнергию. Это происходит, с одной стороны, из-за солнечных лучей, с другой, в виду высоких потерь энергии. В теплых регионах происходит иначе, с увеличением площади окон происходит снижение затрат энергии на отопление здания.

При рассмотрении внутреннего климата здания будет учитываться климатический район, в котором расположено здание, а особенно температура воздуха. В условиях полярного климата, а также в зона с прохладным

умеренным климатом, средняя температура 20 °С не может быть достигнута в неутепленном здании. Выявлено, что максимальная температура внутри здания увеличивается с увеличением уровня изоляции и большей доли площади оконного остекления. В холодном климате максимальная температура составляет около 40 °С для утепленного здания с площадью окон 80 %. Затенив окна, можно снизить максимальную температуру.

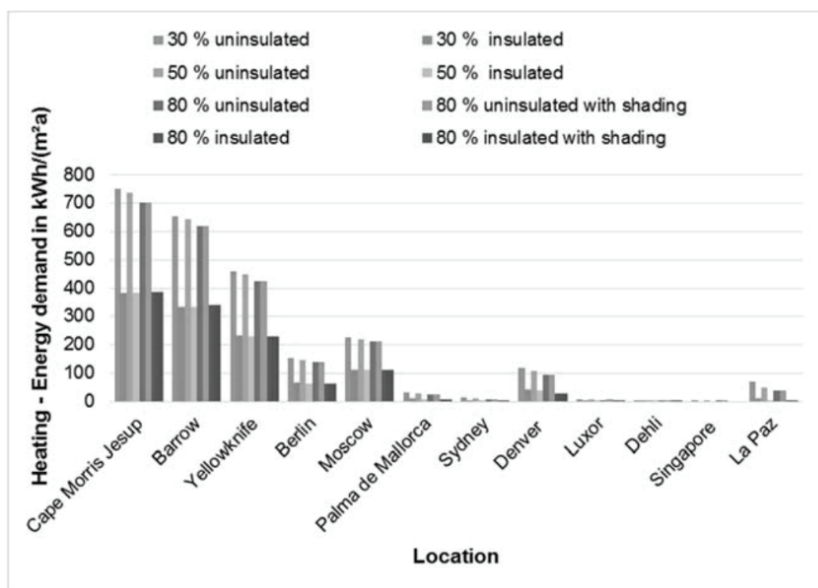


Рис. 2. Конечная потребность в энергии для отопления в разных городах, кВт/(м²·год)

В результате наблюдение за одним и тем же небоскребом под влиянием различных климатических условий показало, что строительство зданий с одинаковыми энергетическими стандартами в разных регионах экономически и экологически неразумно. Климат оказывает большое влияние на тип используемых конструкций [4, 5]. Процент площади окон и тепловой оболочки здания оказывает большое влияние на потребности электроэнергии для охлаждения или отопления.

Таким образом, строительство небоскребов в Заполярье возможно и эффективно только при наличии проработанного и адаптированного под местные условия проекта, соответствующего всем требованиям строительства в данном регионе. Однако, для сбора дополнительных требований необходимо произвести дополнительные исследования для улучшения показателей строительства в данном регионе России.

Список литературы

1. СП 131.13330.2020. Строительная климатология [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: 2020. – 124 с.
2. Назарова, Л.Г. Опыт проектирования и строительства городов Крайнего Севера [Текст] / Л.Г. Назарова. – Москва: Стройиздат, 1984. – 346 с.
3. Швабе, К. Энергетическая, экономическая и устойчивая оптимизация небоскребов по всему миру [Текст] / К. Швабе, Ф.У. Фогдт. – Берлин: Берлинский технический университет, 2009. – 6 с.
4. Калинин, М.С. Каменные здания повышенной этажности на Севере: Расчет, конструирование и возведение [Текст] / М.С. Калинин, В.А. Пиховкин, Н.Д. Шкляров. – Москва: Стройиздат, 1980. – 384 с.
5. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика [Текст] / В.Н. Богословский. – Москва: Высшая школа, 1970. – 352 с.

АРХИТЕКТУРА ЖАРКОГО КЛИМАТА

УДК 728.1

РОЛЬ ВОДЫ В ЖИЗНИ ГОРОДОВ ДРЕВНЕЙ ПЕРСИИ

THE ROLE OF WATER IN THE LIFE OF CITIES IN ANCIENT PERSIA

А.М. Андреева, студентка 4 курса

Д.Д. Попова, канд. архитектуры, доцент

Московский государственный академический художественный институт имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.M. Andreeva, 4th year student

D.D. Popova, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts, Moscow, Russia

Аннотация. Рассмотрены история и особенности подземной гидротехнической сети в Иране. Представлены способы использования воды в древних городах.

Ключевые слова: Гонабад, Иран, гидротехническая сеть, вода, канат, яхчал.

Abstract. The history and features of the underground hydrotechnical network in Iran are considered. The methods of using water in ancient cities are presented.

Key words: Ganabad, Iran, hydraulic network, water, qanat, yakhchal.

Современный Иран располагается на территории древней Персии. Культура и традиции древних персов во многом были заимствованы у государств Месопотамии – Шумер, Вавилона и Ассирии. История Персии в значительной мере является продолжением месопотамской.

Большую часть территории Ирана занимают безводные пустыни с аридным климатом, где годовые осадки не превышают 250 мм в год, дожди идут в период с октября по апрель, а реки в основном располагаются на севере страны.

Такая огромная территория не могла быть освоена и заселена людьми без грамотно организованной системы водоснабжения. Эту проблему помогают решить канаты и кяризы (название каналов в городской черте) – это элементы подземной гидротехнической сети, которая простирается на сотни километров под пустынями Ирана. Вода, поступающая по канатам, используется для питьевого водоснабжения, орошения, и обеспечения водой крупного рогатого скота.

Система, построенная древними персами, такова: с возвышенного водоносного горизонта, под минимальным уклоном идут подземные многокилометровые каналы, доставляющие воду в засушливые районы. Иногда

канаты приходилось прокладывать в несколько уровней. От поверхности земли до канатов на определенном расстоянии прорывались шахты (колодцы) (рис. 1).

Чтобы проложить новый кяриз проводились изыскательные работы. Главный мастер – кяризген проверял почву на наличие растений с развитой корневой системой, указывающей на наличие грунтовых вод, определял необходимую глубину колодца и непосредственно руководил строительством кяриза, в подчинении он имел от 3 до 5 человек. Если поиск источника грунтовых вод был успешен, приступали к строительству каната.

Чтобы вырыть подземный канат без использования машинной техники, древним строителям приходилось прорывать смотровые колодцы каждые 15-20 метров по ходу его следования. Канаты могли протягиваться до населенного пункта на расстояние до 40 км от водоносного пласта. Ученые считают, что без изобретения канатов большое количество городов в Иране не смогли бы существовать.



Рис. 1. Схема водоснабжения

Система интересна не только с инженерно-технической точки зрения, но и ландшафтной – так как траектория канатов обозначена на поверхности характерными конусами-воронками колодцев [3] (рис. 2).

Эта система активна и по сей день: например, город Гонабад, в котором проживает 35 тысяч человек, до сих пор получает водное обеспечения посредством Гонабадского кяриза (рис. 2). Он является старейшим в Иране (построен 2700 лет назад [3]).



Рис. 2. Гонабадский кяриз, включен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО

Расположение кяризов во многом определяло планировку города, дома строились вдоль них. От основного кяриза вода подводилась к подземным уровням жилых домов (рис. 3), где находились комнаты отдыха. Температура в таких комнатах была почти на 10 °C ниже, чем температура на улице.

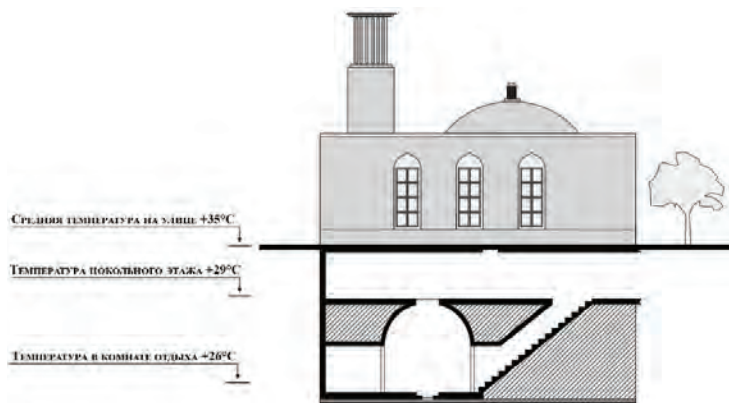


Рис. 3. Традиционный жилой дом: схема из иранского Музея воды (в переработке А. Андреевой)

Кроме того, для охлаждения и проветривания помещений использовались бадгир (рис. 4), они улавливали ветряные потоки и направляли их в подвальное помещение, где воздух охлаждался и напитывался влагой за счет подземного источника, далее поток направлялся в жилые помещения, а затем выдувался через отдельные трубы.

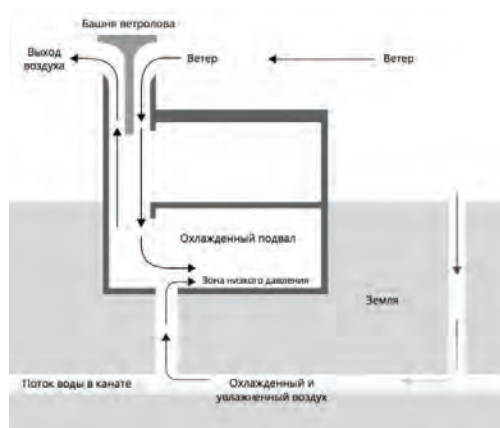


Рис. 4. Бадгир. Схема устройства

Вода из кяриза проводилась к традиционным хранилищам воды, они называются сардобы или аб-анбары (рис. 5) и состоят из хазины (цистерны), купола и бадгира (или нескольких, бадгиры могли отсутствовать). Хазина располагалась под землей, чтобы принимать поступающую из каната воду и поддерживать ее низкую температуру. Бадгиры (рис. 4) обеспечивали циркуляцию воздуха для предотвращения гниения воды, количество башен могло варьироваться от 1 до 6. Основным строительным материалом сардобы являлись известняк, зола и песок, их раствор создавал дополнительную гидроизоляцию и предотвращал гниение воды.

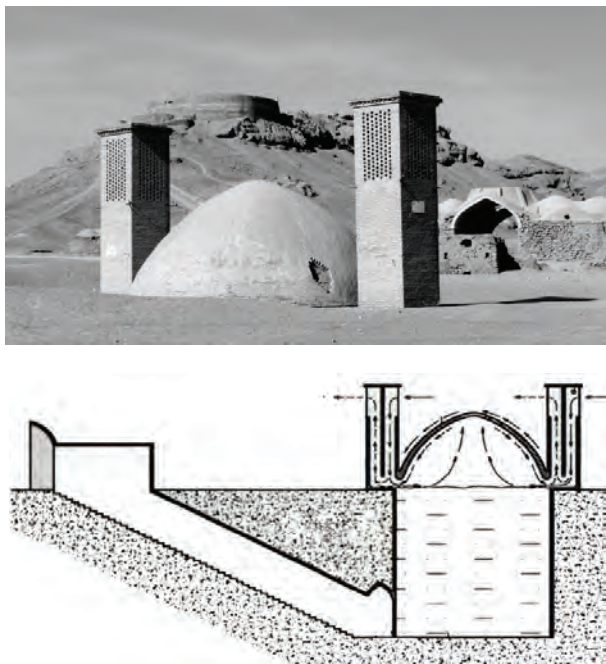


Рис. 5. Аб-анбар. Пример

Недалеко от городов строились и яхчалы – это древний тип испарительного охладителя, они были способны хранить и производить лед. Фактически, это разновидность аб-анбара. Для строительства яхчала выкапывалась яма до 5 000 м³, сверху возводился купол из саманного кирпича. Высота купола могла достигать 18 метров, для его укрепления использовался специальный раствор сарудж, состоявший из глины, золы, песка, яичного желтка и извести. Стены купола имели толщину более 2 метров у основания и сужались к вершине, на которой располагалось отверстие для отвода горячего воздуха. Бадгиры помогали направлять пустынный ветер к источнику холодной воды, которая подавалась за счет кяриза. При столк-

новении раскаленного сухого воздуха с холодной водой происходил фазовый переход воды в пар, за счет этого и производился процесс охлаждения.

В целом, вода играла и продолжает играть очень важную роль в иранской культуре. Бассейны и фонтаны являются характерными элементами в традиционном иранском саду, а также часто упоминаются в литературных произведениях. В Йезде работает Музей воды, посвященный истории и технологии водоснабжения, исторической роли воды в жизни иранцев.

Значимость рассмотренных сооружений сводится не только к инженерно-техническим аспектам, но также архитектурно-градостроительным: система канатов и кяризов до сих пор влияет на планировочные решения городов. Элементы водоснабжения, хранения воды и вентиляции активно формируют образ городов и отражают их идентичность. Система канатов была разработана почти 3 тысячи лет назад, и она все еще успешно поставляет воду для современных городов Ирана.

Список литературы

1. Всеобщая история архитектуры. Том 1: Архитектура древнего мира / под. ред. О.Х. Халпахчына (отв. ред.) и др.; гл. ред. коллегия: Н.В. Баранов (гл. ред.) и др. – М., 1970. – 512 с.
2. Всеобщая история архитектуры. Том 8: Архитектура стран Средиземноморья, Африки и Азии. VI—XIX вв. / Под редакцией Ю.С. Яralова (ответственный редактор), Б.В. Веймарна, В.А. Лаврова, А.М. Прибытковой, М.А. Усейнова, О.Х. Халпахчына. – 1969. – 491 с.
3. Родионовская, И.С. Кяризы – уникальная система водоснабжения Ирана. Специфика сооружений и характер инженерно-технических устройств / И.С. Родионовская, А. Хаг Шенас // Вестник МГСУ. – 2016. – № 11. – С. 7-20. – DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11.7-20.
4. Ehsan Mohammadzadeh Miri. Ecological building design: a proof of concept and identifying the factors which deter the use of Iranian vernacular principles in modern architecture : PhD Thesis London South Bank University School of the Built Environment and Architecture. – URL: <https://doi.org/10.18744/PUB.001242> (date of access: 14.03.2024).

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ
В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ
ПУСТЫНИ САХАРА**

**BASIC PRINCIPLES OF FORMATION OF ARCHITECTURE
IN THE CONDITIONS OF URBAN DEVELOPMENT
OF THE SAHARA DESERT**

А.С. Денисьева, студентка 2 курса

Е.Н. Кузнецова, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.S. Deniseva, 2nd year student

E.N. Kuznetsova, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье рассматриваются особенности архитектурно-планировочных решений городской застройки, расположенной на территории пустыни Сахара. В ходе анализа выявлены основные приемы формообразования зданий и сооружений, расположенных в жарком климате, способствующих созданию комфортных условий для жизни и деятельности человека.

Ключевые слова: Сахара, климатические условия, городская застройка, жилые и общественные здания, энергоэффективность.

Abstract. The article discusses the features of architectural and planning solutions for urban development located in the Sahara Desert. The analysis revealed the main methods of shaping buildings and structures located in hot climates, contributing to the creation of comfortable conditions for human life and activity.

Keywords: Sahara desert, climatic conditions, urban development, residential and public buildings, energy efficiency.

Сахара – крупнейшая пустыня на планете, занимающая около 25% площади материка Африка. Входит в число самых жарких пустынь земного шара. Площадь пустыни ежегодно увеличивается – в течение года южная граница пустыни сдвигается южнее на 6-10 километров [1].

Сахара частично захватывает территорию более десяти государств: Алжира, Египта, Ливии, Мавритании, Мали, Марокко, Нигера, Судана, Туниса и Чада.

Северная часть Сахары находится под влиянием сухого субтропического климата с относительно прохладными зимами и жарким летом. Для зимы характерны сильные перепады температуры между дневным и ночным временем суток: днём воздух сильно прогревается, а ночью могут

быть нулевые показатели или даже отрицательные температуры. В южной части Сахары климат тропический – лето здесь ещё более жаркое, зима – более холодная. В пустыне крайне редко идут дожди, а воздух сухой и горячий. В воздухе постоянно находится тончайшая пыль.

Пустыня находится под сильными солнечным и ветровым воздействиями, способствующими усилению испарения влаги и, как следствие, засушливости.

На территории Сахары рождаются самые страшные песчаные бури. В последние полвека они начинаются все чаще, с каждым годом их сила растет. В древние времена арабы называли это явление «самум» – в переводе «опасный» или «ядовитый». Издалека песчаная буря выглядит как плотная коричневая стена высотой с многоэтажный дом. Температура в районе вихря достигает 50 градусов, что при отсутствии укрытия может привести к потере сознания и смерти от удушья.

Большой проблемой является скопление песка на улицах и внутри зданий из-за частого передвижения крупинки песка и пыли по региону. Пески легко преодолевают огромные расстояния и передвигаются не только во время ураганов. Даже при слабом ветре песчинки постоянно катятся по земле или летят над ее поверхностью. Бурятся со скоплением песка, проводя закрепление песчаной поверхности и создавая заградительные полосы.

В следствии, приведенной ранее информации, можно заключить, что пустынное жилье всегда было эффективным с точки зрения адаптации к суровым условиям местности и климата. Рассмотрим два уровня способа адаптации к жаркому сухому климату: город и здание.

Компактная форма города

Планировочная структура городов, расположенных на территории пустыни Сахара в большей степени идентична. Улицы узкие, длинные и извилистые большую часть дня затенены. Здания настолько плотно прижаты друг к другу, что оставляют минимум площади внешних поверхностей [2].

Развитие городов на территории пустыни Сахары сформировало три основных типа застройки: традиционная застройка до 19 века, городская застройка колониального периода 19-20 веков и городская застройка периода независимости.

К первому типу можно отнести застройку, имеющую высокую плотность малоэтажных зданий традиционной архитектуры, компактную форму и узкие улицы, окруженные обширной пальмовой рощей (Оазис). Здания преимущественно отвечали функции защиты от погодных условий, поскольку большая часть населения вела традиционный кочевой образ жизни. Примером характерной традиционной застройки является город Гардая, расположенный на северной окраине пустыни Сахара, в оазисе Мзаб. Он является административным центром одноименного вилайета (административная единица высшего порядка в Алжире) и представляет из себя типичный ксар, тип укрепленной берберской деревни, состоящей из пристроен-

ных друг к другу (часто на склоне горы) домов, так что снаружи она выглядит как крепость, окружённая стеной (рис. 1). В центре города расположен минарет, он является и наблюдательно-сигнальной башней. Она расположена под углом для улучшения аэродинамики и меньшего сопротивления ветрам.



Рис. 1. Структура городской застройки г. Гардая. Алжир

Второй тип отражает колониальная архитектура Сахары и характеризуется тремя основными элементами: регулярность городской планировки; общественные пространства; функциональное зонирование застройки: военная, гражданская. Примером такого типа является город Бешар, расположенный на западе Алжира, и представляющий собой не только административный центр одноимённого вилайета, но и центр горнопромышленного района разработки каменного угля, железной и марганцевой руд (рис. 2).



Рис. 2. Городская застройка г. Бешар. Алжир

Третий тип отражает городскую застройку периода независимости. В градостроительстве используются принципы регулярной и свободной застройки, функциональное зонирование. Наиболее распространены два основных приема организации застройки: застройка улиц блокированными домами и застройка домами с участками вдоль дорог (рис. 3).



Рис. 3. Городская застройка г. Нуакшот. Мавритания

Примером такого города является Нуакшот – столица Мавритании. В Нуакшоте в качестве основного жилья используются старые дома. Сохранившиеся старые здания указывают на то, что основная цель при их строительстве была защита жителей от тяжёлых климатических условий. Толстые каменные стены и узкие улицы, ведущие к центральной мечети, защищали жителей города от песчаных дюн. В Нуакшоте преимущественно мусульманское население, поэтому мечеть находится в центре города.

Здания и сооружения

Жаркий климат оказал влияние не только на планировочную структуру городов, но и на архитектуру зданий и сооружений. Для смягчения жестких климатических условий и уменьшения энергозатрат на кондиционирование применяются: внутренние дворы «Патии», растительность и фонтаны, натуральные строительные материалы, купола, машрабия и т.д.

Внутренний двор «Патии»

Внутренний двор в структуре здания способствует дополнительному охлаждению и затенению. В течение ночи во дворе собирается прохладный воздух, он охлаждает фасады здания и его помещения. Этот эффект особенно можно наблюдать в первой половине дня. С наступлением вечера теплый воздух из внутреннего двора поднимается вверх, постепенно сменяясь охлажденным ночным воздухом.

Внутренний двор является своеобразным резервуаром прохлады. Стены, выходящие во внутренний двор, затеняют большие участки этажей. Тепло, накопленное стенами и полом двора в течение дня, высвобождается обратно в атмосферу, а прохладный ночной воздух, накопленный во дворах ночью, служит для сохранения прохлады утром следующего дня (рис. 4).

«Патии» обычно бывают квадратными в плане с галереями по периметру. В центре двора часто располагаются фонтаны, которые служили не только украшением двора, но и более эффективно охлаждал воздух и увлажнял его.

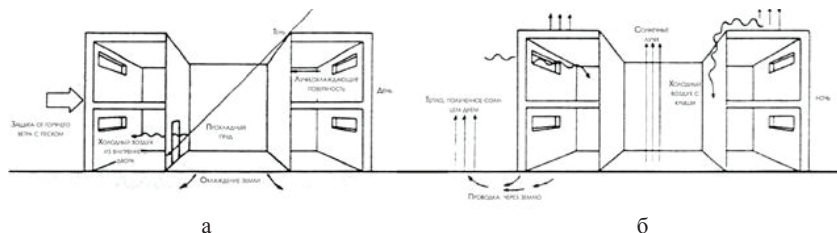


Рис. 4. Циркуляция воздуха во внутреннем дворе «Патии»:
а – в дневное время суток; б – в ночное время суток

Машрабия

Название машрабия происходит от арабского слова «машраба» (кувшин). Машрабия служит местом для хранения питьевой воды в кувшинах, выполненных из пористой глины. Вода, просачиваясь сквозь стенки этих сосудов, образует на них большую смоченную поверхность испарения, благодаря чему содержимое кувшинов остается прохладным, а обтекающие такие поверхности воздушные потоки охлаждаются. Такой способ испарительного охлаждения применялся еще 2500 лет до н. э. в египетских дворцах [3].

Ночью машрабия впитывает влагу, переносимую ветром и проходящую через ячейки сетки. При нагревании под действием солнечного света влага испаряется и попадает в воздух, проходящий через сетку, тем самым повышая влажность в помещении и снижая температуру в нем.

Возведение толстых наружных стен (толщиной около 50 см) с использованием материалов с низким уровнем теплопроводности также защищает внутренние помещения зданий от перегрева.

Наиболее эффективно помогал минимизировать передачу тепла внутрь здания известняк. Была найдена зависимость между площадью стен и пола. Чем больше было соотношение между этими двумя показателями, тем более затененным было пространство.

Машрабии использовались как элемент для проникновения солнечного света в помещения и предотвращающего их перегрев. Разный размер отверстий в решетке машрабии (в нижней части меньше, чем в верхней) со-

здавали градуированный поток света. Выступ над внешней стороной машрабии служил солнцезащитным козырьком и предотвращал попадание прямых солнечных лучей, особенно на фасадах зданий, выходящих на юг и запад (рис. 5). Машрабии изначально были каменными, позже их стали делать из дерева.

В настоящее время при проектировании зданий и сооружений в жарком климате активно используются солнцезащитные решетки и панели на фасадах, использующие принцип машрабии. Это препятствует перегреву фасадов здания и дает возможность уменьшить энергозатраты на кондиционирование.

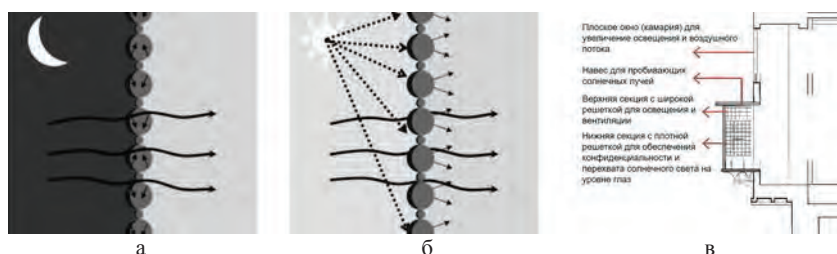


Рис. 5. Функциональность машрабии:

а – циркуляция воздуха ночью; б – циркуляция воздуха днем;
в – типичная машрабия в разрезе.

Рассмотрим несколько примеров из современного опыта проектирования объектов, построенных в городах, расположенных на территории пустыни Сахары.

Французский лицей Теодора Моно

В 2018 году, архитектурное бюро Segond-Guyon Architectes разработало проект реконструкции средней школы в г. Нуакшот, Мавритания.

Целью проекта реконструкции и расширения французской школы имени Теодора Моно было увеличение количества учеников школы и улучшение условий для учащихся и учителей за счет переноса всей начальной школы в существующие здания, а старшей школы и администрации – в новые здания (рис. 6).

Существующие здания лицея были построены по проекту французского архитектора Андре Раверо (1919-2017). Новые здания были запроектированы таким образом, чтобы создать пространства, способствующие естественной циркуляции воздуха. Ориентация и типология зданий запроектирована в соответствии с траекторией движения солнца и преобладающим направлением ветра. Преобладающая ориентация с востока на запад – это направление морского бриза, который дует каждый день и каждую ночь. Все здания имеют эту ориентацию, поэтому бриз усиливает естественную

вентиляцию и обеспечивает естественное охлаждение в ночное время (рис. 7). Особое внимание было уделено размерам и расположению солнцезащитных козырьков. Все окна защищены от солнца наружными козырьками, горизонтальными и вертикальными солнцезащитными экранами, свесами крыш, отбрасывающими тень на фасады зданий.



Рис. 6. Лицей Теодора Монро [4]



а

б

Рис. 7. Лицей Теодора Монро:

а – план первого этажа; б – план второго этажа [4]

Важной частью проекта была разработка методов теплоизоляции здания, для предотвращения перегрева. Были сделаны двойные стены, защищающие здание от перегрева. Движение воздуха в пространстве между стенами позволяет избежать перегрева внутренних. Эта схема идеально подходит для таких мест, как Нуакшот. Нижние части стен зданий были облицованы природным камнем, добываемым в районе Атар.

«Villa Chams»

Вилла была построена в 2020 году по проекту архитектора Карла Гергеса, в Баальбеке, Ливан. Расположенная в самом засушливом исторически районе Ливана, вилла Чамс органично вписывается в существующий ландшафт (рис. 8).



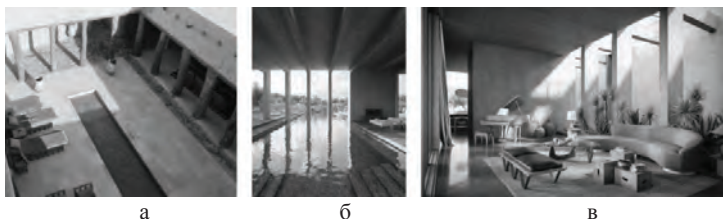
Рис. 8. Вид на «VILLA CHAMS» [5]

Здание одноэтажное, имеет большую протяженность и отлично вписывается в окружающую среду. На фасадах чередуются ритмы из колонн и глухих стен. Так же, присутствуют фрагменты традиционной защиты от солнца и песчаных бурь в виде толстых стен и внутреннего двора с бассейном.

В интерьерах здания активно применяется отделка из натурального камня. Пол в бассейне выложен фактурным камнем, который не скользит и массирует ступни при ходьбе. Гладь воды бассейна проходит сквозь анфиладу с колоннами и заканчивается бетонной площадкой, с которых открывается вид на ландшафт, горы и небо (рис. 9).

В интерьерах помещений виллы сочетается бетон, камень и стекло.

На вилле запроектированы Музыкальный и Читальный залы, они расположены немного ниже, чем остальные помещения и из их окон открывается прекрасный вид на окружение.



а

б

в

Рис. 9. Интерьеры «VILLA CHAMS»:

а – внутренний двор; б – бассейн; в – гостиная [5]

Вилла полностью адаптирована под сезонную погоду Баалабека. Жаркими, солнечными днями можно отдыхать в затененных зонах, а в холодные ночи можно наблюдать за звездами у камина или у бассейна с подогревом. Этот дом спроектирован так, чтобы давать ощущение гармоничного спокойствия и слияния с природой для комфортного уединения.

Таким образом, было получено абсолютно новое многофункциональное пространство, совмещающее в себе традиции и современные тенденции архитектуры. Здание, которое отвечает специфике строительства в пустыне Сахаре и соответствует перспективным направлениям развития.

Список литературы

1. Сахара: география, климат, флора и фауна», коллектив авторов Интернет ресурс: [https://znanierussia.ru/articles/Сахара?ysclid=mal54du5w5794892661], (дата обращения 8.02.24).
2. Яссин М. Бенюсеф «Традиционные методы формирования жилищной архитектуры в условиях пустыни Сахары», интернет ресурс, [https://cyberleninka.ru/article/n/traditsionnye-metody-formirovaniya-zhilischnoy-arhitektury-v-usloviyah-pustyni-sahara/viewer], (дата обращения 28.02.24).
3. «Машрабия» [Электронный ресурс] : материал из Википедии // Википедия : свободная энциклопедия. – Wikipedia, 2024. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Машрабия], (дата обращения 28.02.24).
4. Официальный сайт Arch Daily: [https://www.archdaily.com/934873/lycee-francais-theodore-monod-segond-guyon-architectes], (дата обращения 28.02.24).
5. Официальный сайт Arch Daily: [https://www.archdaily.com/942494/villa-chams-carl-gerges-architects?ad_source=search&ad_medium=projects_tab] (дата обращения: 10.03.2024).

МАСДАР: АРХИТЕКТУРА В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

MASDAR: ARCHITECTURE IN HOT CLIMATE CONDITIONS

А.Ю. Пан, студентка 3 курса

Д.Д. Попова, канд. архитектуры, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.Y. Pan, 3rd year student

D.D. Popova, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. Рассматривается концепция формирования нового города Масдара в ОАЭ. Концепция опирается на принципы экологичности, внедрения энергоэффективных решений (в том числе с использованием возобновляемых источников энергии), развития высоких технологий. Отдельно проанализированы три проекта на предмет адаптации к условиям жаркого климата: Институт науки и технологии Масдара, штаб-квартира Siemens и проект благоустройства центра Масдара.

Ключевые слова: Масдар; жаркий климат; экология; энергоэффективные решения; экологичные принципы проектирования.

Abstract. The concept of forming a new city Masdar in the UAE is being considered. The concept is based on the eco-friendly principles, the introduction of energy-efficient solutions (including using renewable energy sources), and the development of high technologies. Three projects are analyzed separately for adaptation to hot climate conditions: the Masdar Institute of Science and Technology, the Siemens headquarters, and the Masdar Center improvement project.

Keywords: Masdar; hot climate; ecology; energy efficient solutions; eco-friendly design principles.

Масдар-Сити на Ближнем Востоке (ОАЭ) стал ярким проектом, соединившим местные традиции и современные тенденции в области устойчивого развития. Современные технологии, принципы планирования, вдохновленные традиционными арабскими поселениями, и создание сообщества, стремящегося к нулевому выбросу углерода и нулевым отходам, являются ключевыми идеями проекта.

Проект площадью более 600 гектаров является инициативой правительства Абу-Даби для содействия развитию возобновляемых источников энергии и экологически чистых технологий для жизни [9, 10].

Градостроительная концепция

Идеи экологичности были отражены в первом генплане Масдара от бюро Foster + Partners в 2007 г. Строительство началось в феврале 2008 года. Территория относится к свободной торговой зоне и находится на юго-востоке Абу-Даби [3, 15].

Вблизи находится Зайед-Сити, также основанный относительно недавно – в 1980-х годах. Вокруг существует развитая транспортная инфраструктура, в том числе два крупных аэропорта. Также рядом находятся известные общественные развлекательные комплексы.

Строительство Масдар-Сити – длительный проект. По первоначальным планам (первый этап проекта) на площади 6 км² должны были проживать 50 000 человек. Также планировалось разместить около 1500 коммерческих и производственных предприятий, ориентированных на изучение и производство экологически чистых продуктов [3, 4]. Предполагалось, что расчетная плотность населения будет составлять 135 человек на 1 гектар [10].

Планировалось, что Масдар станет первым современным городом, обходящимся без транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания. Улицы города будут предназначены для пешеходов и велосипедистов, а транспортное сообщение – представлено высокоскоростным персональным и общественным транспортом: электромобилями и монорельсовой системой скоростных поездов соответственно [9, 10].

«Еще один акцент в развитии экогорода – бережное использование воды. Завод по опреснению воды, работающий также на солнечных батареях, будет служить источником водоснабжения города. Потребный среднегодовой расход воды в Masdar City запроектирован на 60 % ниже, чем у среднестатистического европейского города, имеющего аналогичный размер и плотность населения. <...> Около 80 % воды, используемой для водоснабжения Masdar, будет перерабатываться и сточные воды будут повторно использоваться там, где это возможно. В частности, очищенная вода будет применяться для орошения сельскохозяйственных культур и других целей» [3]. Также планируется сократить количество отходов жизнедеятельности города до нулевого значения [3].

Композицию генплана бюро Foster + Partners составляют два квадрата, соединенные парковыми зонами (рис. 1). Застройка смешанная – в центральной части города располагаются комплексы общественных учреждений, торговли, офисы, а на периферии расположены производства легкой промышленности, исследовательские институты, коммунальные и крупные зеленые зоны. Согласно первоначальным планам, под землей должны были расположиться транспортные пути, ведущие к Абу-Даби и пригородам.

В данный проект изначально была заложена возможность для расширения, чтобы избежать проблемы разрастания, от которой страдают многие города. Хотя проект Масдара представляет собой особый ответ на его местоположение и климат, его основополагающие принципы применимы в

любой точке мира. В этом смысле он предлагает план устойчивого города будущего.

На первом этапе строительства (проект Foster + Partners) были сданы в эксплуатацию крупные общественные комплексы и офисные помещения. Самыми известными постройками данного этапа стали Масдарский институт науки и технологии (2010 г.), штаб-квартира Siemens (2013 г.) и здание международного агентства по возобновляемым источникам энергии IRENA (2015 г.).



Рис. 1. Генеральный план Масдара, первый этап проекта, бюро Foster + Partners, 2007 г.:

а – генеральный план Масдара, 2016 [10]; б – проектное предложение [9]

Генплан второго этапа был разработан американским бюро СВТ (2014, 2015 гг. [7]). Проект до сих пор находится в стадии реализации. Второй этап был направлен на создание комфортного города, по-настоящему удобного для прогулок, использование принципов энергоэффективного проектирования, устойчивости.

В качестве основной градостроительной структуры используется сетка. За счет регулярной планировки образуются квадраты кварталов, которые включают в себя систему коммуникаций и внутренних дворов (рис. 2). Таким образом, формируется высокоплотная застройка, благодаря чему создается дополнительное затенение улиц. Подобный прием заимствован из традиционной архитектуры жарких стран.

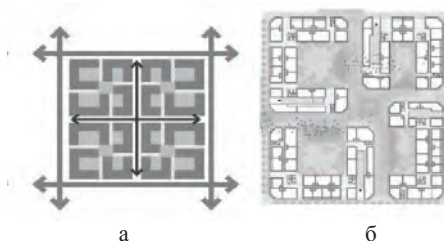


Рис. 2. Предложения второго этапа проекта, бюро СВТ. Регулярная планировка кварталов:

а – схема; б – фрагмент плана [7]

Жилые кварталы собираются из 3 основных типов объектов (блоков) разных размеров (рис. 3).

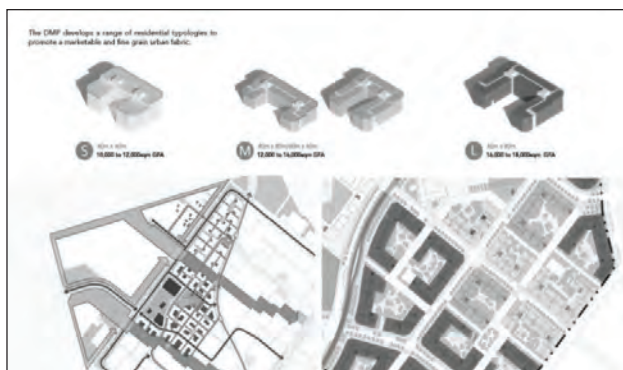


Рис. 3. Предложения второго этапа проекта, бюро CBV. Основные типы жилых блоков [7]

Основными принципами данного проекта стала архитектурная идентичность, вдохновленная местной культурой и окружающей средой. Затененные от солнца и вплетенные в городскую ткань узкие пешеходные улочки, так называемые сиккаки, приглашают членов сообщества к общению со своими соседями и наслаждению высоким качеством городской жизни (рис. 4). Подобный прием также обеспечивает быстрый доступ к близлежащим общественным объектам. В тени зданий, вдоль которых проходят сиккаки, формируется прохладное, безопасное и удобное для прогулок по окрестным местам, пространство. Особенностью города являются ажурные конструкции, заимствованные из традиционной архитектуры и закрывающие почти все улицы города на уровне крыш, что позволяет сохранять прохладу даже в жаркий полдень. Эти навесы создают необычное чувство уюта, а также значительно сокращают затраты энергии на кондиционирование зданий. Также характерными элементами являются балконы жилых помещений, выходящие прямо на оживленные улочки, многочисленные веранды первых этажей, предназначенные для различных предприятий, кафе и офисов, и дворики, отделенные ажурными ширмами. Сиккаки комфортны для всех пользователей: пешеходов, велосипедистов, людей с ограниченными возможностями и детей, использующих мощенные улицы в качестве неформальной детской площадки. [5]

Городская структура Масдара создана для развития разнообразного и сплоченного сообщества, чтобы побудить людей пересекаться и взаимодействовать в течение дня [7].

Еще одной из целей проекта стало устойчивое экологическое развитие. На уровне зданий и кварталов используются возобновляемые источники энергии и стратегии пассивного городского планирования для достижения

40-процентного сокращения энергопотребления по сравнению с традиционными источниками. В благоустройстве создается ряд отдельных гидрозон для стратегического распределения ценных водных ресурсов. В парках, пронизывающих кварталы, используется 70 % местных растений [5].



Рис. 4. Характерные элементы архитектурной идентичности, бюро СВТ. Сикакки – улицы, выполняющие функции основных общественных пространств [5]

Крупные общественные комплексы

Далее мы рассмотрим три общественных объекта – центра притяжения Масдара – существующие и запланированные к реализации: Институт науки и технологии Масдара, штаб-квартиру Siemens и проект благоустройства центра Масдара.

Институт науки и технологии Масдара (архитектурное бюро Foster + Partners, рис. 5) был построен в 2010 году. Это здание является одной из первых реализованных построек в городе. Площадь комплекса составляет 340 000 м². Институт рассчитан на 600-800 человек.



Рис. 5. Институт науки и технологии Масдара, бюро Foster + Partners, 2010 г. [2]

Университет был запланирован как крупный образовательный комплекс, расположенный в центре города и генерирующий активность в среде студентов, ученых и предпринимателей. Его стратегическое значение определило то, что он был возведен одним из первых (рис. 6 а)

Институт состоит из 3 основных блоков (рис. 6 б): лабораторий, жилых корпусов и библиотеки. Также на территории расположена ветряная башня, а корпуса зданий формируют общественные уличные пространства. Лаборатории и интерактивное пространство для исследований составляют основу проекта и спроектированы таким образом, чтобы обеспечить максимально гибкое пространство. Четыре жилых блока окружают центральную лабораторию и библиотеку. Квартир с одной, двумя и тремя спальнями расположены в малоэтажных блоках. Лаборатории и жилые блоки окружены различными общественными объектами (включая спортзал, столовую, кафе) и пространствами – внутренними дворами. Для общего пользования также доступны меджлисы – места для собраний и встреч, и конференц-зал. Общественные пространства охлаждаются естественным образом за счет тени и зеленых насаждений.



Рис. 6. Центральные научные и образовательные объекты Масдара:
а – схема застройки Института науки и технологии Масдара [1]; б – институт науки и технологии Масдара. План [10]

Здания возвышаются примерно на 4–5 этажей над уровнем улицы, а плотность застройки дает дополнительное преимущество пассивного солнечного затенения. Расположенные на крыше фотоэлектрические установки площадью более 5000 квадратных метров обеспечивают институт электроэнергией. На подземном этаже располагается парковка для личных автомобилей скоростного транспорта (рис. 7).

Некоторые фасады облицованы терракотовыми панелями, формирующими балконы, другие – изящными металлическими экранами, а некоторые – отражающими стеновыми панелями, наполненными воздухом для снижения тепловой массы внешней стены и одновременного отражения от нее

солнечного света. Окна различаются в зависимости от их положения: верхние этажи более массивные и остеклены примерно на 25%, тогда как затененные нижние этажи имеют большую долю застекленной площади – около 45%. Окна в жилых домах защищены современной интерпретацией машрабии. Машрабия – арабский термин, обозначающий тип выступающего эркерного окна, которое традиционно закрывалось резной деревянной решеткой. Отсылая к традиционной арабской архитектуре, такие окна используются в основной части здания, выходящей на улицу (рис. 8) [6, 8, 13].

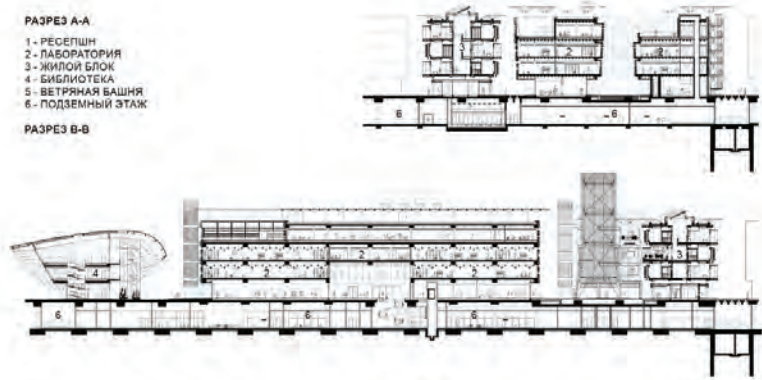


Рис. 7. Разрез А-А / разрез В-В Института науки и технологии Масдара [8]



Рис. 8. Институт науки и технологии Масдара:
а – внутренний двор; б – ветряная башня [6]

Вентиляция пешеходных улиц и охлаждение в ночное время дополнительно усиливается за счет ветряных башен и внутренних дворов (рис. 8, б).

Пешеходное движение осуществляется на уровне улиц, где эти основные пространства соединяет затененный маршрут через территорию кампуса. Ветряная башня, высотой 46 метров, затягивает прохладный воздух сверху и выпускает его на улицы города, тем самым создавая постоянную прохладу (15-20 градусов).

Штаб-квартира Siemens (архитектурное бюро Sheppard Robson, рис. 9) была построена в 2013 году. Площадь здания составляет 22 800 м². Внешний вид здания – результат сочетания традиционного дизайна и параметрического анализа для создания эффективной и компактной формы.

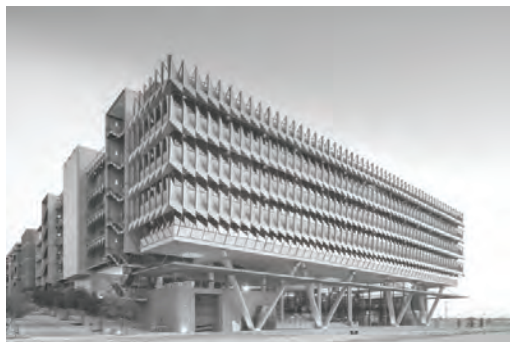


Рис. 9. Штаб-квартира Siemens, бюро Sheppard Robson, 2013 г. [14]

Здание находится в непосредственной близости к Институту науки и технологии (рис. 6).

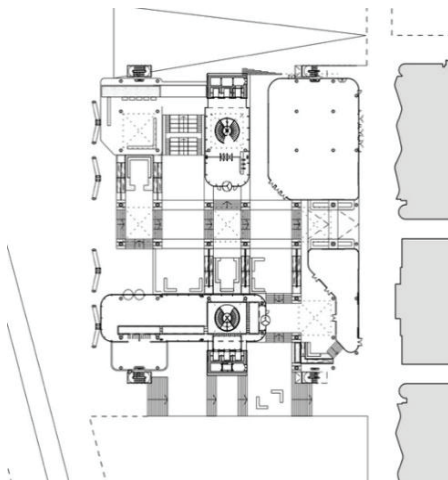


Рис. 10. План штаб-квартиры Siemens [14]

Офисные пространства возвышаются над общественной площадью и затеняют ее. Площадь была спроектирована как террасированное продолжение существующей общественной территории. Это общественное пространство дополнительно расширяется за счет ряда внешних «комнат», торговых помещений и двух застекленных входных офисных групп (рис. 10, 11).

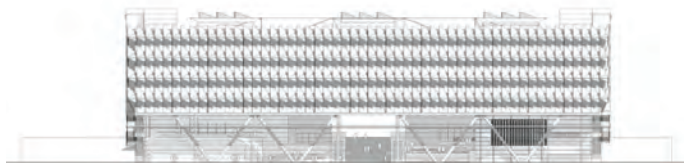


Рис. 11. Фасад штаб-квартиры Siemens [14]

Идеей здания было создание «коробки внутри коробки» (рис. 10). Внутренняя часть представляет собой высокоизолированный воздухонепроницаемый фасад, предназначенный для снижения теплопроводности. Вокруг него расположена легкая алюминиевая внешняя система затенения (рис. 9, 11), которая сводит к минимуму приток солнечного света. Разнообразие форм систем затенения, характеризующихся легкими алюминиевыми ребрами, создает сильную архитектурную идентичность здания, при этом каждый фасад адаптирован к солнечной ориентации (рис. 11) [14].

Проект благоустройства центра Масдара (архитектурное бюро LAVA, рис. 12) – сердца города, состоит из главной площади, пятизвездочного отеля, отеля для длительного проживания, конференц-центра, развлекательного комплекса и магазинов. Площадь проекта составляет 100 000 м².



Рис. 12. Генплан проекта благоустройства центральной площади Масдара, бюро LAVA, 2008 г. [12]

Ключевыми идеями данного проекта являются (рис. 13):

- углы фасада здания могут трансформироваться с целью компенсации или оптимизации солнечных бликов;
- материалы на поверхностях стен реагируют на изменение температуры;
- дождевая вода с крыш зданий стекает по специальным водоотводам под землю для сохранения и повторного использования;
- фонарные столбы превращают площадь в трехмерную интерактивную медиа-инсталляцию;
- интерактивная термочувствительная технология активирует освещение в зависимости от движения пешеходов и использования мобильного телефона;
- сады на крыше одновременно участвуют в производстве продуктов питания, выработке энергии, эффективном использовании воды и повторном использовании органических пищевых отходов.

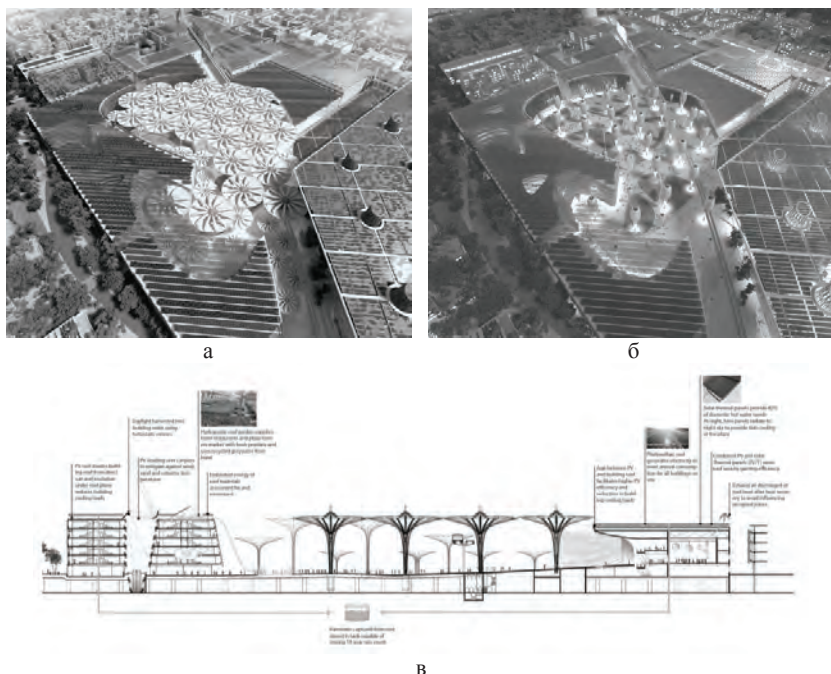


Рис. 13. Проект благоустройства по центральной площади Масдара, 2009:
а – вид сверху днем; б – вид сверху ночью; в – разрез проекта благоустройства по центральной площади [11]

Восток и запад сливаются в дизайне площади, вдохновленной оазисом, как эпицентром арабской кочевой жизни, так и классическими площадями

исторических европейских городов. Органические формы, созданные силами естественной эрозии в таких географических достопримечательностях, как великие каньоны и вади (арабское название сухих русел рек), послужили источником вдохновения для дизайна ключевых зданий в центре города. Зонты-«подсолнухи», работающие на солнечной энергии, улавливают солнечные лучи в течение дня, складываются ночью, высвобождая накопленное тепло, и снова открываются на следующий день (рис. 14). Они следуют за движением солнца, обеспечивая непрерывную тень в течение дня. Принцип подсолнечника экологичен и может быть адаптирован к любой точке мира – он создает возможность для жизни на открытом воздухе, даже в пустыне. [11, 12]

Проект Масдара пересматривается и трансформируется в процессе. Слияние местных традиций и современных технологий является одним из ключевых аспектов в формировании его городской среды. Несмотря на то, что проект еще не полностью реализован, наблюдается поступательное движение – учитывается предыдущий опыт, а главное, сохраняется последовательная линия приоритета целей энергоэффективности и устойчивости. Данная практика может быть использована для приспособления к условиям жаркого климата, что в дальнейшем послужит ценной разработкой для других регионов с засушливой средой по всему миру.

Список литературы

1. Гашо, Е. Масдар – сити: мираж в пустыне или экогород будущего? // EnergiaVita URL: <https://energiavita.ru/2022/02/08/masdar-siti-mirazh-v-pustyne-ili-ehko-gorod-budushchego/> (дата обращения: 25.03.2024).
2. Кампус Института науки и технологии Масдара // Archi.ru URL: <https://archi.ru/projects/world/6856/kampus-instituta-nauki-i-tekhnologii-masdara> (дата обращения: 25.03.2024).
3. Первый в мире экогород: Masdar City // Abok.ru URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4754 (дата обращения: 25.03.2024).
4. Энтони Мэллоус: главный принцип проекта «Масдар-сити» - экологичность // Stroi.mos. URL: <https://stroi.mos.ru/interviews/entoni-mellous-ghlavnnyi-printsip-proiekta-masdar-siti-ekologichnost?from=cl> (дата обращения: 25.03.2024).
5. CBT Unveils Community-Oriented Phase 2 Masterplan for Masdar City // ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/873748/construction-underway-on-masdar-citys-community-oriented-phase-2-masterplan> (date of access: 25.03.2024).
6. Designing Shadows: 10 Dynamic Screen Façades From the United Arab Emirates // Architizer. URL: <https://architizer.com/blog/inspiration/collections/uae-screens/> (date of access: 25.03.2024).
7. Flaneur in the Desert // Urbanslate. URL: <https://www.urbanslate.com/viii> (date of access: 25.03.2024).

8. Masdar - Abu Dhabi - Emirati Arabi Uniti: Masdar Institute By Foster + Partners // Art & Architecture. URL: <https://art-architech.blogspot.com/2017/01/masdar-abu-dhabi-emirati-arabi-uniti.html> (date of access: 25.03.2024).
9. Masdar City // Foster+Partners. URL: <https://www.fosterandpartners.com/projects/masdar-city> (date of access: 25.03.2024).
10. Masdar City, Abu Dhabi // Arquitectura Viva. URL: <https://arquitecturaviva.com/works/masdar-city-3> (date of access: 25.03.2024).
11. Masdar city centre // LAVA. URL: <https://www.l-a-v-a.net/projects/masdar-city-centre/> (date of access: 25.03.2024).
12. Masdar City Centre by LAVA // Dezeen. URL: <https://www.dezeen.com/2009/08/28/masdar-city-centre-by-lava/> (date of access: 25.03.2024).
13. Masdar Institute // Foster+Partners. URL: <https://www.fosterandpartners.com/projects/masdar-institute> (date of access: 25.03.2024).
14. Siemens HQ in Masdar City / Sheppard Robson // ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/539213/siemens-hq-in-masdar-city-sheppard-robson?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (date of access: 25.03.2024).
15. Welcome to the city of tomorrow // Masdar City URL: <https://masdarcity.ae> (date of access: 25.03.2024).

**ПРИЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ
ЭФФЕКТА «ТЕПЛОВОГО ОСТРОВА» В СИНГАПУРЕ**

**BUILDING DESIGN TECHNIQUES TO REDUCE THE URBAN «HEAT
ISLAND EFFECT» IN SINGAPORE**

О.Р. Турков, студент 4 курса

Д.Д. Попова, канд. архитектуры, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

O.R. Turkov, 4th year student

D.D. Popova, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье проанализированы архитектурные и градостроительные решения, направленные на снижение эффекта «теплового острова» в Сингапуре. Основная часть рассматриваемых решений опирается на данные исследовательского проекта Cooling Singapore, в особенности на такие методы как городское озеленение и проектирование сложной геометрии зданий, способствующие снижению температуры в городской среде.

Ключевые слова: архитектурное проектирование, Сингапур, экваториальный климат, эффект «теплового острова», городское озеленение, геометрия зданий, устойчивое развитие.

Abstract. The article analyzes architectural and urban planning solutions aimed at reducing the Urban «Heat Island effect» in Singapore. The bulk of the solutions under consideration are based on data from the Cooling Singapore research project, particularly on techniques such as urban greening and the design of complex building geometries that help reduce temperatures in urban environments.

Keywords: Architectural design, Singapore, equatorial climate, Urban «Heat Island effect», urban greening, building geometry, sustainable development.

Сингапур, расположенный на экваторе, характеризуется жарким и влажным климатом с высокими температурами и влажностью на протяжении всего года. Средняя дневная температура часто превышает 30 °С, а относительная влажность достигает 70-90 %. Будучи высоко урбанизированным городом-государством с плотной застройкой, Сингапур сталкивается с уникальными климатическими вызовами, требующими особого внимания при проектировании городской среды.

Одним из значительных климатических явлений, влияющих на комфорт городской среды Сингапура, является эффект «теплового острова»

(Urban Heat Island (UHI) Effect). Он выражается в повышенной температуре в центральных городских районах в сравнении с окружающей пригородной территорией [1]. Основными факторами, способствующими развитию этого негативного эффекта, являются:

- большое количество поверхностей с высокой теплоемкостью, таких как бетон и асфальт, нагреваемых от солнечного излучения в течение дня;
- стеклянные фасады и поверхности зданий, которые способны отражать и фокусировать солнечное излучение;
- блокирование ветровых потоков в плотной городской среде, препятствующее конвекции воздуха;
- избыточное тепло, исходящее из систем кондиционирования; автомобилей и промышленных предприятий.

Это приводит к увеличению локальной температуры окружающего воздуха на 5-7 °С, что усугубляет проблемы климатического комфорта для жителей, а также увеличивает затраты на охлаждение помещений. Более того, повышенные температуры могут негативно сказываться на здоровье населения, что делает борьбу с эффектом «теплового острова» приоритетной задачей для таких городов как Сингапур.

Для решения проблемы эффекта «теплового острова» в 2017 году в Сингапуре был запущен междисциплинарный проект Cooling Singapore, направленный на разработку и внедрение стратегий, снижающих воздействие этого явления. Этот проект объединяет усилия ведущих академических и исследовательских учреждений, таких как Сингапурский центр ЕТН, Сингапурский университет менеджмента, Национальный университет Сингапура и Массачусетский технологический институт (MIT). Целью проекта является повышение комфорта городской среды и снижение температуры в городе посредством применения передовых архитектурных и инженерных решений. В результате исследований был опубликован каталог «Strategies for Cooling Singapore» – сборник рекомендаций по снижению влияния «эффекта теплового острова» и поддержанию комфортного климата в городской среде Сингапура [2].

Предложенные меры призваны не только улучшить температурный комфорт и качество жизни жителей Сингапура, но и способствовать устойчивому развитию городской среды в условиях экваториального климата. Эти блоки охватывают ключевые аспекты градостроительства, архитектуры, инженерного обеспечения и строительных технологий, которые могут существенно повлиять на микроклимат города:

1. озеленение: включает внедрение зелёных насаждений на крышах, фасадах зданий и в общественных пространствах, что помогает снижать температуру воздуха и впитывать осадки;
2. сложная геометрия зданий: проектирование городских пространств и зданий с учётом улучшения естественной вентиляции и циркуляции воздуха, включая создание сквозных воздушных потоков и создание сложной геометрии зданий для уменьшения накопления тепла;

3. водные поверхности: создание и интеграция водоёмов, фонтанов и водных каналов, что способствует охлаждению воздуха за счёт испарения воды;

4. материалы и поверхности: использование фасадных материалов с низкой теплоёмкостью и высокой отражающей способностью, таких как светлые и пористые материалы дорог, тротуаров и фасадов зданий, а также применение теплоизоляционных панелей, препятствующих накоплению тепла внутри здания;

5. затенение: установка навесов и других конструкций, создающих тень в общественных местах и зданиях для защиты от избыточного солнечного излучения;

6. транспорт: развитие экологически чистых видов транспорта, таких как электрические автобусы и велосипеды, а также улучшение инфраструктуры для пешеходов и велосипедистов, что снижает выбросы от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания;

7. энергетика: внедрение энергоэффективных технологий и использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели и системы центрального охлаждения, что снижает общий тепловой выброс в атмосферу и уменьшает нагрузку на городские энергетические системы.

Согласно представленным выше рекомендациям одним из основных направлений снижения температуры, рекомендуемых проектом Cooling Singapore, является активное озеленение городской среды в целом и зданий в частности (блок рекомендаций 1). Примеры успешного озеленения зданий в Сингапуре включают использование зелёных фасадов и крыш, которые снижают температуру поверхностей.



Рис. 1. Пример использования озеленения для снижения эффекта «теплового острова»: Parkroyal on Pickering/ WOHA / 2013: а – фасад [3]; б – разрез [3]

Например, в отеле Parkroyal on Pickering (арх. WOHA, рис. 1), построенном в 2013 г., созданы зелёные террасы и вертикальные сады, что значительно уменьшает тепловое излучение и обеспечивает естественное затенение в номерах отеля.

В отеле Oasia Hotel Downtown (арх. WOHA, рис. 2) спроектирован металлический каркас для вьющихся растений по всей площади фасада. Растения создают естественную изоляцию от избыточного солнечного света и уменьшают необходимость в кондиционировании воздуха. Зелёные террасы и вертикальные сады не только создают естественное затенение и снижают отражение солнечного света, но и способствуют улучшению качества окружающего воздуха [4].

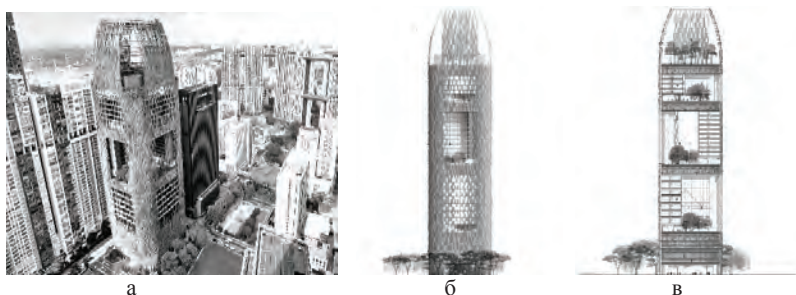


Рис. 2. Пример использования озеленения для снижения эффекта «теплого острова»: Oasia Hotel / WOHA / 2016:
а – вид сверху [5]; б – фасад [5]; в – разрез [5]

Также активное озеленение городского пространства играет роль современной достопримечательности Сингапура, позволяя повышать привлекательность и узнаваемость города.

Продуманное решение геометрии и формы зданий в городской среде (блок рекомендаций 2) существенно влияет на затенение и потоки воздушных масс. В Сингапуре, где преобладает плотная городская застройка, оптимизация расположения и формы зданий может существенно повлиять на циркуляцию воздушных потоков [6]. Один из эффективных приемов – проектирование сквозных террас на разных уровнях зданий, в том числе высотных, для улучшения циркуляции воздуха и естественного проветривания. Сложная геометрия в виде проемов в структурах зданий способствует свободному движению воздушных масс, что уменьшает застой теплого воздуха и снижает температуру. Такие приемы используются в проектах: Pan Pacific Orchard Hotel / WOHA (2023 г.); The Interlace / OMA (2013 г.); Artyzen Hotel Singapore / ONG&ONG (2023 г.); 18 Robinson / KPF (2019 г.).

Pan Pacific Orchard Hotel (арх. WOHA, рис. 3) – высотное здание отеля на 350 номеров, построенное в 2023 году. Геометрия отеля состоит из прямоугольного объема, разделенного тремя террасами на разных уровнях здания. Террасы имеют различный функционал: бассейн (Beach Terrace), зона отдыха и сад (Garden Terrace), и пространство для мероприятий (Cloud Terrace). Сложная форма здания позволяет с одной стороны затенять гостиничные номера, расположенные в глубине объема, создавая естествен-

ные теневые зоны, что значительно снижает перегрев помещений отеля в дневное время. С другой стороны, общественные террасы в высотном здании позволяют посетителям проводить больше времени на открытом воздухе, что благоприятно сказывается на их здоровье и социальном благополучии.



Рис. 3. Пример использования сложной геометрии для снижения эффекта «теплового острова»: Pan Pacific Orchard Hotel / WONA (2023 г.): а – фасад [7]; б – разрез [7].

Жилой комплекс The Interlace (арх. OMA рис. 4) был построен в 2013 году в качестве эксперимента, предлагающего уникальный подход к организации жилого пространства в жарком и влажном климате. Комплекс состоит из шестизэтажных объемов, формирующих шестиугольные в плане «звенья», образующих пронизываемые дворы. Такая организация пространства позволяет интегрировать жилую застройку в окружающую природную среду. Открытые дворы обеспечивают циркуляцию воздуха и естественное освещение, что способствует улучшению микроклимата и снижению температуры в комплексе.



Рис. 4. Пример использования сложной геометрии для снижения эффекта «теплового острова»: Жилой комплекс The Interlace / OMA (2013 г.): а – общий вид [8]; б – фрагмент [8]

Выбор строительных материалов и покрытий также играет роль в снижении эффекта теплового острова (блок рекомендаций 4). Метод заключа-

ется в применении не поглощающих солнечное тепло материалов для покрытия дорог, тротуаров и фасадов зданий, что предотвращает накопление и излучение тепла. Обустройство зеленой кровли, использование светлых покрытий с высокой отражательной способностью или возведение тканевых навесов на крышах и фасадах зданий позволяет отражать значительную часть солнечной энергии, уменьшая перегрев конструкций в условиях интенсивного солнечного излучения.

С момента запуска проекта Cooling Singapore в 2017 году уже были достигнуты значительные результаты в борьбе с эффектом теплового острова. Комплексное применение предложенных мер привело к снижению температуры на 2-4 °C в центральном деловом районе города [9]. Компьютерные цифровые модели, разработанные в рамках проекта, позволяют на этапе проектирования симулировать и оценивать влияние разрабатываемых архитектурных и градостроительных предложений на городской климат, что помогает в принятии обоснованных решений по поддержанию и улучшению климатического комфорта.

Помимо рассмотренных пассивных методов охлаждения городской среды в Сингапуре внедряются инновационные методы по борьбе с жарким климатом. В качестве примера можно привести подземную централизованную систему хладоснабжения, действующую с 2016 года в центральном районе Marina Bay Sands. Комплекс зданий посредством подземных трубопроводов подключен к станции, охлаждающей воду. Холодная вода циркулирует по трубам к окружающей застройке, позволяя отказаться от монтажа систем кондиционирования в каждом отдельном здании.

Такой инновационный метод решает сразу несколько задач: во-первых, централизация кондиционирования и охлаждения помогает снизить затраты на электроэнергию, используемую для охлаждения до 40% по сравнению с классическими системами. Во-вторых, при использовании водяного охлаждения не происходит выбросов теплого воздуха от внешних блоков сплит-систем воздушного кондиционирования, что также влияет на снижение эффекта «теплового острова» в плотной городской застройке. По прошествии времени подземная система хладоснабжения, построенная в Marina Bay Sands, зарекомендовала себя с положительной стороны и данный вид кондиционирования интегрируется в настоящее время в новых девелоперских проектах Сингапура.

Важно отметить, что применяемые решения могут и должны применяться комплексно, дополняя и преумножая положительный эффект от их внедрения. Совокупность использования различных приемов при проектировании, строительстве и реконструкции объектов позволяет достичь необходимого эффекта снижения температуры в городской среде, что соответствует принципам устойчивого развития. Сингапур наглядно демонстрирует, как интеграция архитектурных, инженерных и градостроительных решений может эффективно справляться с вызовами изменения климата и повышением температуры в плотной городской застройке. Полученный опыт может служить примером для других мегаполисов, которые также

сталкиваются с аналогичными климатическими вызовами. Таким образом, Сингапур не только укрепляет свои позиции лидера в области современной архитектуры и урбанистики, но и становится ориентиром для устойчивого развития городов будущего.

Список литературы

1. Wong, N.H., Chen, Y. Tropical Urban Heat Islands: Climate, Buildings and Greenery. Abingdon: Routledge, 2009. 326 p.
2. Cooling Singapore. Cooling Singapore: Strategies for Sustainable Urban Heat Island Mitigation. Singapore: Cooling Singapore Initiative, 2020. 120 p.
3. Отель Parkroyal on Pickering. URL: <https://archi.ru/projects/world/8096/otel-parkroyal-on-pickering> (дата обращения: 23.12.2024).
4. Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs: Environmental Pollution, 2011. 159 p.
5. (дата обращения: 23.12.2024).
6. Chen, L., Ng, E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade: Cities, 29, 2016. 125 p.
7. Pan Pacific Orchard Hotel / WOHA. URL: <https://www.archdaily.com/1008122/pan-pacific-orchard-hotel-woha> (date of access: 23.12.2024).
8. The Interlace. URL: <https://www.oma.com/projects/the-interlace> (date of access: 23.12.2024).
9. Cooling Singapore. Cooling Singapore: Mitigating Singapore's Urban Heat Island Effect. URL: <https://www.coolingsingapore.sg> (date of access: 15.03.2024).

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
АРХИТЕКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВАНТОВЫХ ПОКРЫТИЙ
В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА**

**THE RELEVANCE OF THE APPLICATION OF ARCHITECTURAL
STRUCTURES OF CABLE-STAYED COVERINGS IN A HOT CLIMATE**

Ю.С. Юрасов, аспирант 1 курса

И.Б. Волкодаева, профессор

Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина, Москва, Россия

Y.S. Yurasov, 1st year graduate student

I.B. Volkodaeva, professor

The Kosygin State University of Russia, Moscow, Russia

Аннотация. На сегодняшний день в современных условиях весьма востребованы проекты, актуальные для особых климатических условий с оригинальными и экономичными решениями в области архитектуры и дизайна.

Ключевые слова: вантовые покрытия, дизайнерские решения, конструкции, патент, макет.

Abstract. Today, in the modern world, there is a high demand for projects, relevant for special climatic conditions with original and economical solutions in the field of architecture and design.

Keywords: cable-stayed coverings, design solutions, constructions, patent, layout.

В условиях жаркого климата весьма востребованы архитектурные экономически рентабельные решения с подходящими термическими характеристиками. Данные требования не обходят стороной и крыши объектов различного назначения. Особенно высока потребность в различных большепролетных сооружениях для используемых в местах массовых скоплениях людей, таких как рынки, торговые центры, стадионы, гостиничные комплексы, городские пространства, а также производственные площади, места хранения и т.д.

В качестве используемых конструкций одним из наиболее предпочтительных вариантов является использование крыш, изготовленных с помощью технологии вантовых покрытий, при которой в качестве опоры являются натянутые стальные тросы [2]. Наглядное представление данной конструкции отражено на макете вантового покрытия (рис. 1).

В условиях жаркого климата данная конструкция весьма актуальна поскольку она выполняет свою защитную функцию, при том, что от перегрева стальные ванты защищены тентовой тканью из ПВХ, который в свою очередь имеет более низкую теплоёмкость [5].

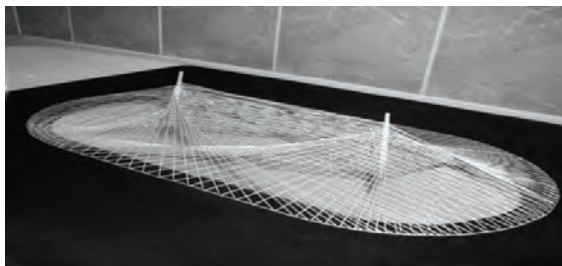


Рис. 1. Макет вантового покрытия

Основные элементы вантовых покрытий представлены на рис. 2.



Рис. 2. Основные элементы вантовых покрытий

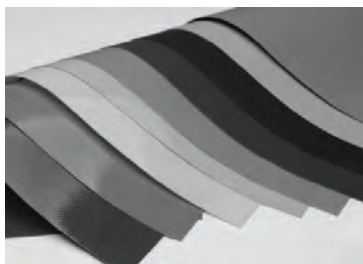


Рис. 3. Тентовые покрытия из ПВХ разных цветов

Различные варианты технологии вантовых конструкций широко используются, и показали свою состоятельность при строительстве сооружений различного назначения, таких как мосты, стадионы, рынки и т.д. [3]. В строительной отрасли существуют инженерные решения, подобные предложению Юрасова Ю.В. [1]. Например, патент Лабузина С.А. – заявка № 95120744/03 [4]. Но решение Юрасова Ю.В. является более предпочти-

тельным, поскольку предложенные технические решения являются менее громоздкими, что снижает требуемые финансовые затраты на их реализацию. Схема конструкции вантовых покрытий представлена на рис. 4.

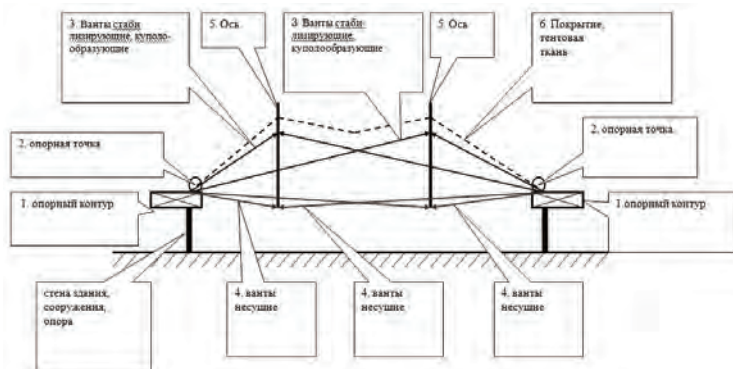


Рис. 4. Принципиальная схема конструкции вантовых покрытий

Данный способ является экономически рентабельным при возведении крыш большепролетных сооружений в жарких климатических условиях и позволяет создавать архитектурные объекты в кратчайшие сроки, за счёт простой техники монтажа.

Список литературы

1. Пат. 1377890 СССР: МПК G09B 23/04 Устройство для демонстрации линейчатых поверхностей [Текст] / Юрасов Ю.В. заявитель и патентообладатель : Юрасов Ю.В. -№ 3863268 заявл. 24.11.1983; опубл. 29.02.1988 Бюл. № 8.
2. Воронов, В.И. Конструкции пространственных покрытий: учебное пособие/ Воронов В.И., Михайлов В.В., Щуко В.Ю.; Владимирский государственный университет. - Владимир: Изд-во ВлГУ, 2005. - 92с.
3. Дмитриев А.Г., Касилов А.В. Вантовые покрытия. Расчет и конструирование. – Киев: Будивельник, 1974. – 272 с.
4. Пат. 2099485 Российская Федерация: МПК E04B 7/14 Вантовое покрытие и способ его изготовления [Текст] / Лабузин С.А. заявитель и патентообладатель : Лабузин С.А. -№ 95120744/03 заявл. 09.12.1995; опубл. 20.12.1997.
5. Исследование качества формирования поливинилхлоридного покрытия в производстве тентового материала / С. В. Мищенко, С. В. Пономарев, А. В. Трофимов, В. А. Самородов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 596-605. – ISSN 0136-5835.

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО ОБЪЕКТОВ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 72.01

АРХИТЕКТУРА ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ: МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ

ARCHITECTURE FOR EXTREME CONDITIONS: MATERIALS AND STRUCTURES FOR RESILIENCE

Гасанова-Фараджова Кяклик, канд. арх., доцент

Азербайджанский архитектурно-строительный университет, г. Баку, Азербайджан

Gasanova-Farajova Kaklik, PhD, associate professor

Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku,
Azerbaijan.

Аннотация. Статья посвящена исследованию архитектурных подходов к проектированию зданий в условиях, требующих повышенной устойчивости. Особое внимание уделяется выбору конструктивных решений и строительных материалов, способных обеспечить безопасность и долговечность в условиях сейсмической активности, экстремального климата и иных природных или техногенных угроз. Рассматриваются примеры проектов, реализованных в Азербайджане и других странах.

Ключевые слова: экстремальные условия, устойчивость конструкций, строительные материалы, климатическая адаптация, сейсмостойкость.

Abstract. The article is dedicated to the study of architectural approaches to building design in conditions that require increased stability. Special attention is paid to the selection of constructive solutions and building materials capable of ensuring safety and durability in the conditions of seismic activity, extreme climate and other natural or man-made threats. Examples of projects implemented in Azerbaijan and other countries are considered.

Keywords: extreme conditions, structural stability, building materials, climatic adaptation, seismic resistance.

В условиях стремительно изменяющегося климата, учащения природных катастроф и увеличения антропогенной нагрузки на окружающую среду архитектура приобретает новую миссию: обеспечивать устойчивость среды обитания человека даже в экстремальных обстоятельствах. Архитектура больше не ограничивается эстетикой и функциональностью. Сегодня она становится наукой о выживании, приспособлении и инженерной устойчивости. Особенно это актуально для регионов, подверженных природным и техногенным рискам, к числу которых относится и Азербайджан.

К экстремальным условиям эксплуатации зданий в Азербайджане относятся:

- сейсмическая активность;
- резкие температурные колебания;
- повышенная влажность или засушливость;
- высокие скорости ветра;
- угроза наводнений, оползней, ураганов;
- загрязнение воздуха и почвы вблизи промышленных зон;
- ограниченность ресурсов и удаленность территории (например, горные, пустынные районы).

Каждое из этих условий требует специфических подходов к проектированию, подбора материалов и инженерных решений. Для архитекторов важно не только учитывать климатические и географические особенности региона, но и предвидеть потенциальные угрозы, которым будет подвергаться здание в течение всего срока эксплуатации.

Материалы, используемые в архитектуре экстремальных условий, должны обладать прочностью, долговечностью, инертностью к агрессивной среде и устойчивостью к механическим и температурным нагрузкам. Среди таких материалов армированный бетон, оцинкованная сталь, стеклопластик, современные полимеры, энергоэффективные и композитные панели. Перспективным направлением считается и применение биоматериалов, а также переработанных компонентов, что снижает общий углеродный след строительства [1]. Современные технологии позволяют производить панели с включением органических волокон, базальтового волокна, а также наносить защитные покрытия, адаптированные к ультрафиолету или солевому воздействию. В строительстве в прибрежных и засушливых регионах Азербайджана это особенно актуально.

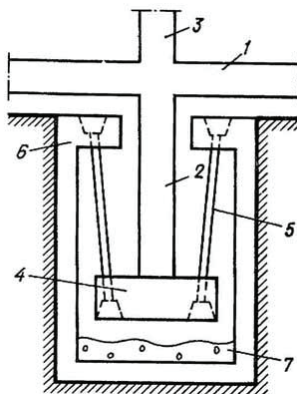


Рис. 1. Сейсмоизолирующий фундамент с подвесными опорами:

- 1 – ростверк; 2 – опора под колонну; 3 – колонна; 4 – плита под опорой;
5 – преднапряженный железобетонный тяз; 6 – верхняя плита колодца;
7 – слой песка

В сейсмоопасных зонах, как, например, на территории Азербайджана, актуальны такие конструктивные решения, как усиленные железобетонные каркасы, фундаментные подушки с демпфирующими вставками, внедрение сейсмоизоляторов и амортизирующих узлов в несущих элементах зданий (рис. 1). В зависимости от класса здания и его этажности применяются разные схемы пространственного жесткости. Например, в многоэтажных жилых комплексах Гянджи используется перекрестное армирование стен и колонн, что минимизирует риск прогрессирующего обрушения при сейсмическом воздействии [2]. Также важна гибкость внутренних перегородок их способность деформироваться без разрушения.

Климатическая устойчивость ещё один важный критерий. В условиях высоких температур и яркого солнечного излучения (характерного для восточных районов Азербайджана) применяются многослойные теплоотражающие фасады, зелёные крыши, системы естественной вентиляции и защита от перегрева. Архитектура, адаптированная к жаркому климату, предполагает минимизацию остекления на южных фасадах, применение светлых отделочных материалов, навесных конструкций и пергол. Примером может служить административное здание в Масаллы, построенное с применением пассивных климатических технологий, включая фасады с динамическими жалюзи [3]. Такие решения обеспечивают не только энергетическую эффективность, но и комфорт для пользователей без дополнительного энергопотребления (рис. 2-3).



Рис. 2. Пример зелёной крыши

Для районов с повышенной влажностью (Ленкорань, Нахичевань) актуальны влагостойкие материалы и грамотная организация водоотвода. Использование модульных систем дренажа и защитных экранов позволяет

минимизировать воздействие осадков и сохранить целостность конструкций. Также применяются приподнятые основания, отводящие террасы и системы направленного водостока, что особенно важно в зонах с обильными осадками. При проектировании общественных зданий в Ленкорани архитекторы используют керамические фасадные элементы с естественной вентиляцией за облицовкой, что предотвращает образование плесени и грибка.



Рис. 3. Фасады с динамическими жалюзи

В условиях ограниченного доступа к строительным ресурсам, например, в отдалённых горных селениях широко используются модульные и сборные конструкции, а также легкие утеплённые панели. Архитектура таких объектов минималистична, но высокофункциональна: энергонезависимость, автономность и адаптация к микроклимату обеспечивают устойчивость построек [4]. Часто применяются солнечные панели, ветрогенераторы, автономные системы водоснабжения. Мобильность и повторная сборка таких зданий особенно важны для временных медицинских пунктов, школ, станций МЧС в труднодоступных районах (рис. 4).

Особое значение приобретают технологии мониторинга и «умные» системы безопасности. Современные здания оборудуются датчиками температуры, влажности, сейсмической активности и деформации конструкций. Это позволяет не только оперативно реагировать на угрозы, но и осуществлять долгосрочный анализ эксплуатационного состояния зданий [5]. Системы сбора данных интегрируются в цифровые платформы и BIM-модели, что позволяет прогнозировать состояние конструкций, проводить превентивное обслуживание и избегать аварий. В Баку и Сумгаите реализуются пилотные проекты с применением таких систем в школах и больницах.

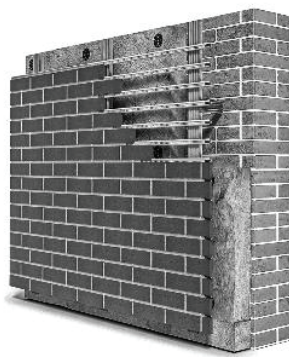


Рис. 4. Керамические фасадные элементы с естественной вентиляцией

Таким образом, архитектура экстремальных условий – это синтез инженерии, устойчивого проектирования, климатологии и гуманитарных ценностей. Она требует комплексного подхода, учитывающего физико-географические, социальные и технологические параметры. В Азербайджане, как и во многих странах с высокой природной уязвимостью, такие подходы становятся основой государственной политики в области строительства. Перспективы развития за трансдисциплинарными исследованиями, внедрением новых материалов и цифровых технологий, а также адаптацией традиционного архитектурного опыта к вызовам XXI века. Местные формы, тенеобразующие элементы, ориентация зданий по сторонам света – всё это может быть переосмыслено в контексте устойчивости. Важно не только защищать, но и уметь использовать экстремальную среду как ресурс для инновационной архитектуры.

Список литературы

1. Иванова, Л.А. Архитектура и климат. – М.: Архитектура-С, 2020. – 208 с. – ISBN 978-5-9647-0513-2.
2. Бабаев, Э.М. Сейсмостойкое строительство в Азербайджане. – Баку: Элм, 2018. – 296 с.
3. Алиева, Н.Р. Пассивные климатические технологии в архитектуре. – Баку: Наука, 2019. – 189 с.
4. Кулиев, Р.Д. Архитектура отдалённых регионов Азербайджана. – Шеки: Регион, 2021. – 242 с.
5. Смирнов, И.П. Устойчивость и безопасность зданий. – СПб: Питер, 2020. – 351 с.

**ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**TIMBER STRUCTURES IN SPECIAL
OPERATING CONDITIONS**

В.О. Стоянов, к.т.н., доцент кафедры архитектуры
Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

V.O. Stoianov, PhD, associate professor
Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены примеры использования деревянных конструкций в особых условиях эксплуатации. Приведены преимущества и особенности применения деревянных конструкций в таких условиях.

Ключевые слова: древесина, большепролетные конструкции, особенности эксплуатации.

Abstract. The article discusses examples of the use of timber structures in special operating conditions. The advantages and features of using wooden structures in such conditions are given.

Keywords: wood, large-span structures, operational features.

В настоящее время в России отмечается существенный рост спроса на строительство с применением древесины в качестве материала для основных несущих конструкций. Это обосновано, в первую очередь, ростом спроса на индивидуальные жилые дома у населения после периода карантинных мер во времена эпидемии COVID-19. Значительная часть населения задумалась о жизни за городом [1].

Интерес к древесине и поддержку деревянного домостроения оказывает и Министерство строительства, в рамках реализации поручений Президента о развитии деревянного домостроения в России [2].

Сегодня, в нашей стране, в области деревянных конструкций идет достаточно активная работа по актуализации нормативной документации и по внедрению современных технологий строительства. Идет активная научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа, проводятся работы по импортозамещению крепежных элементов, лакокрасочных покрытий, клеевых систем и даже деревообрабатывающих станков.

Отечественный рынок предлагает клиенту весь спектр современных технологий деревянного домостроения – срубы из бревен, профилированного клееного и цельного бруса, каркасы из клееной и цельной древесины,

дома на основе перекрестных (CLT и МНМ) и каркасных панелей и больше количество различных комбинированных решений. Что немаловажно – существующие технологии домостроения могут быть легко адаптированы под любые архитектурные облики. С учетом имеющихся разработок, срок эксплуатации таких домов регламентируется не 50 лет, а применяемые материалы гарантирует экологичность и безопасное проживание в таких домах [3-6].

Естественно, помимо экологичности, деревянные конструкции обладают еще и большим количеством других уникальных качеств. Для северных территорий России важное значение имеет теплоизоляция строений. Древесина обладает хорошими теплоизолирующими свойствами, обеспечивая комфортные условия проживания даже в суровые зимы [7]. Современные технологии обработки позволяют повысить устойчивость материала к воздействию влаги и температурных колебаний [8].

Практически все технологии деревянного домостроения предусматривают заводское изготовление комплекта с последующей сборкой на строительной площадке. Такой подход обеспечивает высокое качество производимого продукта с контролем на производстве, а также скорость сборки. Сборка деревянного дома происходит быстрее каменных аналогов, что особенно актуально в условиях короткого строительного сезона северных районов страны. Технологичные конструкции, такие как клееный брус и каркасные технологии, сокращают сроки строительства на треть относительно традиционных технологий каменного строительства [9, 10]. Малая плотность древесины позволяет обеспечить сравнительно простую доставку конструкций в труднодоступные места нашей страны, именно поэтому сегодня фиксируется спрос на деревянные конструкции при строительстве различных баз отдыха и глэмпинга, например, на Камчатке и Алтае (рис. 1).



Рис. 1. Пример частной базы отдыха на Камчатке (фото автора)

Прочностные и жесткостные характеристики древесины также позволяют применять данный материал и при строительстве многоэтажных многоквартирных домов. На сегодняшний день российская практика отстает в данном направлении от общемировой, но тем не менее, уже присутствует ряд многоквартирных многоэтажных домов, построенных в России. В частности, в Ленинградской области в ЖК Славянка были использованы панели на деревянном каркасе в качестве ограждающих конструкций. В 2022 году в г. Сокол (Вологодская область) были возведены два четырех-этажных многоквартирных дома (рис. 2) с применением несущих конструкций из перекрестно-клееной древесины (CLT панели).



Рис. 2. Многоэтажный дома из CLT панелей в г. Сокол (фото автора)

Строительство жилых зданий – это, безусловно, одно из важнейших направлений для деревянных конструкций, однако, деревянные конструкции также успешно могут применяться и для создания промышленных объектов и инфраструктуры отдыха и досуга. В таких зданиях и сооружениях актуально применение большепролетных деревянных конструкций. Их применение обеспечивает ряд существенных преимуществ, подтвержденных исследованиями отечественных специалистов [11-12].

Устойчивость древесины к воздействию агрессивных сред делает ее использование безальтернативным при строительстве комплексов для хранения минеральных солей, руд и удобрений. Начиная с 2000 года при участии ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко было запроектировано и смонтировано большое количество таких комплексов в Ленинградской, Волгоградской, Тульской и Вологодской областях, Пермском и Краснодарском краях (рис. 3). Каждый такой комплекс включает несколько зданий складов пролетами от 18 до 70 метров. Спрос на проектирование и строительство таких комплексов в России с каждым годом возрастает.



Рис. 3. Склад минеральных удобрений в Пермском крае (фото автора)

Устойчивость древесины к агрессивным воздействиям также успешно себя проявляет и при строительстве аквапарков, бассейнов, СПА-комплексов (рис. 4). Повешенная влажность в данных зданиях благоприятно влияет на древесину, снижая риски растрескивания. Особых требований к лакокрасочным покрытиям для таких конструкций не предъявляется. Главная особенность проектирования, которую следует учитывать, это обеспечение надлежащей вентиляции узловых соединений деревянных элементов.



Рис. 4. Деревянные фермы СПА комплекса в Московской области (фото автора)

Немаловажным является и опыт применения деревянных конструкций в дорожной инфраструктуре. В данном направлении древесина широко используется для строительства складов гололедных реагентов и пешеходных надземных переходов (рис. 5). При строительстве переходов крайне важна скорость сборки данных конструкций, т.к. в процессе монтажа приходится останавливать дорожное движение. Высокая заводская готовность конструкций, безусловно, является важным фактором при выборе проектных решений.



Рис. 5. Пешеходные мосты в Калужской области (фото автора)

Выводы

На сегодняшний день уровень нормативной базы, технологические возможности и подготовка инженеров позволяет проектировать и возводить здания и сооружения из древесины, реализуя при этом любую архитектурную концепцию. Уникальные свойства древесины позволяют обеспечивать строительство и эксплуатацию зданий и сооружений даже в самых сложных условиях.

Список литературы

1. Рынок прорастает деревом - <https://www.kommersant.ru/doc/5941806> (дата обращения 18.03.2025).
2. В России будет обеспечено широкое внедрение многоэтажного деревянного домостроения - <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya/> (дата обращения 18.03.2025).
3. UNEP/GRID-Arendal. Forests and climate change: The role of forests in the global carbon cycle. GRID-Arendal, Norway, 2018.
4. Hillerbrand R., Sandberg M., Jonsson B.G. et al. Life-cycle assessment of wood products for construction purposes. Environmental Science & Technology, vol. 49(7), pp. 4313–4321, 2015.

5. International Panel on Climate Change (IPCC). Global Warming of 1.5°C. Special Report, Geneva, Switzerland, 2018.
6. European Commission. Sustainable Construction: Wood-based Materials and Their Role in Reducing Greenhouse Gas Emissions. Brussels, Belgium, 2019.
7. Всероссийский научно-исследовательский институт лесной промышленности. Отчёт по результатам исследований свойств древесины, ноябрь 2021 г.
8. Научно-техническое общество архитекторов и инженеров России. Материалы конференции «Современные строительные материалы», Санкт-Петербург, апрель 2022 г.
9. Маковкин Н.И., Щеглов Ю.А. Перспективы развития деревянного домостроения // Строительная наука и техника. 2019. №4(67). С. 58–65.
10. Козлов А.В. Инновационные технологии строительства загородных домов // Вестник Нижегородского университета имени Н.И. Лобачевского. Серия Строительство и архитектура. 2018. Т. 54. №1. С. 81–87.
11. Родионов В.А., Сидоров Н.Н. Большепролётные деревянные конструкции в строительстве: опыт и перспективы // Вестник строительных технологий. – 2020. – № 3(9). – С. 45–52.
12. Ануфриев И.В., Иванов О.С. Современные методы проектирования большепролётных деревянных перекрытий // Строительные материалы и конструкции. – 2021. – № 1. – С. 23–31.

ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ПОДТОПЛЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

BASIC TECHNIQUES FOR DESIGNING FACILITIES IN FLOODED AREAS

А.М. Мурашова, студентка 4 курса

Е.Н. Кузнецова, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.M. Murashova, 4th year student

E.N. Kuznetsova, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье описаны основные причины и источники подтопления застройки. Приведены примеры последствий подтопления застройки и сформулированы мероприятия необходимые при проектировании зданий и сооружений на подтопляемых территориях. В качестве примеров рассмотрены объекты из отечественного и зарубежного опыта проектирования и строительства на подтопляемых территориях.

Ключевые слова: подтопление территории, причины и источники подтопления застройки, методы защиты от подтопления, понтоны.

Abstract. The article describes the main causes and sources of building floodings. Examples of the consequences of flooding of buildings are given and measures necessary for the design of buildings and structures in flooded areas are formulated. Objects from domestic and foreign experience of design and construction in flooded areas are considered as examples.

Keywords: flooding of the territory, causes and sources of building floodings, methods of protection from flooding, pontoons.

В современном мире, когда меняется климат из-за глобального потепления и повышается уровень Мирового океана, всё чаще возникают задачи проектирования и строительства зданий и сооружений на подтопляемых территориях.

Подтопление территории – комплексный процесс, проявляющийся под действием техногенных и частично естественных факторов, при котором в результате нарушения водного режима и баланса территории за расчетный период времени происходит повышение уровня подземных вод, достигающее критических значений, требующих применения защитных мероприятий [1].

Таким образом, причинами и источниками подтопления застройки являются естественные и техногенные (антропогенные) факторы. Причины и источники подтопления могут проявляться по отдельности или комплексно. Все они по-разному влияют на застройку.

К естественным причинам подтопления относят: подъем уровня водоемов (источники – моря, озера и реки), опускание поверхности прибрежных городов (источники – моря, озера и реки), циклы колебания климата (источник – атмосферная влага), сезонные колебания уровня грунтовых вод (источник – атмосферная влага).

К техногенным причинам подтопления относятся: гидротехническое строительство водохранилищ и каналов, нарушение естественного поверхностного и подземного стоков, утечки из водонесущих коммуникаций.

Последствиями подтопления застройки могут быть: потери несущей способности и устойчивости грунтов в основании зданий и сооружений, оползни и оплывы берегов и крутых склонов, повышение сейсмичности территории на 1-2 балла, увеличение морозного пучения грунта, усиление коррозионной активности грунтов, уменьшение электробезопасности [2].

Очень важно на стадии проектирования зданий и сооружений на подтопляемых территориях разрабатывать специальные мероприятия. Эти мероприятия могут быть: предупредительными (пассивные методы) и защитные дренажи (активные методы).

К предупредительным мероприятиям относятся: вертикальная планировка, дождевая канализация, гидронамыв и подсыпка территории, гидроизоляция зданий и сооружений, противофильтрационные завесы, предотвращение утечек из водонесущих коммуникаций, профилактические дренажи сетей и сооружений, сохранение естественного подземного стока, вентиляции подземных частей зданий и сооружений [2].

К активным методам относятся защитные дренажи. Дренажи понижают уровень грунтовых вод и обеспечивают норму осушения на территории застройки, здания или сооружения.

Рассмотрим, как применяются эти методы на практике на примере объектов из мировой архитектуры, запроектированных и реализованных на подтопляемых территориях в разное время.

Понтонный дом: в 2017 году инженер-архитектор Александр Кузьминых, в рамках конкурсного проекта разработал и предложил концепцию дома на понтоне.

Понтонный дом – это здание, преимущественно с металлическим каркасом и легких деревянных панелей, установленное на понтоны, которые в случае подтопления территории могут поднять его на высоту до трех метров, защитив жильцов и их имущество (рис. 1).

В основании дома на понтонах находятся сваи с независимым подъемно-спусковым механизмом. Бетонная часть сваи находится в грунте, в ней зафиксирован оголовок, поднимающийся и опускающийся вниз в зависимости от ситуации. На оголовке закреплена двутавровая балка с полками

разной ширины. К балке крепятся непосредственно понтоны и каркас здания (рис. 2).



Рис. 1. Понтонный дом. Визуализации [3]

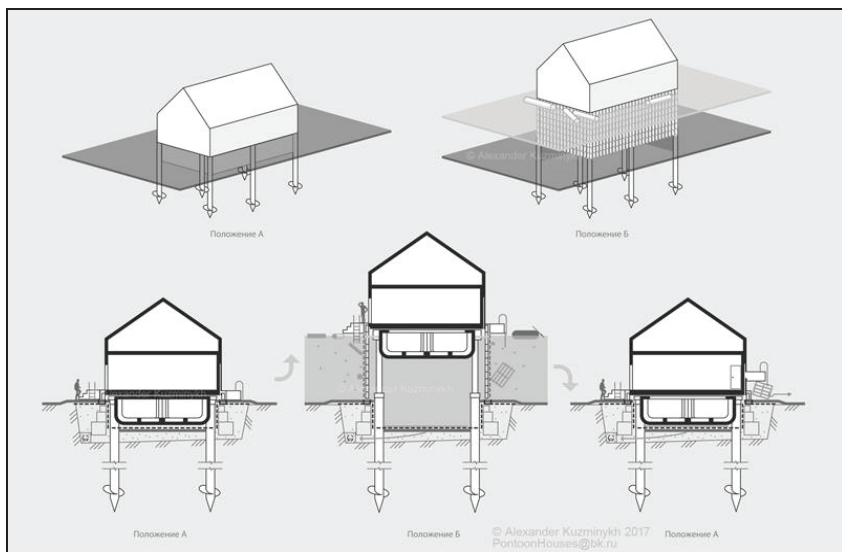


Рис. 2. Принцип работы подъемно-спускового механизма [3]

Для предотвращения попадания во время наводнения в «подвал» дома мелкого мусора и крупных объектов разработана система цокольных защитных «шторок».

Дом предлагается обеспечить автономными инженерными системами: электроэнергией, теплом, водоснабжением, водоотведением, вентиляцией.

Понтонные блоки предлагается производить из вторичного сырья, полученного при переработке использованных пластиковых отходов, путем 3D печати, формовки и литья (рис. 3).

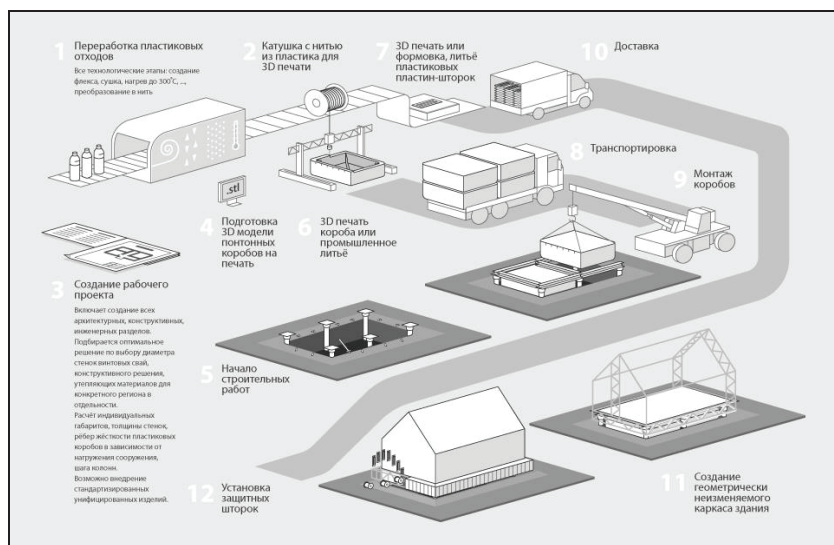


Рис. 3. Технологические циклы организации строительства [3]

Строительство дома на понтоне практически состоит из сборки готовых элементов на стройплощадке с подготовленным основанием.

Разработанное объемно-планировочное решение дома является лишь примером, его форма, планировка и функциональное назначение может быть абсолютно любыми.

Этот проект был высоко отмечен на разных профессиональных конкурсах, что говорит о его большом потенциале и перспективах развития.

Amphibious House, по проекту Baca Architects – первый реализованный в Великобритании Дом-амфибия, здание, которое стоит на земле в сухую погоду и поднимается всплывает во время наводнений. Этот дом построен на небольшом острове, расположенном на реке Темзе в южной части Бакингемшира.

Сам дом стоит на земле, а плавучее основание почти незаметно снаружи. Первый этаж дома приподнят над землей менее чем на 1м, а не на 2 м, как было бы необходимо, если бы он не был амфибией. Благодаря этому была увеличена этажность, а как следствие и общая площадь дома без увеличения абсолютной высоты (рис. 4 а).

Датчики уровня воды, установленные вдоль реки, заранее предупреждают о приближающемся наводнении. Тщательно спланированный ландшафт вокруг дома тоже работает как естественная система предупреждения

о наводнениях. Террасы, расположенные на разных уровнях, были спроектированы таким образом, чтобы их постепенное затопление предупреждало жильцов задолго до того, как паводковая вода достигнет опасного уровня (рис. 4 б).

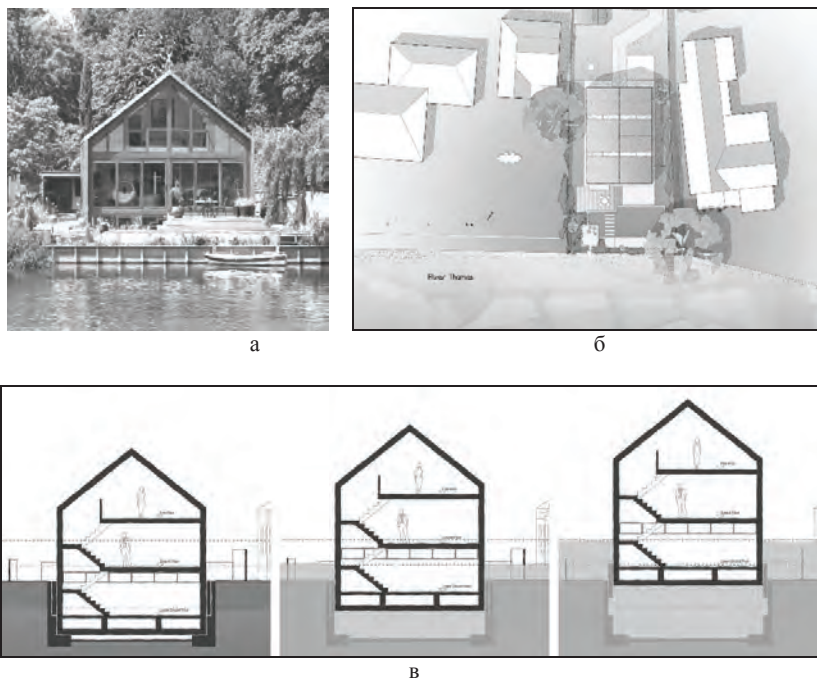


Рис. 4. Amphibious House:

а – фотофиксация; б – схема ситуационного плана;
в – схемы разрезов в зависимости от уровня вод [4]

Самая нижняя терраса засажена камышом, другая - кустарниками и растениями. Газон расположен на самой высокой террасе. Уровни с террасами ускоряют процесс восстановления после наводнений, создавая сухие участки по мере понижения уровня воды.

Дом-амфибия подключен к инженерным коммуникациям с помощью гибких труб. Эти гибкие трубы могут растягиваться на расстояние до 3 м, что позволяет всем коммуникациям оставаться чистыми и работоспособными во время любого наводнения. Важно отметить, что это также позволяет жильцам вернуться в дом сразу после наводнения, максимально сохраняя привычный образ жизни.

Испытание на плавучесть проводилось во время строительства, когда плавучий док наполняли водой, а дом поднимался на полметра за счёт его

собственной плавучести. Дом также испытывали повторно после того, как он был собран и обставлен мебелью.

В период с ноября 2019 года по февраль 2020 года в Соединённом Королевстве происходили сильные наводнения. В это время уровень воды в Темзе сильно поднимался, а владельцы Дома-амфибии, показанного в сериале «Грандиозный дизайн» на канале Channel 4, сообщили: «Дом продолжает подниматься и опускаться без постороннего вмешательства» (рис. 4 в).

Этот проект вызвал большой интерес, поскольку он стал первым в своём роде в Великобритании и создал прецедент для альтернативных подходов к строительству в условиях наводнений в будущем.

Flood-Proof House, по проекту Studio Peek Ancona – здание, построенное в Стиксон-Бич, Калифорния, США в зоне частых наводнений. Авторы проекта считают, что этот дом может стать прототипом зданий в зонах подтоплений по всему миру (рис. 5).



Рис. 5. Flood-Proof House (Дом в зоне наводнений) [5]

Конструктивно это сборная металлическая рамная конструкция внизу и пространственная ферма сверху. Для наружной отделки использованы панели из красного кедра. Такое решение обеспечивает быстрый процесс монтажа.

Основные помещения расположены в уровне второго этажа. Общая площадь внутреннего пространства дома составляет всего 41,8 м², а площадь консольных террас 32,5 м².

Стены первого этажа являются откидными створками и автоматически поднимаются в случае подъема воды до отметки второго этажа, позволяя волнам проходить под ним. Так же, они могут использоваться как причалы для лодок (рис. 6).

Этот проект получил много наград на различных конкурсах и был признан инновационным гибридным сборным домом, адаптируемым к различным условиям.



Рис. 6. Flood-Proof House. Закрытые и поднятые стены первого этажа [5]

Проект реконструкции поврежденного восточного побережья Шеньчжэня. KCAP + Felixx – выиграли международный конкурс на восстановление береговой линии Дапенга, сильно пострадавшую от тайфуна «Мангхут» в сентябре 2018 года. В победившем проекте была предложена концепция «тройной дамбы» – система многоуровневых заграждений для обеспечения устойчивости в будущем (рис. 7).



Рис. 7. Концепция «тройной дамбы». Визуализация [6]

Расположенная на полуострове в заливе между Гонконгом и Шэньчжэнем, инфраструктура береговой линии была сильно разрушена после стихийного бедствия. Был объявлен международный конкурс на «разработку плана по восстановлению береговой линии и повышению стандартов защиты от более частых экстремальных погодных явлений». Концепция KCAP + Felixx, разделена на шесть проектов, охватывающих 32 километра береговой линии, с целью создания устойчивой основы для социального и экономического роста.

Представленный проект KCAP + Felixx предусматривает «стратегию тройной дамбы» – многоуровневую укрепленную конструкцию, обеспечи-

вающую «комплексный подход к адаптивной к климату реорганизации береговой линии». Система «отходит от традиционной защитной стены вдоль побережья в сторону создания трёх зон застройки» (рис. 8).

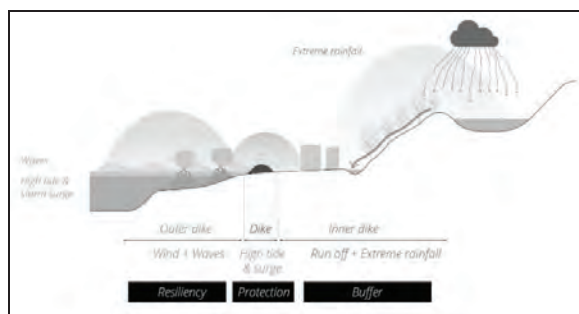


Рис. 8. Концепция «тройной дамбы». Принципиальная схема [6]

Каждая зона решает свои задачи. Первая зона работает над уменьшением волн, уменьшением эрозии и улучшением процесса осаднения. Вторая зона – многофункциональная стена, на которой запроектирован парк и благоустроенная набережная для прогулок с общественными пространствами. Набережная «останавливает штормовые волны и воду, поднимаемую волнами». Третья зона – это гибридная конструкция, собирающая и отводящая дождевую воду.

Кроме того, предложенная концепция защищает деревни, расположенные вдоль береговой линии, «улучшает существующие качества и раскрывает потенциал для роста».

Niederhafen River Promenade (Набережная реки Нидерхафен) реализованная в 2019 году по проекту архитектурного бюро Zaha Hadid Architects в Нидерхафене на реке Эльба в Гамбурге.

Модернизированная 625-метровая набережная, расположенная в Нидерхафене на реке Эльбе между Сен-Паули-Ландунгсбрюкен и Баумвалль в Гамбурге, является неотъемлемой частью модернизации и укрепления системы защиты города от наводнений.

После наводнения, вызванного штормовым приливом в феврале 1962 года, которое унесло жизни 315 человек и разрушило дома 60 000 жителей, в период с 1964 по 1968 год Гамбург построил барьер на берегу Эльбы в Нидерхафене, чтобы защитить город от наводнений высотой до 7,20 м над уровнем моря.

С тех пор современная гидрология и компьютерное моделирование позволили с большей точностью анализировать и прогнозировать характеристики наводнений в городе. Расчёты показали, что для защиты Гамбурга от будущих зимних штормовых нагонов воды и экстремальных приливов необходимо увеличить высоту барьера на 0,80 м. В 2006 году при осмотре существующего противопаводкового барьера в Нидерхафене было уста-

новлено, что несущие элементы существующей конструкции перегружены, а её фундамент нуждается в значительном усилении. Позже в том же году городские власти Гамбурга организовали конкурс на проектирование обновлённого противопаводкового барьера и впоследствии поручили этот проект архитектурному бюро Zaha Hadid Architects. Противопаводковый барьер в Гамбурге, Нидерхафен, расположен в значимом месте, где находится знаменитая набережная города – главная достопримечательность для туристов и одно из важнейших общественных пространств Гамбурга. С набережной, расположенной на вершине противопаводкового барьера, открывается прекрасный вид на Эльбу и порт.

После завершения всех этапов реконструкции противопаводкового барьера набережную реки вновь соединяют с окружающей городской застройкой. Она служит популярной прогулочной зоной вдоль реки, а также обеспечивает связь с прилегающими районами. Линейная конструкция возвышается на 8,60 м над уровнем моря в восточной части и на 8,90 м над уровнем моря в западной части, защищая город от максимальных зимних штормовых волнений и экстремальных приливов (рис. 9).

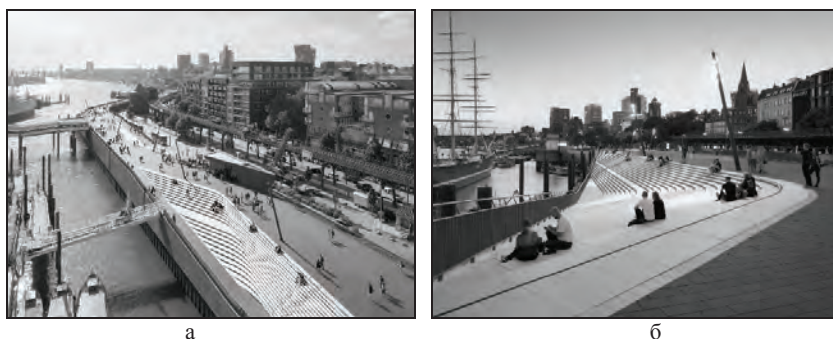


Рис. 9. Niederhafen River Promenade:
а – дамба; б – набережная [7]

Минимальная ширина в десять метров гарантирует, что на этой популярной набережной будет достаточно места для пешеходов, бегунов, уличных артистов, киосков с едой и кафе. Магазины и общественные учреждения также расположены в уровне улицы, выходящей в город. Широкие лестницы, напоминающие небольшие амфитеатры, вырезаны в защитном барьере от наводнений в тех местах, где улицы из прилегающих районов пересекаются со структурой. С уровня улицы проходим открывается вид на людей, прогуливающихся по набережной наверху барьера, а также на мачты и надстройки кораблей на Эльбе.

По всей длине противопаводкового барьера проложены выделенные велосипедные дорожки на уровне улицы. Широкие пандусы в районах Бамвелл и Ландунгсбрюкен соединяют набережную с уровнем улицы и

обеспечивают доступность для всех. Третий центральный пандус позволяет служебным автомобилям выезжать на набережную и мост Уберзеебрюке. Набережная разделена на две части с разным пространственным оформлением. В западной зоне открывается вид на реку и все судоходство ниже по течению. На востоке располагается пристань для яхт, к которой ведет длинный пандус от амфитеатра.

Трёхэтажный ресторан и два киоска с едой встроены в конструкцию, защищающую от наводнений. Верхний этаж ресторана нависает над прилегающей лестницей и открывает посетителям панорамный вид на Эльбу. Пешеходные зоны набережной облицованы тёмным антрацитовым гранитом, который контрастирует со светло-серым гранитом лестниц [7].

Набережная стала единым общественным пространством, дополняющим структуру города.

Таким образом, при проектировании зданий и сооружений на подтопленных территориях очень важно правильно предусмотреть мероприятий по защите застройки и территории. Это предотвратит в дальнейшем хозяйственный, социальный и экологические ущербы, обеспечит функционирование и развитие объектов, защитит население и природный ландшафт.

Список литературы

1. Официальный сайт МЧС России: [<https://mchs.gov.ru/ministerstvo/omministerstve/terminy-mchs-rossii/term/3553>], (дата обращения: 01.03.2024).
2. В.И. Сологаев. «Защита от подтопления в городском строительстве»: Учебное пособие. - Омск : СибАДИ, 2020. – 56 с. ISBN 978-5-00113-001-7. Интернет ресурс: [https://portal.sibadi.org/pluginfile.php/265958/mod_resource/content/1/dren2020.pdf], (дата обращения: 01.03.2024).
3. Официальный сайт: Понтонные дома [<https://www.pontoonhouses.com>], (дата обращения: 01.03.2024).
4. Официальный сайт архитектурного бюро Baca Architects: [<https://www.baca.uk.com/amphibioushouse.html>], (дата обращения: 01.03.2024).
5. Домик для наводнений в США.
6. [<https://www.magazindomov.ru/2013/02/27/domik-dlya-navodnenij/>], (дата обращения: 01.03.2024).
7. Официальный сайт Arch Daily: [https://www.archdaily.com/924736/kcap-plus-felixx-win-the-competition-for-the-redevelopment-of-shenzhens-damaged-east-coast?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all], (дата обращения: 01.03.2024).
8. Официальный сайт Arch Daily: [<https://www.archdaily.com/923308/niederhafen-river-promenade-zahadid-architects>], (дата обращения: 01.03.2024).

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО НА ЗАТОПЛЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

RESIDENTIAL CONSTRUCTION IN FLOODED AREAS

А.С. Макарук, студентка 4 курса

Д.Д. Попова, канд. архитектуры, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.S. Makaruk, 4th year student

D.D. Popova, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье представлены варианты адаптации архитектурных объектов к экстремальным гидрологическим явлениям. Рассмотрены современные направления развития отдельных объектов, комплексов и районов в таких условиях.

Ключевые слова: жильё, затопляемые территории, плавучие основания, наводнения.

Abstract. The article presents options for adapting architectural objects to extreme hydrological (water) phenomena. Examples and development prospects of individual objects, complexes and districts in such conditions are considered.

Keywords: housing, flooded areas, floating foundations, floods.

В работе рассматриваются особенности архитектурных, конструктивных и инженерных решений объектов, расположенных на территориях, подверженных затоплениям.

Существуют различия в определениях между подтопляемыми и затопляемыми территориями. Подтопление происходит снизу, за счет того, что поднимаются грунтовые воды, а затопление – от того, что вода появляется сверху, в виде осадков и разлива водоемов.

В диссертации архитектора И.С. Экономова сформулировано понятие архитектурного объекта на территориях с нестабильной гидрологической ситуацией как «объекта, объемно-планировочное и конструктивное решение которого адаптировано к экстремальным гидрологическим воздействиям природного характера и безопасно для временного или постоянного проживания человека» [2].

Далее будут рассмотрены три направления современного жилищного строительства в условиях затопления:

- дома на сваях;
- дома на искусственных насыпях;
- дома на плавучих основаниях.

Дома на сваях

С помощью свайных конструкций можно возводить как малоэтажные, так и многоэтажные здания. Рассмотрим несколько примеров.

Индивидуальный жилой дом в Германии (Мангейм-Нидерфельд) (рис. 1). Участок, на котором находится дом, расположен ниже уровня улицы. Благодаря тому, что дом поставлен на сваи, в момент, когда происходит затопление, вода проходит под жилыми этажами дома. Основной этаж со входом расположен на уровне отметки улицы (рис. 1.1) [5].

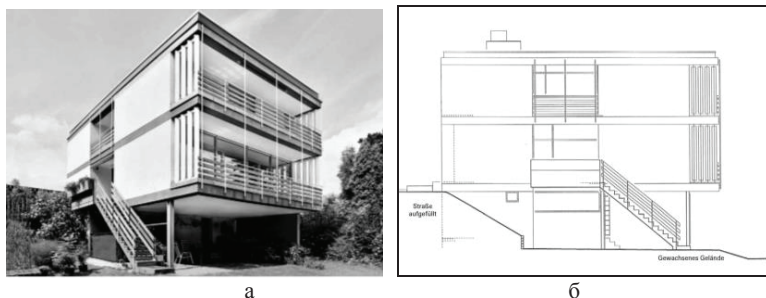


Рис. 1. Индивидуальный дом в Германии [5]:

а – общий вид; б – разрез

Реконструкция дома в Австрии (Хард) (рис. 2). Дом был построен 1950-х годах на территории аллювиального бассейна. Из-за проливных дождей в этом районе уровень воды постоянно повышается. Дом выполнен в деревянных конструкциях: перекрестно-клееная древесина используется в конструкциях стен, потолков и крыши. Только плита перекрытия и подземная часть выполнены из железобетона. Здание, как и в первом примере, «приподнято» над уровнем земли – цокольный этаж используется как склад и может затопливаться.

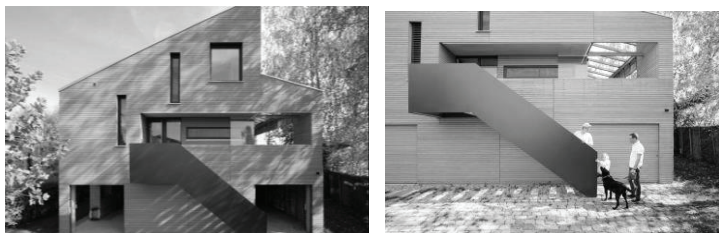


Рис. 2. Проект индивидуального дома «Klein Venedig» («Маленькая Венеция») [7]

Многоэтажные дома в районе Хафенсити (нереализованный проект) (рис. 3). Проект архитекторов Delugan Meissl Associated Architects мог бы находиться во внутренней гавани Баакенхафен в Гамбурге. Концепция была представлена в 2012 году.

Площадь комплекса составляет 19,5 тыс. м², а высота – 50,92 м. Максимальное количество жилых этажей в доме – 12, один из этажей – технический (ниже отметки входа).

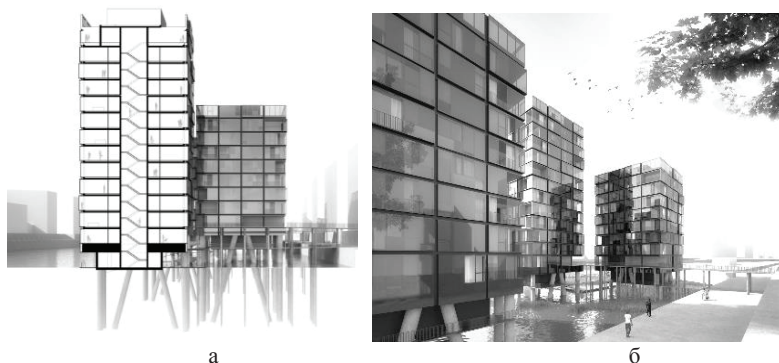


Рис. 3. Башни в Хафенсити, концепция, арх. Delugan Meissl Associated Architects: а – разрез, на котором видно свайное основание; б – общий вид комплекса [12]

Доступ к башням на воде, объединенным в три пары, осуществляется с причалов. Предложено благоустройство набережной в нескольких уровнях, при этом переходы между общественными и полуообщественными или частными зонами безбарьерные. Между зданиями на реку Эльбу открывается свободный вид, что вызывает заметные изменения в городской атмосфере [12].

Башни на Эльбе в районе Хафенсити (нереализованный проект) (рис. 4). Конкурс на проектирование башен состоялся в 2013 году. Дома на свайных основаниях должны были разместиться в квартале Баакенхафен в восточной части Хафенсити, бывшего порта Гамбурга. Шесть жилых башен на сваях на берегу Эльбы должны были составить центр квартала, включавшего также офисные здания. Было разработано несколько вариантов решений в рамках конкурса: проекты, занявшие 1-3 места представлены ниже – это предложения архитектурных бюро Shigeru Ban Architects Europe (рис. 4 а), Studio Gang (рис. 4 б), Szyszkowitz-Kowalski + Partner (рис. 4 в) [1].



а



б



в

Рис. 4. Нереализованные конкурсные проекты в Хафенсити:

а – 1 место, арх. Shigeru Ban Architects Europe; б – 2 место. Сад в гавани, арх. Studio Gang; в – 3 место, арх. Szyszkowitz-Kowalski + Partner [1]

Дома на искусственных насыпях

Плотные новые основания позволяют организовать участки, защищенные от затоплений.

Застройка района Хафенсити (рис. 5). HafenCity – один из крупнейших и наиболее захватывающих проектов градостроительной реконструкции в Европе. Он охватывает более 150 гектаров и включает в себя 10 оживленных районов в центре города.

За исключением набережных, застройка в среднем имеет высоту от восьми до девяти метров над уровнем моря.

Вместо дамб, которые были бы очень дорогими и разрушили бы живописное очарование набережной, компания КСАР, которая занималась мастер-планом района HafenCity, спроектировала его так, чтобы он был защищен от наводнений [11]. Концепция строительства на искусственных уплотненных насыпях, известных как варфты (Warft), придает району, где когда-то доминировали портовые и промышленные объекты, новую топографию, а также сохраняет доступ к воде и гарантирует при этом защиту от наводнений. Первые этажи на набережной отведены под торговые точки и выставочные пространства, которые закрываются во время наводнений.

Таким образом, в районе Хафенсити возникла характерная застройка с высокими цокольными этажами и консольными жилыми этажами, расположенными над набережными (рис. 5). Жилые этажи оказываются таким образом на безопасных отметках во время наводнения. А ближе к воде (на более низких отметках) благоустраиваются набережные и общественные пространства.



Рис. 5. Застройка вдоль каналов района Хафенсити¹

Жилой комплекс PianoBau в районе Хафенсити (рис. 6). Еще один проект в Хафенсити, который уже получил разрешение на строительство – жилой комплекс PianoBau. Характерная черно-белая цветовая гамма проекта является отсылкой к истории производства пианино в Гамбурге. Здания, спроектированные архитектором Флетчером Пристом, являются частью более крупного архитектурного ансамбля со зданиями, спроектированными другими гамбургскими компаниями. Здания имеют общий цокольный этаж. А проблемы, связанные с городскими условиями проекта, а также его расположением в непосредственной близости от второй по величине гавани Европы, были смягчены сложными дизайнерскими и техническими решениями [6].



Рис. 6. Жилой комплекс PianoBau в Хафенсити, арх. Флетчер Прист [6]

¹ URL: <https://www.lifegate.com/hamburg-green-city-europe> (date of access: 15.03.2024).

Дома на плавучих основаниях

Одним из самых известных решений является размещение сооружений на понтонах.

Ватербюрт (Waterbuurt), район на воде в Нидерландах (Амстердам) (рис. 7). Это группа из 158 плавучих домов, 55 из которых являются индивидуальными [4]. Район спроектирован голландским архитектором Марлизом Ромером [10]. Начало проекта было положено более 20 лет назад.

Дома построены на верфи примерно в 65 км к северу от озера Эймер. Они пришвартованы к стальным опорам, поэтому могут перемещаться только вертикально с изменением уровня воды (прилив-отлив). С учетом таяния ледяного покрова и того, что две трети населения Нидерландов живут ниже уровня моря, жить на воде здесь намного безопаснее, чем на суше.



Рис. 7. Ватербюрт, район на воде в Нидерландах (Амстердам), арх. М. Ромер [10]

Универсальная строительная система оказала значительное влияние на внутреннюю планировку и отделку домов. Дома состоят из модулей, которые собираются вместе, образуя разные типы (рис. 8). Например, покупатели могли выбрать, с какой стороны дома будет открываться вид, а терраса на крыше могла располагаться спереди, сзади или посередине. Планировка дома, включая расположение окон, была адаптирована к индивидуальным предпочтениям (рис. 8).

Проходящие под причалами кабели и трубы обеспечивают подачу газа, электричества, воды, и обеспечивают систему отвода сточных вод для каждого плавучего дома.



Рис. 8. Типы домов района Ватербюрт:
а – 1 блок –индивидуальные; б – 2 блока – дуплексы; в – 3 блока [10]

Шуншип (Schoonschip), район на воде в Нидерландах (Амстердам) (рис. 9). Проект, разработанный голландской архитектурной студией Space&Matter, включает в себя 46 жилых домов. Проект реализовывался на протяжении почти 10 лет и был завершен в 2021 г. [3].

Идея этого объекта заключается в том, что дома строят на сваях, вбитых в дно реки, но они крепятся к сваям не капитально, а словно поплавки, поэтому могут подниматься или опускаться.



Рис. 9. Schoonschip, район на воде в Нидерландах (Амстердам),
арх. Space&Matter [8]

В проекте использованы децентрализованные и устойчивые системы энергии, водоснабжения и утилизации отходов [3]. Дома очень хорошо изолированы и не подключены к газовой системе, а отапливаются тепловыми насосами. Насосы извлекают тепло из воды в канале, также используется пассивная солнечная энергия. Водопроводная вода нагревается как тепловыми насосами, так и солнечными водонагревателями. Все душевые оснащены системой рекуперации тепла. Также есть отдельные коммуникации для удаления сточной воды (из душа, стиральной машины и из туалетов).

В районе Schoonschip каждый дом уникален, при этом выделяется несколько типов (рис. 10).

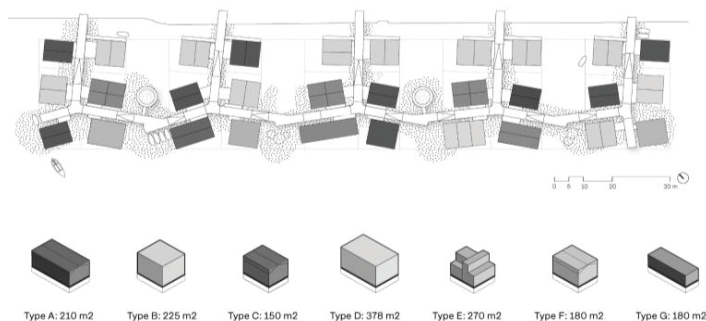


Рис. 10. Типы домов, из которых состоит район Schoonschip [8]

Каждый дом в Schoonschip не только высоко экологичен, но и выполнен в различных архитектурных стилях. Жители сами могли выбрать себе архитектора, который бы разработал проект дома их мечты. Один из домов, украсивших собой инновационный жилой район, разработан бюро i29 Architects [9] (рис. 11).



Рис. 11. Жилой дом в районе Schoonschip по проекту арх. i29 Architects [8]

В статье были рассмотрели современные направления приспособления жилых зданий к условиям затопления: при помощи свай, искусственных насыпей и плавучих оснований (понтонных). Приведены примеры из зарубежного опыта – немецкого, австрийского и голландского. Среди них как индивидуальные архитектурные проекты, когда решение разрабатывается только для одного конкретного объекта, так и комплексные градостроительные концепции – для организации безопасной и комфортной жизни целого комплекса или жилого района. Важно отметить, что конкретные адаптационные приемы каждого из направлений варьируются от контекста использования, общих задач проекта (например, концепции устойчивости). При этом направления могут использоваться по отдельности или в комбинациях.

Список литературы

1. Тарасова, А. Башни на Эльбе в районе Хафенсити // URL: <https://archi.ru/world/45866/bashni-na-elbe> (дата обращения: 15.03.2024).
2. Экономов, И. С. Принципы формирования малоэтажных жилых объектов на воде : специальность 05.23.21 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры / Экономов Илья Сергеевич ; Московский архитектурный институт. – Москва, 2010 // Национальная электронная библиотека. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_004616623/?ysclid=ma824ce5p2859704246 (дата обращения: 15.03.2024).
3. Cutieru, A. Amsterdam's Floating Neighbourhood Schoonschip Offers a New Perspective on Circularity and Resiliency // ArchDaily. – URL: <https://www.archdaily.com/964050/amsterdams-floating-neighbourhood-schoonschip-offers-a-new-perspective-on-circularity-and-resiliency> (date of access: 15.03.2024).
4. Floating Houses Ijburg NL // Marlies Rohmer Architecture&Urbanism (MR A&U) : official website. – URL: <https://rohmer.nl/en/projects/waterwoningen-ijburg/> (date of access: 15.03.2024).
5. Göres J. Wohnen auf Stelzen // Süddeutsche Zeitung. – URL: <https://www.sueddeutsche.de/kolumne/hochwasser-stelzenhaus-architektur-1.5674501> (date of access: 15.03.2024).
6. HafenCity Neuhavn // Fletcher Priest Architects : official website. – URL: <https://www.fletcherpriest.com/projects/hafencity> (date of access: 15.03.2024).
7. Hochwassersicher bauen: „Klein Venedig“ am Bodensee // Mein Eigen-Heim. – URL: <https://www.mein-eigenheim.de/bauplanung/bauen-im-ueberschwemmungsgebiet-klein-venedig-am-bodensee.html> (date of access: 15.03.2024).

8. Schoonschip Amsterdam : official website. – URL: https://schoonschipamsterdam.org/en/#site_header (date of access: 15.03.2024).
9. Schoonschip: экологичный жилой район на воде // Design Mate. – URL: <https://design-mate.ru/read/objects/schoonschip-sustainable-residential-area-on-water> (дата обращения: 15.03.2024).
10. Sharma, N. T. Waterbuurt is Amsterdam's newest and Europe's largest floating neighborhood comprising of interconnected floating homes // Luxurylaunches. – URL: https://luxurylaunches.com/real_estate/waterbuurt-is-amsterdams-newest-and-europes-largest-floating-neighborhood-comprising-of-interconnected-floating-homes.php (date of access: 15.03.2024).
11. Waterfront Flood-Proof Recreation // KCAP : official website. – URL: <https://www.kcap.eu/projects/9/hafencity> (date of access: 15.03.2024).
12. Waterhouses Hafencity // Delugan Meissl Associated Architects : official website. – URL: <https://www.dmaa.at/work/waterhouses-hafencity> (date of access: 15.03.2024).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ НА ВОДЕ И ПОД ВОДОЙ

COMPARATIVE ANALYSIS OF RESIDENTIAL PROPERTIES ON AND UNDER WATER

Л.А. Новиков, студент 3 курса

Н.В. Ефимова, старший преподаватель

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

L. A. Novikov, 3rd year student

N.V. Efimova, senior lecturer

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье проведен сравнительный анализ жилых объектов, построенных на воде и под водой на примере жилых домов с плавучим основанием, домов с не плавучим основанием, подводных видов домов. Изучены основные характеристики застройки на воде и под водой, выявлены их преимущества и недостатки, а также определены возможности и перспективы развития такого жилья в будущем.

Ключевые слова: экстремальная архитектура, подтопляемые территории, наводные жилые объекты, подводные жилые объекты, плавучие дома, не плавучие дома, подводные дома, Перу, Нидерланды, Канада, Амстердам, Мальдивы, Дубай, Азербайджан, подводные станции, дома-аквариумы.

Annotation.

The article provides a comparative analysis of residential buildings built on and under water using the example of residential buildings with a floating foundation, buildings with a non-floating foundation, and underwater types of buildings. The main characteristics of buildings on and under water have been studied, their advantages and disadvantages have been identified, and the possibilities and prospects for the development of such housing in the future have been identified.

Keywords: extreme architecture, flooded areas, flooded residential facilities, underwater residential facilities, houseboats, non-houseboats, underwater homes, Peru, the Netherlands, Canada, Amsterdam, Maldives, Dubai, Uzbekistan, houseboats, underwater stations, aquarium houses.

О первых подводных поселках писали советские фантасты Александр Беляев («Подводные земледельцы», 1930) и Григорий Адамов («Изгнание владыки», 1946). В британском фильме «Капитан Немо и подводный город» (1969) действие разворачивается в городе Темплемир, расположенном на дне океана. Гидрополисы встречаются в американском фильме «Путешествие на дно моря» и японском мультфильме Миядзаки о рыбке Поньо.

О жителях подводной научно-исследовательской станции ОРКА рассказывается в австралийском сериале «Девочка и океан»»

Пока писатели мечтали и фантазировали о подводной жизни, человечество уже давно строило целые поселения на воде. Самые древние не дожили до нашего времени, но более молодые поселения до сих пор существуют.

В последние годы все больше внимания уделяется развитию инновационных технологий в сфере строительства жилья. Одной из таких перспективных идей является возведение жилых объектов в наводных и подводных пространствах. В данном сравнительном анализе мы рассмотрим особенности, преимущества и недостатки разных видов жилья, а также их влияние на жизнь человека и окружающую среду.

Подводные и надводные жилые объекты представляют собой уникальные архитектурные решения, которые предлагают комфортные условия для жизни, работы и отдыха.

Такой вид жилья обладает рядом преимуществ:

- экологичность – минимальное вмешательство в природные ландшафты, в отличие от традиционной застройки, возможность использования возобновляемых источников энергии;

- эстетика и близость к природе. Возможность наслаждаться живописными видами и необычными природными явлениями, уникальный опыт проживания, привлекательный для туризма;

- защита от климатических изменений. Надводные конструкции могут адаптироваться к повышению уровня моря. Подводные объекты защищены от штормов и экстремальных погодных условий.

Однако, несмотря на ряд преимуществ, есть и ряд недостатков такого вида жилья:

- высокая стоимость. Подводное строительство требует сложных инженерных решений, что делает его дороже надводного;

- технические сложности. Подводные объекты зависят от бесперебойной работы систем жизнеобеспечения. Коррозия, давление воды, риск протечек;

- ограниченная доступность. Трудности с транспортом, логистикой, экстренной эвакуацией;

- психологический дискомфорт. Длительное пребывание в замкнутом подводном пространстве может вызывать стресс.

Поэтому очень важно учесть особенности каждого типа жилья, требования к строительству и эксплуатации, а также индивидуальные предпочтения и потребности потенциальных жильцов.

Разделим наводное и подводное жилье на три типа: дома с не плавучим основанием, дома с плавучим основанием, дома с подводным видом технологий.

1. Дома с не плавучим основанием. В этом типе домов рассмотрим несколько примеров деревень на воде в Западной Африке (рис. 2); Muraka Undersea Residence, бюро Yuji Yamazaki Architecture, Мальдивы, 2018 г.

Площадь 300 кв. м. (рис. 3); Нефтяные камни. самая восточная территория Азербайджана, 1949 г. (рис. 4).



а



б

Рис. 1. Вид на острова Титикака:

а – общий вид на деревню²; б – вид на жилые дома³

Острова Урос (Титикака, Перу) (рис. 1). Более 40 искусственных островов на озере Титикака создали индейцы из племени Урос еще в XVI веке. Основание этих домов – насыпные фундаменты, где сначала на дне водоема делается обвязка из валунов и далее сверху насыпается тростник, который является основным материалом для строительства, но есть существенный недостаток – нужно подкладывать новые ветки каждые два-три месяца, так как тростник быстро увядает и гниёт. Благо, что растет он прямо на реке, так что достать сырье не проблематично. На островах в настоящее время обилие путешественников, но устои Урос неизменны и традиционны: добраться до островов можно только на частных лодках, а местные жители, хоть и вполне дружелюбны, предпочитают не фотографироваться.



а



б

Рис. 2. Вид на деревню Ганви. Африка:

а – общий вид на деревню⁴; б -вид на жилые дома⁵

² Перу. // tutu.ru. URL: <https://www.tutu.ru/geo/strana/peru/> (дата обращения: 20.02.2025).

³ Там же.

⁴ Ганви – крупнейшая деревня на воде в Западной Африке // tourweek.ru. URL: <https://factinteres.ru/ganve-krupnejshij-plavuchij-gorod-v-afrike> (дата обращения: 20.02.2025).

⁵ Там же.

Ганви – крупнейшая деревня на воде в Западной Африке (рис. 2). Вот уже несколько столетий люди живут в деревне Ганви, расположенной на озере Ноко, – сегодня ее население составляет более 20 000 человек. Жители начали строить дома на воде около 500 лет назад и с тех пор в Ганви сложилась особая культура, связанная с проживанием на воде. Здания в деревне, включая жилые дома, магазины и кафе, располагаются на деревянных сваях, высота над уровнем воды от 3 до 5 метров. В Ганви есть только один участок суши – это место, где расположена сельская школа. Весь остальной грунт в деревне был доставлен на лодках жителями Ганви. В настоящее время местные жители строят еще один искусственный остров с целью организации на нем полноценного кладбища.

Традиционные дома в этом регионе строят с использованием свай из красного эбенового дерева, стойкого к внешним воздействиям. Стены обычно делают из бамбука и пальмовых листьев, а крышу покрывают соломой или в более современных вариантах заменяют ее рифлеными металлическими листами. Такие постройки обычно служат от 15 до 20 лет, поэтому они по своей сути недолговечны. Местные жители осознанно выбирают материалы, способные со временем разложиться в воде, не причиняя вреда окружающей среде.

Muraka Undersea Residence, бюро Yuji Yamazaki Architecture, Мальдивы, 2018 г. Площадь 300 кв. м (рис. 3).



Рис. 3. Muraka Undersea Residence:
а – Общий вид⁶; б – план 1 этажа⁷

Дом стоит вдали от суши, с которой его соединяет мост, поставленный на железобетонные сваи. Его длина составляет примерно 640 м. Сам объект стоит на краю кораллового рифа глубиной 50 м. Отличительной чертой этого дома, являются подводные помещения на 5 м ниже уровня воды, спальня с акриловым куполом толщиной 170 мм, что позволяет увидеть подводный мир, не погружаясь в воду. Большая площадь позволяет создать

⁶ Muraka Undersea Residence / Yuji Yamazaki Architecture // [archdaily.com](https://www.archdaily.com/980634/muraka-undersea-residence-yuji-yamazaki-architecture) URL: <https://www.archdaily.com/980634/muraka-undersea-residence-yuji-yamazaki-architecture> (дата обращения: 20.02.2025).

⁷ Там же.

просторную планировку, включающую в себя все возможные удобства. На первом этаже находится просторный гардероб, гостевой санузел, две мастер-спальни, общее пространство с кухней, столовой и гостиной, из которой есть выход на террасу. Также из гостиной идет коридор, соединяющий ее с лифтом и лестницей на нижний этаж. Подводный этаж включает в себя служебное помещение, гардероб, санузел, спальню и гостиную. Данную идею получилось воплотить благодаря свайной конструкции фундамента, стабильной и устойчивой.

Удивительный город посреди Каспийского моря на острове из затонувших кораблей – Нефтяные камни. Это самая восточная территория Азербайджана, 1949 г. (рис. 4).



Рис. 4. Нефтяные камни:

а – фрагмент города⁸; б – общий вид на город⁹

Отдаленность от ближайшей суши равняется 20 км. Строительство началось в 1949 г. и продолжалось до 1986 г. Город был полностью автономен, за исключением получения продуктов питания. В его состав входили: хлебозавод, лимонадный цех, два 5-этажных общежития, один 9-этажный жилой корпус, парк с деревьями, нефтесборные пункты, столовые, больницы, две газомазутные компрессорные станции, биологические установки питьевой воды.

Глубина моря в данном секторе равняется 25 метрам, а сами платформы расположены на 6 м выше уровня моря. Данный объект доказывает, что возможно создавать города вдали от суши.

2. Дома с не плавучим основанием. В этом типе домов рассмотрим несколько примеров: Плавающая вилла I – Harlem Sguffe, Нидерланды

⁸ Нефтяные Камни: первый в мире город на сваях в открытом море. // gobaku.ru. URL: <https://gobaku.ru/blog/neftyanye-kamni-pervyj-v-mire-gorod-na-svayah-v-otkrytom-more/> (дата обращения: 20.02.2025).

⁹ От Баку до Пиренейского полуострова. Азербайджан: энергия для Европы. // inosmi.ru. URL: <https://inosmi.ru/20131223/215913607.html> (дата обращения: 20.02.2025).

(рис. 5), Проект The Floating House на озере Гурон в Канаде (рис. 6), Плавающий район Амстердама (рис. 7).

Плавающая вилла I – Harlem Sguffle, построенная бюро Van Ommeren-Architecten, месторасположение: река Спарн, Харлем, Нидерланды, год постройки: 2017, общая площадь: 210 кв. м (рис. 5).

В данном случае используется пустотелое бетонное основание, которое заливается на производстве, после чего собирается дом и далее транспортируется по воде до места дальнейшего базирования.

Дом собран с помощью деревянного каркаса с утеплителем между стоек и балок и обшит листовым металлом. Его особенностью является наличие этажа ниже уровня воды с окнами на улицу.

Первый этаж включает в себя такие помещения, как: прихожая с гостевым санузлом, гостиная, кухня-столовая, из которой имеется выход на террасу, мастер спальня. Высота потолков в гостиной и спальне – 2400 мм, а в кухне-столовой – 3100 мм. Нижний этаж поделен на жилую и техническую зоны. В жилой зоне находятся две спальни, библиотека, отдельный санузел и прачечная. Высота от пола до потолка 2500 мм. В спальнях и библиотеке имеется форточные окна под потолком за счет поднятого пола на первом этаже.

При габаритах 18,3×6,8 м, дом имеет удобную планировку. Зона отдыха панорамные окна и отсутствие загромождающих зданий. У дома, также имеется небольшой задний двор.



Рис. 5. Плавающая вилла I – Harlem Sguffle:
а – фото виллы¹⁰; б – план первого этажа дома¹¹;
в – план минус первого этажа дома¹²

Проект The Floating House, архитектурное бюро MOS Architects на озере Гурон в Канаде в 2005 году, площадь 186 кв. м.

¹⁰ Energy Neutral Floating Villa ‘Haarlem Shuffle’ / vanOmmeren-architecten // archdaily.com: URL: https://archarticate.com/energy-positive-floating-villa-vanommeren-architect-en/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+ArArchArticula+%28Arch+Articulate%29 (дата обращения: 20.02.2025).

¹¹ Там же.

¹² Там же.



Рис. 6. The Floating House:
а – фото виллы¹³; б – макет виллы¹⁴

Данный дом имеет два этажа над уровнем воды, что необычно, так как чаще всего дома строятся либо одноэтажные, либо с подводным этажом. В основании используются понтон, состоящий из пластиковых труб, диаметром 1000 мм, обвязанных стальной рамой. Данная конструкция обладает большей мобильностью и легкостью в сравнении с бетонным основанием.

Благодаря двум этажам, появилась возможность выделить пространство под крытый пирс для лодки. Также на первом этаже находится кладовая-мастерская, душевая и сауна. На второй этаж возможно попасть с берега по мосту либо с первого этаже по лестнице. Площадь данного этажа позволяет разместить кухню при входе, один санузел, гостиную-столовую, спальню с гардеробом, кабинет либо вторую спальню с гардеробом, кладовую при кухне. Высота этажей составляет 2700 мм.

Обшивка дома сделана из кедровых досок, но особенность фасада заключается в том, что первый этаж сделан продуваемым для снижения коэффициента сопротивления воздуха.

Плавучий район Амстердама, бюро SPACE&MATTER, работа длилось с 2008-2021 и был создан 31 участок с 46 домами. Район насчитывает более 100 человек.

Все дома данного комплекса являются сочетанием двух ранее упомянутых объектов, т.е. двухэтажное здание, в некоторых случаях трехэтажное, на полом бетонном основании (понтоне). Установка домов осуществлялась с помощью буксировки катерами и переносом судном с краном.

¹³ The Floating House/ MOS Architects. // archdaily.com: URL: <https://www.archdaily.com/10842/floating-house-mos> (дата обращения: 20.02.2025).

¹⁴ Там же.

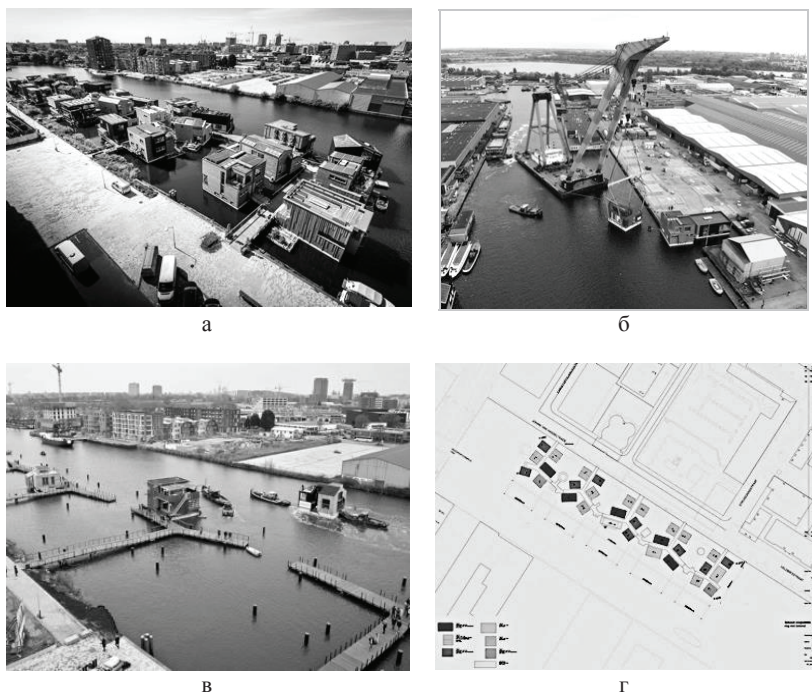


Рис. 7. Плавающий район Амстердама:

а – вид на жилые дома района¹⁵; б – фрагмент района¹⁶; в – общий вид района¹⁷;
г – генеральный план района¹⁸

Все дома соединены понтонным пирсом, который в то же время является улицей со своим благоустройством. Но уникальность этого проекта заключается в его связи с окружающей средой. Вся канализация, связывающая дома, встроена в понтоны пирса. Именно она распределяет воду между домами и системой очистки отходов. Она перерабатывает отходы в удобрения для растений и биогаз, которым топят радиаторы отопления, с помощью сложноустроенной станции в воде. Также все дома имеют солнечные батареи на крышах, что обеспечивает объекты дополнительной

¹⁵ Amsterdam's Floating Neighbourhood Schoonschip Offers a New Perspective on Circularity and Resiliency // archdaily.com: URL: <https://www.archdaily.com/964050/amsterdams-floating-neighbourhood-schoonschip-offers-a-new-perspective-on-circularity-and-resiliency> (дата обращения: 20.02.2025).

¹⁶ Там же.

¹⁷ Там же.

¹⁸ Там же.

энергией. Все эти технологии позволяют данному комплексу существовать автономно.

3. Следующая категория жилых объектов относится к подводным видам.

Первые эксперименты по созданию подводных поселений были проведены в 1960-х годах. Жак-Ив Кусто был первым, кто построил подводный город. В 1962 году у берегов Марселя он создал свою первую подводную станцию на глубине 10 метров. Он использовал разработки военно-морских сил США. Его первая станция, названная “Преко́нтинент-1”, была сделана из железной цистерны и из-за своего сходства с бочкой получила название “Диоген”. Первые обитатели прожили там неделю. Через год Кусто начал работу над следующим проектом. “Преко́нтинент-2” был установлен в Красном море вблизи Порт-Судана. Этот проект включал несколько сооружений: жилой дом в форме звезды на глубине 11 метров, двухместный жилой модуль “Ракета” на глубине 27 метров и вспомогательные сооружения – подводный гараж, склад и т.д. Усовершенствованный “Преко́нтинент-3” был погружен на глубину 100 метров. Однако, несмотря на успех, проект не получил финансирования и был прекращен.

В настоящее время нет такой заинтересованности в подводных городах, так как жизнь под водой не удовлетворяет все потребности человека. Но в мире создаются единичные объекты, которые позволяют ощутить жизнь под водой и получить новые впечатления. Почувствовать единение с подводной средой.

Один из подобных объектов мы уже рассмотрели (Muraka Undersea Residence (рис. 3). Но он не единственный в своем роде.

Жилой Комплекс The Floating Seahorse, Дубай. 2018 г. – трехэтажная вилла, являющаяся комплексом из более чем 40 объектов на архипелаге World Islands в Дубае.

Она выполнена в виде морского конька, что отражает ее название. Для создания стен и потолка используются прозрачные стеклянные панели, которые обеспечивают панорамный вид на окружающий океан. Весь подводный этаж является пустотелым основанием, но состоящим из металлического каркаса и композитных материалов. На первом этаже расположились гардероб, санузел, кухня-столовая, гостиная, также имеется выход на террасу. На втором этаже находится спальня, санузел и терраса со своей небольшой кухней. На этаже, находящимся под водой, расположились мастер-спальня и спальня, с отдельно стоящей в ней ванной, общий санузел. Одной из особенностей виллы является использование солнечных панелей для генерации собственной электроэнергии. Это позволяет снизить зависимость от традиционных источников энергии и уменьшить воздействие на окружающую среду. В целом, архитектура виллы The Floating Seahorse является ярким примером сочетания экологичности и комфорта. Она идеально подходит для тех, кто хочет жить на воде, но при этом не отказываться от удобств современной жизни.

В ходе данного исследования были рассмотрены жилые объекты, расположенные как на воде, так и под водой. Были изучены основные типы таких объектов, их история развития, а также технические особенности и преимущества каждого из них.

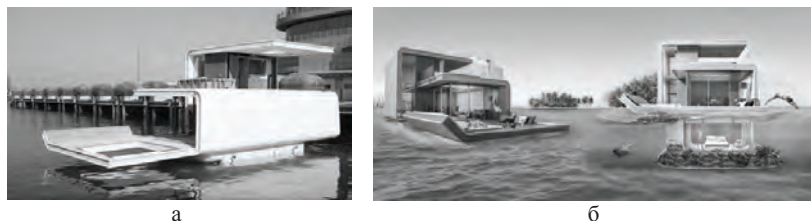


Рис. 8. The Floating Seahorse:
а – общий вид на виллу¹⁹; б – визуализация виллы²⁰

Анализ показал, что жилые объекты на воде являются наиболее доступными и распространенными. Они могут быть представлены как плавучими домами, так и искусственными островами. Такие объекты обладают хорошей мобильностью и могут быть перемещены в зависимости от потребностей владельца.

Жилые объекты под водой, такие как подводные дома, являются более инновационными и дорогостоящими. Они предлагают уникальный опыт жизни в окружении морской флоры и фауны, а также обеспечивают высокий уровень приватности. Однако, их строительство и эксплуатация требуют значительных инвестиций и сложных технологических решений.

Таким образом, выбор между жилыми объектами на воде или под водой зависит от индивидуальных предпочтений и возможностей. Если необходим доступный и мобильный вариант жилья, то стоит обратить внимание на плавучие дома. Если же хочется уникального и инновационного опыта, то подводные дома могут стать отличным выбором.

Надводное жильё на данный момент более практично и экономически целесообразно для массового внедрения, тогда как подводные объекты остаются нишевыми и экспериментальными. Однако, оба направления открывают новые возможности для устойчивого развития и расширения жизненного пространства человека.

Влияние на человека и окружающую среду:

- надводное жильё более комфортно для постоянного проживания;
- подводные комплексы пока больше подходят для научных станций или отелей;
- риск загрязнения воды при неграмотной утилизации отходов;

¹⁹ «Плавающая вилла» класса люкс затонула в море в Дубае // iz.ru. URL: <https://iz.ru/692002/2018-01-05/playaiushchaia-villa-klassa-liuks-zatonula-v-more-v-dubae> (дата обращения: 20.02.2025).

²⁰ Τα συστήματα της ALUMIL στις πλωτές βίλες Floating Seahorse Villas στο Dubai!

- воздействие на морские экосистемы (шум, искусственное освещение).
- Перспективы развития:
- надводные могут стать решением для перенаселенных прибрежных регионов;
- подводные исследовательские базы будут полезны для науки и глубоководного туризма.

Развитие новых материалов и автономных систем сделает такие проекты более доступными.

Список литературы

1. Воробьева И. Дома под водой: как устроены гидрополисы прошлого, настоящего и будущего // rbc.ru: [Электронный ресурс]. URL: <https://realty.rbc.ru/news/5d22509c9a79472c5ac0d46c> (дата обращения: 20.02.2024).
2. Места где нужно побывать: Ганвие - африканская Венеция // livejournal.com: [Электронный ресурс]. URL: <https://denolius.livejournal.com/374144.html> (дата обращения: 20.02.2024).
3. Energy Neutral Floating Villa 'Haarlem Shuffle' / vanOmmeren-architecten // archdaily.com: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/888890/energy-neutral-floating-villa-haarlem-shuffle-vanommeren-architecten> (дата обращения 20.02.2024).
4. Пепу. // tutu.ru: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tutu.ru/geo/strana/peru/> (дата обращения: 20.02.2024).
5. Ганви – крупнейшая деревня на воде в Западной Африке // tourweek.ru: [Электронный ресурс]. URL: <https://factinteres.ru/ganve-krupnejshij-plavuchij-gorod-v-afrike> (дата обращения: 20.02.2024).
6. Energy Neutral Floating Villa 'Haarlem Shuffle' / vanOmmeren-architecten // archdaily.com: [Электронный ресурс]. URL: https://archarticulate.com/energy-positive-floating-villa-vanommeren-architecten/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+ArArchArticula+%28Arch+Articulate%29 (дата обращения: 20.02.2024).
7. The Floating House/ MOS Architects. // archdaily.com: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/10842/floating-house-mos> (дата обращения: 20.02.2024).
8. Amsterdam's Floating Neighbourhood Schoonschip Offers a New Perspective on Circularity and Resiliency // archdaily.com: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/964050/amsterdams-floating-neighbourhood-schoonschip-offers-a-new-perspective-on-circularity-and-resiliency> (дата обращения: 20.02.2024).
9. Muraka Undersea Residence / Yuji Yamazaki Architecture // archdaily.com: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/980634/muraka-undersea-residence-yuji-yamazaki-architecture> (дата обращения: 20.02.2024).

10. Нефтяные Камни: первый в мире город на сваях в открытом море. // gobaku.ru: [Электронный ресурс]. URL: <https://gobaku.ru/blog/neftyanye-kamni-pervyj-v-mire-gorod-na-svayah-v-otkrytom-more/> (дата обращения: 20.02.2024).
11. От Баку до Пиренейского полуострова. Азербайджан: энергия для Европы. // inosmi.ru: [Электронный ресурс]. URL: <https://inosmi.ru/20131223/215913607.html> (дата обращения: 20.02.2024).
12. «Плавающая вилла» класса люкс затонула в море в Дубае // iz.ru: [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/692002/2018-01-05/plavaiushchaia-villa-klassa-liuks-zatonula-v-more-v-dubae> (дата обращения: 20.02.2024).
13. Τα συστήματα της ALUMIL στις πλωτές βίλες Floating Seahorse Villas στο Dubai! // alunet.gr: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alunet.gr/2016/02/2015v> (дата обращения: 20.02.2024).
14. Schoonschip A sustainable floating community // spaceandmatter.nl: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.spaceandmatter.nl/project/schoonschip> (дата обращения: 20.02.2024).
15. "Камушки" в море // livejournal.com: [Электронный ресурс]. URL: <https://masterok.livejournal.com/1371299.html> (дата обращения: 20.02.2024).
16. Строительство плавучих городов // cyberleninka.ru: [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ctroitelstvo-plavuchih-gorodov> (дата обращения: 20.02.2024).

ВЕНЕЦИЯ – ГОРОД НА ВОДЕ

VENICE – A CITY ON THE WATER

А.А. Яковлева, студентка 2 курса

В.М. Ключарева, студентка 2 курса

И.В. Соковнина, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.A. Iakovleva, 2nd year student

V.M. Klyuchareva, 2nd year student

I.V. Sokovnina, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье рассматриваются исторические предпосылки для основания города Венеция, технологии строительства зданий в экстремальных условиях Венецианской лагуны, примеры исторической и современной архитектуры города.

Ключевые слова: Венеция, Венецианская лагуна, строительство в экстремальных условиях, реконструкция, реставрация.

Abstract. The article examines the historical background for the founding of the city of Venice, the technology of building construction in the extreme conditions of the Venetian Lagoon, examples of historical and modern architecture of the city.

Key words: Venice, the Venetian lagoon, construction in extreme conditions, reconstruction, restoration.

На протяжении всей истории человечества люди были вынуждены осваивать неблагоприятные для жизни территории. Одним из ярких примеров такого освоения является заселение Венецианской лагуны.

В III веке до н. э. (еще до раздела Римской империи) римляне захватили венетов – народ, проживавший на севере Апеннинского полуострова, и основали колонию Аквилею, жители которой в последствии и заложили Венецию. В 395 году н. э. Римская империя разделилась на Западную и Восточную. Венеция была основана на территории Западной Римской империи. Основанием Венеции считается 421 год. В период великого переселения народов вестготы и прочие варварские племена поселились на территории Римской империи. Вестготы напали на север Апеннинского п-ова, в том числе и на Аквилею. По причине хорошо развитой дорожной инфраструктуры материковая часть Римской империи подвергалась грабегам и захвату, люди были вынуждены бежать на труднодоступные территории, такие как Венецианская лагуна.

Лагуна, освоенная переселенцами, находилась в заливе Адриатического моря, представляла собой болотистую местность с большим количеством островов, на которых впоследствии и были построены архитектурные сооружения. Спустя века Венеция из территории, не приспособленной для заселения, превратилась в один из самых значимых культурных центров мира [3, 7].

Технология возведения фундаментов

Болотистая местность Венецианской лагуны вынуждала людей разрабатывать новые технологии строительства. Используемые ранее способы возведения фундаментов не подходили для новой геологической ситуации. Была разработана система возведения свайных фундаментов, ставшая единственным целесообразным решением проблемы (рис. 1).

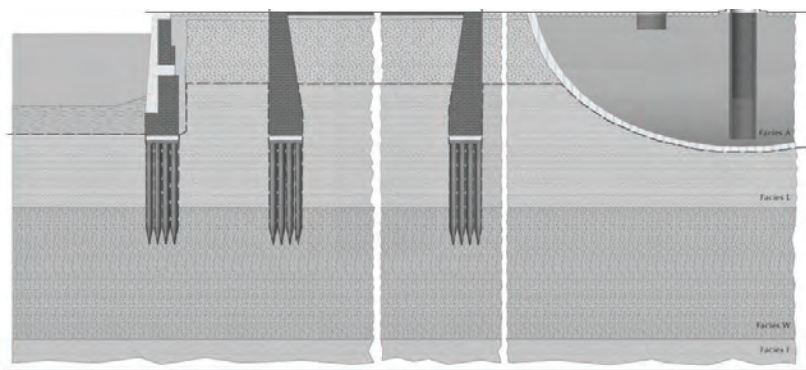


Рис. 1. Схема установки свай²¹

Строительство здания начиналось с укрепления берегов. Берега укрепляли деревянными бревнами, позже камнем, в настоящее время их начали бетонировать. Затем следовала установка свай. Они представляли собой заостренные на конце бревно толщиной 20 см и длиной 3 м. Их обрабатывали специальными смолами и вбивали до каранто – уровня, где начиналась твердая земля. Для небольшого жилого дома делали 6-7 рядов свай, для более высоких зданий – «свайное поле». Многие часто задаются вопросом почему венецианские сваи не гниют. Помимо обработки смолами есть еще один фактор, который на это влияет. Это ил Венецианской лагуны, который обволакивает сваи и не позволяет им подвергаться процессам гниения. Важность обработки свай смолами можно увидеть на примере «бри-

²¹ <https://chenarch.com/Lecture-06-H2.html>

кал» – указателей судоходных маршрутов. Они гниют, и их меняют каждые 5 лет, а обработанные венецианские сваи, закупоренные илом лагуны, стоят до сих пор.

После установки свай следовала подготовка площадки. Забитые сваи срезали, преобразовывая тем самым свайное поле в ровную площадку. На подготовленную площадку стелили настил, который представлял собой два слоя деревянных балок, сверху которых уже можно было класть камни. Грамотная разработка венецианских фундаментов позволяет использовать их повторно и остается актуальной для города и по сей день.

Выбор строительных материалов был особенно важен для создания прочных и долговечных фундаментов. Основным сырьем были дерево и камень, которые привозились с материковой части империи. Основной проблемой в выборе древесины была ее недолговечность в условиях повышенной влажности грунта, именно поэтому предпочтение отдавали лиственнице и дубу, так как данные виды древесины под воздействием влаги становятся прочнее. Сваи делали из древесины, а не из камня в связи с тем, что это было экономически выгодно. Привозили древесину с восточного побережья Адриатического моря, эти земли так же входили в состав Западной Римской империи (в настоящее время это территории Словении и Хорватии). Также существует гипотеза о поставке древесины для венецианских свай из Сибири.

Второй важный материал для изготовления фундаментов – камень. В большинстве случаев выбирали известняк, привезенный с Истрийского полуострова, также входившего в состав Западной Римской империи (сейчас это территория Хорватии). Данный камень обладает высокой прочностью, водостойкостью и водонепроницаемостью, поэтому именно он был выбран венецианцами в качестве основного строительного материала. Из истрийского камня построено около 90 % зданий Венеции.

Грамотная разработка венецианских фундаментов остается актуальной и по сей день, известны случаи повторного использования ранее возведенных исторических фундаментов при строительстве новых сооружений или реконструкции старых.

В пример приведем кампанилу Сан-Марко, неоднократно подвергавшуюся разрушениям (рис. 2). Впервые она была построена в IX веке в качестве сторожевой башни. Также кампанила выполняла функцию маяка для кораблей, входивших в лагуну. Современный облик кампанилы приобрела в 1514 году и послужила образцом для других венецианских колоколен. В 1902 году кампанила Сан Марко обрушилась. Причинами стали землетрясения, удары молнии и общий износ колокольни. Во время падения кампанила разрушила угол дворца дожей и лоджетту. При разрушении башни не пострадал ни один человек, пропала только кошка смотрителя. В 1912 году колокольню восстановили на прежнем фундаменте, возведенном еще при первом строительстве. Колокольня стоит на нем и по сей день.

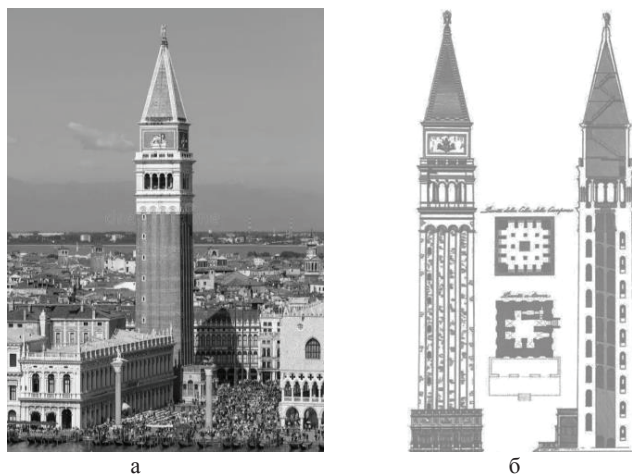


Рис. 2. Кампанила Сан-Марко:

а – современное состояние; б – чертежи: фасад, план, разрез²²

Конструктивно-планировочные решения венецианской архитектуры

Важно понимать, что в условиях строительства на воде, все конструктивные разработки были направлены на облегчение постройки. Главным принципом Венецианской архитектуры было строительство нижнего этажа из камня и последующих из дерева. Это и определяло стилистические и планировочные решения венецианских палаццо. Легкость венецианских резных фасадов обуславливается тем, что фасадная стена, выходящая на канал, не является несущей, в отличие от задней и боковых. В неблагоприятных для строительства условиях венецианцы были вынуждены строить не в высоту, а в ширину. Палаццо зачастую были в форме прямоугольника, ориентированного меньшей стороной на канал. Со стороны воды располагался вход в палаццо – портик. Далее следовало главное помещение палаццо – портего, главный зал, проходящий по длине всего здания, по обе стороны от него находились складские помещения. В некоторых случаях первый этаж делили по высоте пополам и образовывался дополнительный складской этаж – меза́, если же его не делали, то помещения первого этажа оставались двусветными. Весь первый этаж делался из камня. Выше следовал жилой этаж – бельэтаж, его для облегчения конструкции делали из дерева, еще выше располагался чердак. По форме портего палаццо делятся на два типа – классические и «Т» образные. Важным элементом палаццо также является двор, который всегда связан с главным залом. По расположению двора палаццо делятся на три типа «С», «L», «U» (рис. 3).

²²<https://kannelura.ru/?p=15658>

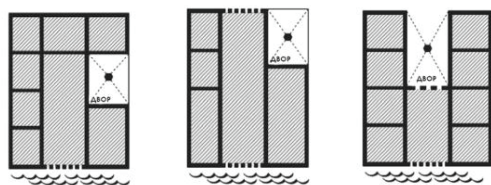


Рис. 3. Три типа расположения двора в палаццо²³

Рассмотрим планировочное решение венецианского дворца на примере Палаццо Корнёр Мочениго (рис. 4). Данный палаццо относится к классической схеме расположения портего и «U» образной по расположению двора. Стены первого этажа выполнены из камня, а поперечные балки скорзони, являющиеся водоразделом между каменной и деревянной конструкцией, сделаны из дерева, как и последующие этажи, с целью облегчить здание. Возникает вопрос, почему венецианские палаццо не делались полностью из дерева. Это было связано с тем, что первые этажи были расположены близко к воде, что негативно сказывалось бы на долговечности деревянной конструкции, т.к. обработка такого количества древесины была более затратна, чем возведение первого этажа из камня. Таким образом, первый нежилой этаж делался из водостойкого истрийского известняка, а второй жилой этаж из дерева. Это позволяло облегчить конструкцию и повысить прочность постройки.



Рис. 4. Планировочное решение Палаццо Корнёр Мочениго²⁴

Далее принцип облегчения конструкции путем сочетания камня и дерева мы рассмотрим на примере Санта Мария делла Салюте. Церковь датируется 1681 годом, была построена Бальдассаре Лонгеном в память избав-

²³ <https://www.visitvenezia.eu/venezianita/percorri-venezia/il-palazzo-veneziano-un-architettura-doppia-quella-costruita-e-quella-riflessa>

²⁴ https://www.academia.edu/43406256/PALAZZO_CORNER_MOCENIGO_A_VENEZIA_sede_della_Guardia_di_Finanza

ления Венеции от эпидемии чумы. После смерти архитектора оформление интерьера и выполнение наружного декора продолжилось под руководством его ученика Антонио Гаспари. Строительство храма велось на протяжении полувека. Эпидемия унесла около трети населения Венеции, в связи с этим в память о невосполнимой утрате в церкви Санта Мария дела Салюте ежегодно служат мессу. Архитектуру Сан-Салюте относят к барочной, но это суждение спорное, т.к. барокко в его классическом варианте в Венеции не получил достаточного развития. Храм построен в виде октагона с восьмигранным барабаном, завершающимся венецианским куполом с 15 ребрами. Алтарная часть, пристроенная к основному массиву храма, венчается вторым куполом, меньшим по размеру. Барабан держится на контрфорсах, выполненных в виде волют. Стены Салюте сделаны из истрийского камня и имеют толщину всего около 80 см, что немного для купольной постройки. Архитектор стремился минимизировать давление конструкции на свайный фундамент, но при этом сохранить несущую способность стен. По сохранившимся данным для строительства храма было установлено около 100 000 свай.

Купол Санта Мария делла Салюте имеет двойную каркасную оболочку, выполненную из дерева, что позволяет облегчить конструкцию. Каркас состоит из множества ребер, вырезанных по направлению к внешней кривой, расположенных равноудаленно от центра. Эти ребра, отходя от основания и двигаются прямо под балюстраду фонаря, соединенные крепкими клиньями или зубцами. В отличие от каркаса Сан-Салюте, выполненного из дерева, каркас купола Санта Мария дель Фьоре, являющегося доминантой флорентийской площади, выполнен из камня (рис. 5). На данном примере можно проследить, как венецианские архитекторы уменьшали давление на свайный фундамент, следуя принципу построения палатцо [8, 9].

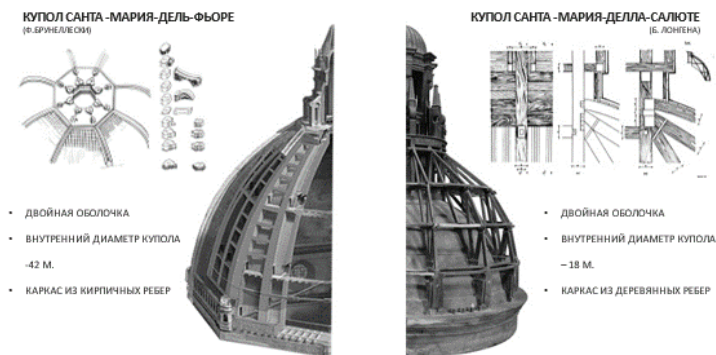


Рис. 5. Сравнение куполов Санта Мария дела Салюте и Санта Мария дель Фьоре²⁵

²⁵[https://www.academia.edu/26467322/La_cupola_di_S_Maria_della_Salute_e_i_suoi_restauri_pdf]

Современное развитие архитектуры Венеции

Общий архитектурный облик города сформировался еще в XVI веке, на данный момент исторический центр города остается законсервированным, дабы сохранить уникальные здания, возведенные в неблагоприятных для строительства условиях. Для поддержания их исторического облика регулярно проводятся реставрационные работы и реконструкции. В то время как на окраине Венеции возводятся новые постройки, удовлетворяющие потребностям современного города. Также проводятся мероприятия для развития благоустройства города, чтобы адаптировать исторически сложившуюся уличную сеть, сформированную каналами, под нужды современного туристического города [1, 2].

Рассмотрим современное развитие Венеции на нескольких актуальных примерах.

Реставрация здания Старых Прокураций. В 2022 году архитекторы бюро David Chipperfield Architects провели реставрацию здания Старых Прокураций на площади Сан-Марко. Здание было спроектировано в XVI веке итальянским архитектором Якопо Сансовино, чтобы заменить более раннюю постройку XII века, сгоревшую при пожаре. Реставрационные работы продолжались на протяжении 4 лет. Архитекторы постарались максимально сохранить оригинальные детали архитектуры и интерьера, но при этом не оставили без внимания и потребности нашего времени, чтобы штаб-квартира страховой компании получилась комфортной и современной. Для решения задачи быстрого доступа ко всем помещениям были спроектированы новые скульптурные белые лестницы, а также сделаны серии арочных проемов, которые объединили прежде изолированные зоны. На этом примере видно, что власти Венеции уделяют пристальное внимание проблеме сохранения архитектурного наследия города, привлекая именитые архитектурные бюро для проведения работ по реконструкции исторических зданий [6].

Реконструкция Фондако деи Тедески. В 2016 году бюро OMA под руководством Рема Колхаса отреставрировало Fondaco dei Tedeschi, один из самых известных венецианских палаццо, расположенных на Большом Канале, у моста Риальто. Памятник архитектуры ведет свою историю с XIII века. Здание многократно перестраивалось, при Наполеоне в нем располагалась таможня, при Муссолини – центральная почтовая служба. Несколько раз дворец был практически уничтожен пожаром. Результатом реконструкции стала адаптация Фондако деи Тедески в универсальный и общественное пространство [4, 5].

Улучшение благоустройства и транспортной инфраструктуры на примере Понте делла Коституционе. Самой знаменитой работой по улучшению благоустройства и транспортной инфраструктуры стал проект моста Конституции, выполненный в 2008 году испанским архитектором Сантьяго Калатравой. Это четвертый мост Венеции, позволяющий пересечь Гранд-канал. Мост Конституции соединяет вокзал Санта-Лючия с Пьяццале Рома [1].

Строительство новых зданий на примере жилого района «Ex Junghans» на о. Джудекка. Чтобы отвечать требованиям современного города и предоставить возможность поселиться в Венеции, был построен жилой район «Ex Junghans», расположенный на острове Джудекка, рядом с фабрикой Junghans. Сначала фабрика производила часы, потом бомбы и взрыватели, а после ее закрытия район оставался заброшенным. В 1995 году провели конкурс проектов по превращению бывших заводских зданий в жилой район. Победителем стал итальянский архитектор Чино Дзукки, который проектировал здания в сотрудничестве с другими архитекторами. Это обеспечило разнообразие нового жилого комплекса. Часть зданий отремонтировали, к некоторым добавили новые объемы. Например, бывший бункер для хранения бомб и взрывчатых веществ архитекторы Паренти и Баруко превратили в театр, а также спланировали апартаменты на верхних уровнях. Среди новых зданий – строение «D», спроектированное самим Дзукки. Он расположил окна на фасаде будто в случайном порядке, используя элементы традиционной венецианской архитектуры: белые оконные рамы и балкон на углу. Дымовая труба напоминает о промышленном прошлом нового района.

Таким образом, мы рассмотрели, как люди, вынужденные переселиться в условия неблагоприятные для строительства, смогли не только освоить заболоченные территории, но и создать на них потрясающий архитектурный ансамбль. Венеция и по сей день остается жемужиной мировой культуры, центром притяжения людей всего мира, примером высочайшего уровня архитектурного искусства.

Список литературы

1. «Архитектура Венеции. Проекты 21 века», Александр Острогорский (преподаватель архитектурной школы МАРИШ), [https://levelvan.ru/pcontent/venice-3/21-vek?utm_source=advcake&utm_medium=cpa&utm_campaign=cityads&utm_content=2Keh&advcake_params=9J2Z22KO3gZFs7P&utm_term=9J2Z22KO3gZFs7P], (дата обращения: 11.02.2024).
2. «Area ex junghans – Giudecca Island» Cino Zucchi, [https://www.venicebyvenetians.com/area-ex-junghans/] (дата обращения: 27.02.2024).
3. «Светлейшая Республика Венеция» аудиолекция [https://drive.google.com/file/d/1DiytEkEiJs3M7zpTUhPFHMz4-GkPqX3S/view] (дата обращения: 13.02.2024).
4. Официальный сайт архитектурного бюро ОМА, [https://www.oma.com/] (дата обращения: 27.02.2024).
5. «Il Fondaco dei Tedeschi» проект реконструкции Фондако-деи-Тедески, ОМА, [https://www.oma.com/projects/il-fondaco-dei-tedeschi] (дата обращения: 15.02.2024).

6. Официальный сайт архитектурного бюро David Chipperfield Architects [<https://davidchipperfield.com/>] (дата обращения: 15.02.2024).
7. «История Венецианской республики» Джон Джулиус Норвич (дата обращения: 10.02.2024).
8. «Санта Марија дела Салуте» статья философского факультета Университет у Београду, Politecnico di Milano, Prof.ssa Marica Forni, [La_Cupola_di_Santa_Maria_della_Salute.pdf], (дата обращения: 06.02.2024).
9. «La_Cupola_di_Santa_Maria_della_Salute» [file:///C:/Users/v_kly/Desktop/Учеба/Учебные%20материалы/конференция%202024/доп%20материалы/La_Cupola_di_Santa_Maria_della_Salute.pdf] (дата обращения: 17.02.2024).

**ПРИНЦИПЫ КИНЕТИКИ В АРХИТЕКТУРЕ.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПРИРОДНЫМИ ФАКТОРАМИ**

**PRINCIPLES OF KINETICS IN ARCHITECTURE.
INTERACTION WITH NATURAL FACTORS**

М.А. Сурнина, студентка магистратуры 2 года обучения

Н.Ф. Метленков, доктор архитектуры, профессор

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

M.A. Surnina, 2nd year master's student

N.F. Metlenkov, PhD, professor

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Аннотация. Кинетические возможности архитектуры способны адаптироваться к некоторым природным условиям, тем самым влияя на архитектурное формообразование и улучшая условия жизнедеятельности человека.

Ключевые слова: кинетическая архитектура, природные факторы, формообразование.

Abstract. Kinetic capabilities of architecture are able to adapt to some natural conditions, thereby affecting architectural formation and improving human living conditions.

Keywords: kinetic architecture, natural factors, shaping.

С древних времен архитектура имеет большое значение для человека. Будь то пещера, шалаш или каменный дом, первоначальной функцией зданий и сооружений являлась защита от природных факторов, которые определяют экстремальность среды [1].

Факторы по своей природе имеют постоянный, переменный или иной характер (рис. 1). К постоянным относятся аспекты неизменяемые с течением времени. К переменным – явления, имеющие сезонный, временный или редкий характер. К иным можно отнести аспекты, которые в той или иной среде являются постоянным фактором, а в другой – переменным. Например, вечная мерзлота, вода, песок и т.д.

Природные факторы в той или иной степени влияют на формообразование в архитектуре. Например, наличие частых осадков и сильного ветра способствуют к использованию таких формообразующих приемов как создание уклона или обтекаемой формы, а такие факторы как давление или наличие, или отсутствие кислорода, вовсе не имеют влияния на форму [2].

С появлением технологий и индустриализации в 20 веке, архитектура стала приобретать новые формы и возможности. Архитекторы, художники и скульптуры приносили идеи футуризма и стали экспериментировать.

Таким образом, в начале прошлого века появилось направление адаптивной архитектуры. Одним из таких направлений стала кинетическая архитектура.

Кинетическая архитектура – направление архитектуры, в котором части здания рассматриваются и создаются, как способные изменяться относительно друг друга, не нарушая общей целостности пространственных структур. Иначе кинетическую архитектуру называют «динамической» и рассматривают как космическую архитектуру или как архитектуру будущего. Основной особенностью данного направления является способность к трансформации объема и поверхностей посредством механизмов, вживленных в структуру объекта [3].



Рис. 1. Схема «Факторы, определяющие экстремальность природных условий»

Кинетическую архитектуру отличают три особенности:

- постоянно изменяющаяся форма здания, которая способна приспосабливаться к различным факторам;
- динамический метод строительства. Как правило, такие здания сделаны из сборных элементов, которые производятся на заводах и поступают на строительную площадку уже законченными. Причем, все основные элементы, создающие движение, из современных металлических материалов: стали, алюминия, карбона и прочих. Такие здания прочные и гибкие;
- сочетание современных технологий с охраной окружающей среды, что позволяет кинетическим зданиям производить энергию для автономного питания [4].

Кинетическая архитектура имеет несколько принципов трансформации, влияющих на формообразование: перемещение, складывание, открытие-закрытие, вращение и скольжение. Анализируя существующие кинети-

ческие объекты, можно определить, что каждая система работает на несколько факторов, влияющих на формообразование, функционал и энергоэффективность (рис. 2) [5].

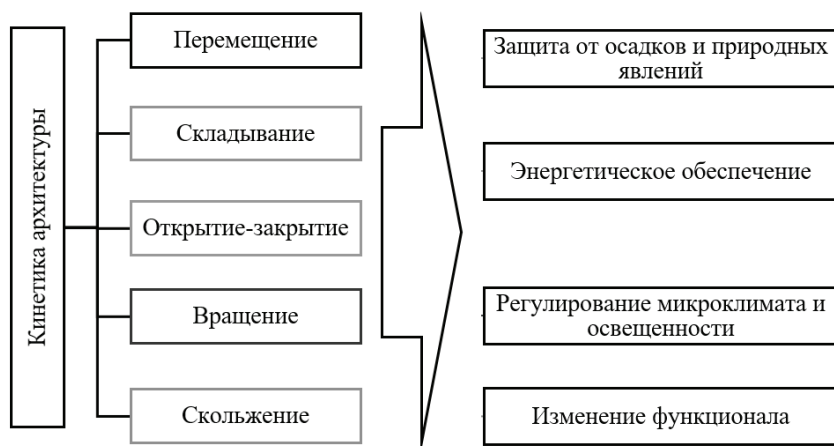


Рис. 2. Схема «Принципы трансформации кинетической архитектуры и их область влияния»

Кинетическая архитектура имеет два основных направления: кинетика поверхности и кинетика объема. Кинетика поверхности подразумевает движение элементов здания, имеющих поверхностную или плоскостную природу, которыми являются крыша, фасад, перекрытие и перегородки. Кинетика объема – части здания и его общую структуру. Если комплексно анализировать кинетические принципы и их взаимодействие с природными факторами, можно увидеть их неразрывную взаимосвязь. Например, кинетические принципы поверхности способны защитить от осадков и порывов ветра, а также регулировать инсоляцию (рис. 3).

Одним из первых кинетических зданий, способным приспособиваться к природным факторам стала вилла «Подсолнух» (рис. 5), реализованная итальянским инженером Анджело Инверничи в 1935 году, благодаря сложному механизму, имела функцию вращения всего объема по траектории. Идея заключалась в обеспечении круглосуточной естественной инсоляции жилого дома (рис. 4 а).

Динамические фасады парных башен-небоскрёбов Al Bahar, расположенных в Абу-Даби, чьи элементы в виде подвижных зонтиков, которые раскрываются и закрываются при помощи дистанционного управления, обеспечивают технологичное регулирование микроклимата в здании в условиях жаркой экстремальной среды (рис. 4 б).

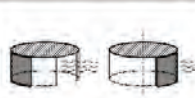
Принцип		Осадки	Ветер	Солнечная радиация
Вращение	Крыша			
	Фасад			
Складывание	Крыша			
	Фасад			
Открытие-закрытие	Крыша			
	Фасад			
Перемещение	Крыша			
	Фасад			
Скольжение	Крыша			
	Фасад			

Рис. 3. Взаимодействие кинетических принципов с природными факторами (таблица автора)



а



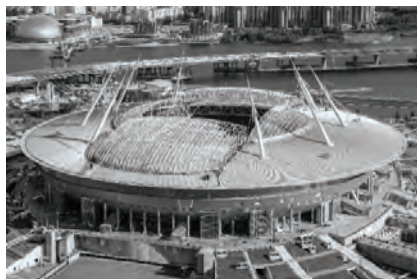
б

Рис. 4.:

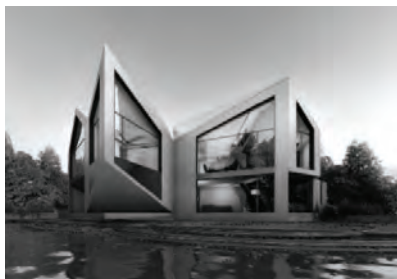
а – Вилла «Подсолнух» (Верона, Италия);
б – Небоскребы Al Bahar (Абу-Даби, ОАЭ)

Газпром Арена в Санкт-Петербурге имеет подвижную крышу, которая обеспечивает естественное кондиционирование арены и создание атмосферы проведения мероприятий на открытом воздухе. Также арена имеет выдвижное поле, что способствует сохранению натурального футбольного покрытия и возможности создания многофункционального пространства (ледовая арена, концертная площадка, атлетический стадион и т.д.) (рис. 5 а).

"Dynamic D-House" в Сингапуре, построенный в 2015 году, способен изменять свой объем посредством передвижения объемных модулей, из которых состоит коттедж. Он меняет форму, предлагая 8 различных вариантов домов с разным дизайном. Дизайн дома основан на том, чтобы сделать возможным преобразование равностороннего треугольника в квадрат. Дом открывается, реагируя на погодные условия, имитируя природу и напоминая цветок, который раскрывается в течение дня (рис. 5 б) [6].



1



2

Рис. 5.:

а – Газпром Арена (Санкт-Петербург, Россия); б – Dynamic D-House (Сингапур)

Таким образом, рассмотрение принципов кинетики архитектуры, способность к динамическому формообразованию, раскрывает возможность адаптироваться под природные факторы, тем самым обуславливая их использование для улучшения условий жизнедеятельности человека не только в городской среде, но и в экстремальных природных средах.

Список литературы

1. Тиманцева Н.Л. Принципы моделирования жилой среды в экстремальных условиях обитания: автореф. дис. канд. арх. наук: 05.23.21. – Москва, 2010. – 33 с..
2. Халлаф А. Влияние климата на формообразование в архитектуре // Инновационная наука. - 2019. - №3. - С. 170-172.
3. Сапрыкина Н. А. Динамическая адаптация архитектурных объектов: дис. д-р. арх. наук: 18.00.02. - М., 1999. – 80 с.
4. Кинетическая архитектура как следствие быстро меняющегося мира // Deziign URL: <https://deziign.com/proje>.
5. Хиценко Е.В., Рыбалкина В.И. Особенности формообразования в кинетической архитектуре // Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова. - 2020. - № 1 (12). - С. 119-130.
6. Кинетическая архитектура - рубрика про подвижные дома // Architime URL: <https://www.architime.ru/kinarch.htm?ysclid=ltw9myirej1259688> (дата обращения: 14.03.2024).
7. Метленков Н.Ф. Парадигмальная динамика архитектурного метода – М.: Архитектура и строительство России, 2018. – 428 с.

СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ

УДК 624.1

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗДАНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ

DESIGN FEATURES OF BUILDINGS CONSTRUCTED IN SEISMIC AREAS

А.С. Ермолинский, студент 4 курса

Д.А. Гришунов, студент 4 курса

Н.В. Шешенёв, старший преподаватель

Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», Рязань, Россия

A.S. Ermolinskiy, 4th year student

D.A. Grishunov, 4th year student

N.V. Sheshenev, Senior Lecturer

Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Polytechnic University», Ryazan, Russia

Аннотация. В статье проводится обзор современных технологий возведения зданий в сейсмоопасных районах, а также их ключевые особенности. Авторами составлена блок-схема, которая может быть использована при создании программы для выбора технологии строительства на основе заданных условий.

Ключевые слова: Сейсмоопасные районы, сейсмостойкие здания, фундамент, высотное строительство, малоэтажное строительство.

Annotation. The article provides an overview of modern technologies for constructing buildings in seismic areas, as well as their key features. The authors created a block diagram that can be used to develop a program for selecting construction technology based on specified conditions.

Keywords: Seismic areas, earthquake-resistant buildings, foundation, high-rise construction, low-rise construction.

Сейсмоопасными районами для строительства считаются те территории, где возможны землетрясения с определенной интенсивностью. Оценка сейсмической опасности основывается на анализе данных о геологических и сейсмических условиях, а также на исторических данных о землетрясениях в данном регионе.

Обычно к сейсмоопасным районам относят горные районы, регионы с активной тектонической деятельностью, а также приморские зоны [6]. В зависимости от степени сейсмической активности, строительные нормы и правила могут предписывать различные требования к конструкции зданий и сооружений, чтобы обеспечить их устойчивость к землетрясениям.

Существуют специальные технологии строительства зданий и сооружений в сейсмоопасных районах. Они включают в себя использование специальных материалов и конструкций, которые могут выдерживать сильные землетрясения.

Одна из технологий строительства в сейсмоопасных районах – принцип антирезонанса или установка инерционных демпферов в конструкции здания. Инерционный демпфер – больших размеров бетонный или стальной шар, установленный в верхней части сооружения на высокопрочных пружинных или поршневых подвесах (рис. 1). При отклонении здания в сторону на какую-либо величину демпфер сразу же движется с той же частотой в обратном направлении. То есть задача беспрепятственно балансирующего шара состоит в сохранении центра массы сооружения при изменениях угла его наклона [1].



Рис. 1. Инерционный демпфер в конструкции здания

Полного устранения вибрации таким методом не происходит, но амплитуда колебаний находится в нормативных пределах.

Другим вариантом строительства зданий в сейсмоактивных районах является устройство воздушной подушки между зданием и его фундаментом. Конструкция здания устанавливается на раму, внутри которой находится специальная аэроподушка с сейсмическими датчиками, считывающими колебания поверхности земли, и мощным нагнетательным компрессором (рис. 2). При малейшем движении земной коры включается система безопасности, и подушка наполняется воздухом, поднимая конструкцию сооружения над землей. Высоты аэроподушки в 4 см достаточно, чтобы строение сохранилось в целостности [2]. Здание в воздушном состоянии будет находиться до тех пор, пока сейсмическая активность не пропадет и датчики не подадут сигнал выпускным клапанам, которые и опустят здание в исходное положение.

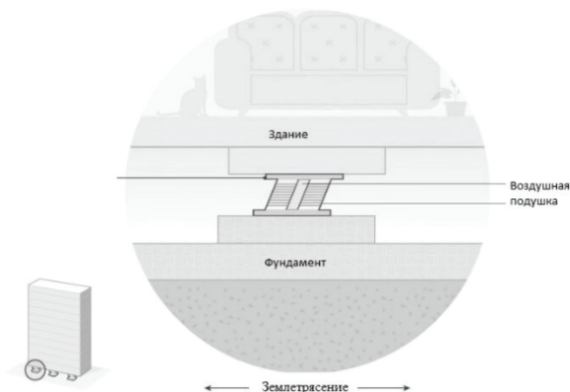


Рис. 2. Устройство воздушной подушки

Строительство по данной технологии выгоднее, чем при усилении здания сейсмостойкими материалами, так как затраты пойдут только на устройство сейсмостойкого фундамента.

Для строительства сейсмостойких зданий также используются фундаменты на подшипниках. Сооружения возводят над гибкими стальными, резиновыми или свинцовыми прокладками. В момент землетрясения основание здания приходит в движение, но сама конструкция остается устойчивой. Тяжелое ядро из свинца окружено чередующимися резиновыми и стальными слоями. Стальные пластины крепятся подшипниками одновременно к фундаменту и конструкции здания. Таким образом, при землетрясении движется только фундамент, а само здание остается неподвижным [3]. Снижение сейсмической нагрузки на здание зависит от количества устанавливаемых подшипников на фундамент сооружения.

Еще одна технология строительства зданий в районах с повышенной сейсмической активностью – система рельсовых фундаментов. Принцип работы заключается в движении сооружения в стороны по рельсовой платформе без разрушения. Сейсмостойкие рельсы закрепляются между собой металлическим блоком с резиновыми прокладками и подшипниками. При помощи системы подшипников верхние и нижние панели двигаются в горизонтальной плоскости, и здание плавно перемещается вместе с ними.

Актуальной в настоящее время является противосейсмическая система с тонкими тросами из углеродного волокна. Технология заключается в соединении крыши сооружения с землей винтовыми крепежами (рис. 3). Таким образом, здание при сейсмической активности движется как единое целое и избегает разрушения. Тросы обладают чрезвычайно высокой прочностью при малом весе. Система используется при строительстве зданий средней высоты с достаточным количеством свободного пространства вокруг, так как закрепить тросы на высотных зданиях будет тяжело, а в районах плотной застройки будет недостаточно места [4].



Рис. 3. Система тросов из углеродного волокна

Одной из инновационных технологий строительства зданий в районах с повышенной сейсмической активностью является «Плащ-невидимка» (рис. 4).

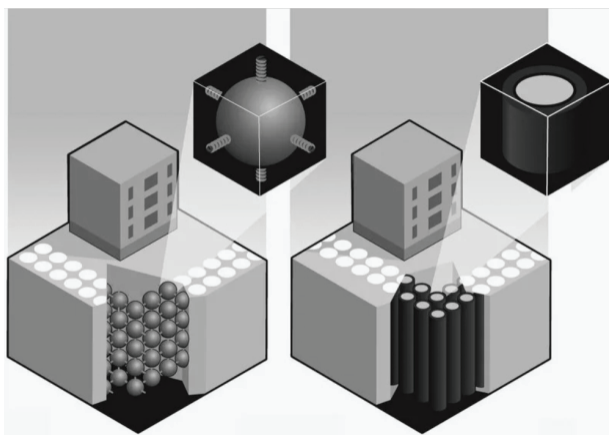


Рис. 4. Технология «Плащ-невидимка»

Система состоит из большого количества скважин под фундаментом сооружения, глубина которых достигает 200 метров. В скважины погружают концентрические кольца из пластика. Каждое кольцо обладает своим диапазоном частот принимаемых волн. При приближении волны кольца начинают раскисаться и изгибаться, а деформационные волны проходят в

толще колец. Но они не поглощают сейсмическую активность и не отражают её обратно, а передают дальше, не меняя направление движения, и оставляют внутри себя зону без колебаний. То есть волна проходит через систему из колец, не воздействуя на сооружение.

Одним из методов повышения сейсмостойкости зданий является использование резервуаров с водой. Вода обладает демпфирующим эффектом, то есть способностью снижать вибрацию и колебания. При сейсмических воздействиях вода в резервуаре играет роль амортизатора, гася колебания и предохраняя здание от повреждений. Однако использование резервуаров большого объема воды не всегда обеспечивает значительное повышение сейсмостойкости здания. Эффективность этого метода зависит от многих факторов, включая расположение и размер резервуара, тип здания и его конструкцию, а также от характеристик почвы и сейсмической активности в регионе. В некоторых случаях резервуары с водой могут даже увеличить риск повреждения здания при землетрясении [5]. Если вода вытекает из резервуара, это может привести к потере устойчивости здания или повреждению его структурных элементов. Поэтому при использовании резервуаров для увеличения сейсмостойкости следует учитывать все возможные риски и принимать меры для их минимизации.

Сейсмостойкость зданий может быть повышена с помощью использования специальных строительных материалов и конструкций, таких как сейсмостойкие блоки с зазорами. Эти блоки имеют специальные полости или зазоры, которые позволяют им двигаться относительно друг друга во время землетрясений, уменьшая таким образом силу воздействия на здание. Сейсмостойкие блоки обычно изготавливаются из высокопрочного бетона или железобетона и имеют специальные армирующие элементы, которые обеспечивают их прочность и долговечность. Они также могут быть использованы в сочетании с другими методами сейсмической защиты, такими как сейсмические пояса. Использование сейсмостойких блоков требует профессионального подхода к проектированию и строительству, так как неправильная установка или использование неподходящих материалов может привести к снижению эффективности системы сейсмической защиты.

На основе исследований для строительства в сейсмоактивных районах была разработана схема выбора технологии строительства (рис. 5).

Данная блок-схема упрощает выбор сейсмостойкой технологии строительства. Безусловно, выбор технологии требует большой подготовительной работы, в виде исследований места строительства и разработок проектов здания. Однако данная схема позволяет сузить круг технологий, которые могут быть использованы при строительстве здания в сейсмостойких районах. Это позволит снизить время и затраты на поиск информации и анализ сразу всех вариантов строительства и остановиться на наиболее рациональном в использовании способе строительства. Блок-схема позволит уменьшить нагрузку на инженеров-проектировщиков здания, что увеличит эффективность работы специалистов и повысит качество выполнения проекта.

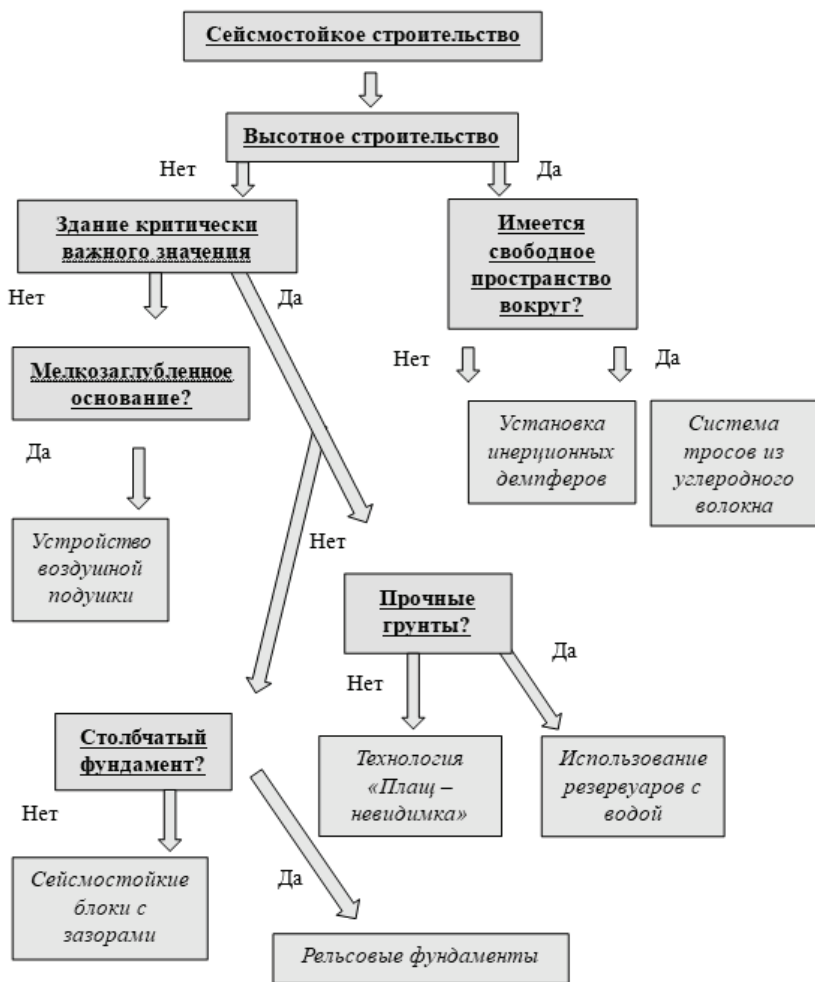


Рис. 5. Схема выбора технологии строительства в сейсмоопасных районах

Список литературы

1. Мартемьянов, А.И. Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах: Учеб. Пособие. – Москва: Издательство Стройиздат, 1985. 168 с.
2. Поляков, В.С., Килишкин, Л.Ш., Черкашин, А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий: Учеб. Пособие. – Москва: Издательство Стройиздат, 1989. 76 с.

3. Смирнов, В.И. Сейсмоизоляция – современная антисейсмическая защита зданий в России // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений: Учеб. Пособие. – Москва: Издательство Стройиздат, 2013. 204 с.
4. Хакимов, Ш.А. Новые конструктивные системы жилищно-гражданских зданий и проблемы актуализации сейсмических норм // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений: Учеб. Пособие. – Санкт-Петербург: Издательство Стройиздат, 2020. 60 с.
5. Чигринская Л.С. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Учебное пособие для студентов специальностей 270102 "Промышленное и гражданское строительство" и 270105 "Городское строительство и хозяйство": Учеб. Пособие. – Ангарск: Издательство АГТА, 2009.
6. СП 14.13330.2018. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81: Утвержден и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.05.2018 № 309-ст – Москва: Стандартинформ, 2018, 108 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В ЗОНАХ ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЕКСИКИ И ЯПОНИИ

DESIGN OF HIGH-RISE BUILDINGS IN HIGH SEISMIC ACTIVITY ZONES OF MEXICO AND JAPAN

А.В. Сидорова, студентка 4 курса

Е.Г. Трибельская, канд. архитектуры, профессор

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.V. Sidorova, 4th year student

E.G. Tribelskaya, PhD, professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены основные приемы проектирования зданий в странах с высокой сейсмической активностью, таких как Мексика и Япония. Выявлены их общие черты и различия в подходах к строительству, и меры, принимаемые для обеспечения безопасности населения.

Ключевые слова: сейсмическая активность, землетрясения, Япония, Мексика, принципы проектирования сейсмоустойчивых высотных зданий.

Abstract. The article discusses the main techniques for designing buildings in countries with high seismic activity, such as Mexico and Japan. Their common features and differences in construction approaches, as well as measures taken to ensure public safety, are identified.

Key words: seismic activity, earthquakes, Japan, Mexico, principles of designing earthquake-resistant high-rise buildings.

Сейсмология – наука, изучающая распространение сейсмических волн в недрах Земли, сейсмические явления, причины, их вызывающие, связанные с ними явления и строение Земли, наука, изучающая землетрясения. Благодаря сейсмологии раскрыто строение Земли и установлены главные границы раздела в её недрах – кора, мантия и ядро.

Причиной возникновения землетрясений являются сдвиги и смещения горных пород. Они происходят на большой глубине. Волны от очага землетрясения расходятся в разные стороны, некоторые из них достигают земной поверхности. От глубины залегания очага и силы толчка зависит площадь землетрясения и его сила. Чем они больше, тем большая площадь будет охвачена.

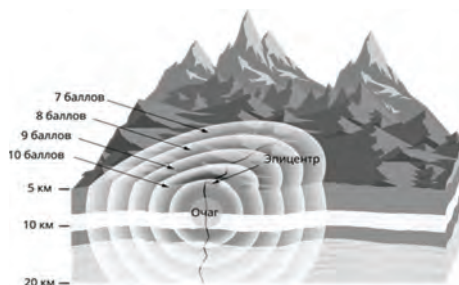


Рис. 1. Схема образования очага землетрясения¹

Землетрясения имеют одну общую характеристику – излучение сейсмических волн различной интенсивности, а различаются породившими их причинами. По происхождению все землетрясения составляют следующую классификацию:

1. Тектонические
2. Вулканические
3. Техногенные (наведенная сейсмичность)
4. Денудационные (обвальные)
5. Подводные
6. Искусственные
7. Спровоцированные внешними факторами



Рис. 2. Зоны сейсмической активности. Действующие вулканы мира²

¹ <https://fishki.net/4561513-pochemu-japoniju-postojanno-trjasyot-i-nakryvajut-cunami.html>

² <https://autosprite.ru/foto/vse-vulkaniy-zemli>

В качестве примеров в статье сравниваются две страны, Мексика и Япония, имеющие зоны высокой сейсмической активности, рассматриваются конструктивные особенности проектирования сейсмостойчивых высотных сооружений в этих странах.

Мексика располагается в западном полушарии, на континенте Северная Америка. Расположение Мексики в так называемой зоне субдукции³ делает страну подверженной сильным землетрясениям (рис. 3). Это те части земли, где одна плита земной коры медленно скользит под другой. Мексика относится к сейсмоопасным территориям, так что многие виды конструктивных решений здесь недопустимы. В основном Мексика использует малоэтажное строительство.

Последнее крупное землетрясение произошло в Мексике 21 октября 2023 года магнитудой 5,2. Оно произошло на территории штата Герреро на юге страны. Эпицентр землетрясения располагался в 57 км к юго-востоку от города Сан-Маркос, а его очаг залегал на глубине 10 км. Не устояли даже новые здания, рассчитанные на сейсмозону. Только в Мехико было разрушены полностью 40 зданий.

Несмотря на все ограничения, связанные с высокой сейсмоопасностью территории, в конце XX века в стране начали возводиться здания выше 150 метров. Это связано скорее с повышением престижа страны, чем с необходимостью.

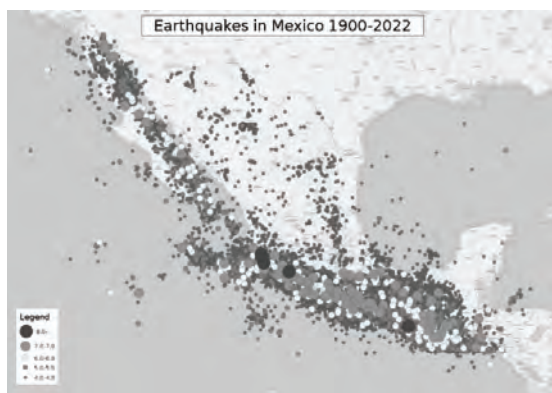


Рис. 3. Карта Мексики с обозначением центров землетрясений 1900-2022⁴

³Субдукция – процесс погружения одних блоков земной коры под другие, происходящий вдоль линейной зоны на границе литосферных плит. Чаще всего это явление наблюдается при пододвигании тяжелой и тонкой океанической коры под окраину континента или под островную дугу и погружении ее в мантию. Скорость субдукции обычно измеряется в сантиметрах в год. Этот процесс сопровождается возникновением зон глубокофокусных землетрясений и формированием активных вулканических дуг.

⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_earthquakes_in_Mexico

В 2017 году в столице штата Нуэво-Леон – Монтеррей был возведен 64-этажный небоскреб Торре КОИ высотой 280 м. Он на сегодняшний день является самым высоким в стране (рис.4, 5).



Рис. 4. Торре Кои в городской застройке⁵

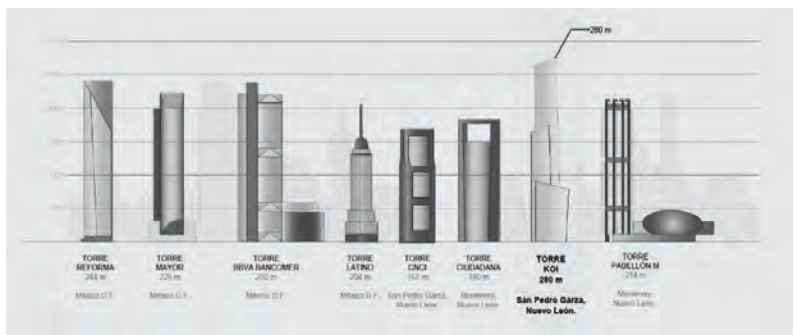


Рис. 5. Торре Кои⁶

Второе место в стране занимает Torre Reforma высотой 244 метра. Торре Реформа самое высокое здание Мехико, столицы Мексики (рис. 6). Расположенный на Пасео-де-ла-Реформа, самом известном проспекте Мехико, Торре Реформа является частью культурного, исторического и фи-

⁵(<https://www.archdaily.com/883564/cemex-announces-mexico-winners-in-their-2017-building-awards/5a035d37b22e38cbcd000021-cemex-announces-mexico-winners-in-their-2017-building-awards-image>)

⁶ <https://www.thorntontomasetti.com/project/torre-koi>

нансового района. Строительство этого здания стало поворотным моментом для вертикального роста городов в мегаполисе. Частью этого сооружения является дом начала двадцатого века, который находится под исторической охраной. Для того, чтобы строительство было экономически целесообразным, дом был интегрирован в главный вестибюль. В процессе строительства небоскреба исторический дом был перенесен. Его укрепили за счет утолщения стен и заливки под ним бетонной плиты, которая была установлена поверх рельсов. Объект был временно перемещен на 18 метров от своего первоначального положения. После завершения строительства фундамента дом был возвращен в исходное положение. Старый, поврежденный известняк фасадов был восстановлен и в настоящее время здание сдано в аренду под торговые помещения.

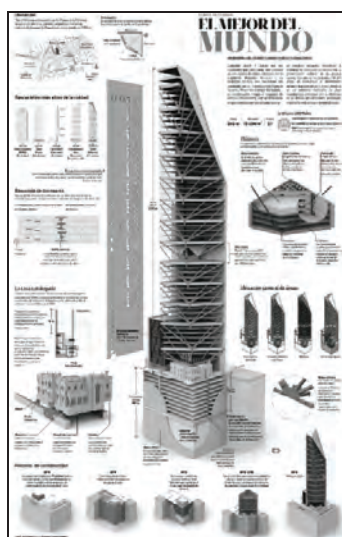


Рис. 6. Торре Реформа:

а – конструктивная схема. Наверху надпись «Лучшее в мире»; б – общий вид⁷

Здание Torre Reforma стал самым высотным в мексиканской столице. Проектировщики и инженеры, принимавшее участие в проекте, уверяют, что башня способна выдержать даже серьёзное землетрясение. Специалисты LBR&A Arquitectos совместно с сотрудниками технологической компании Agur разработали конструкцию, способную «скручиваться» в случае подземных толчков или порывов урагана. Гибкость обеспечивается наличием специальных проёмов-прорезей и шарнирной конструкции. Здание

⁷ <https://www.archdaily.com/792721/torre-reforma-lbr-plus-a>

учитывает множество социальных, финансовых и экологических факторов. 57-этажное здание, имеет треугольную форму в плане, состоит из двух бетонных стен высотой 246 метров, напоминающих форму открытой книги, закрытых третьей стеклянной стеной с фасадно-металлической решеткой. Его фасады обеспечивают универсальное пространство без колонн и оказывают большое влияние на снижение энергопотребления, уходя от поколения полностью стеклянных фасадов.

Стеклянный фасад поворачивается на 45 градусов, открывая лучший вид на город и парк, а также имеет наклон на 14 метров над историческим зданием. Согласно мексиканским нормам, воображаемая линия проводится на высоте 180 сантиметров с противоположной стороны Пасео-де-ла-Реформа, проходя через самую высокую точку фасада. Потенциальная высота здания – это предел воображаемой линии. Это позволило Торре Реформа иметь высоту 246 метров и наклонный фасад, начинающийся с высоты 200 метров.

Торре Райз – строящийся сверхвысокий небоскреб многофункционального назначения в Монтеррее высотой 475 метров. Торре Райз – проект сверхбашни, о котором следует рассказать, как о новом подходе к строительству небоскребов. После завершения строительства оно должно стать одним из самых высоких зданий в Северной и Южной Америке. Высотная башня спроектирована как 99-этажное здание смешанного назначения и может вместить отель на 180 номеров, офисные помещения, апартаменты, коммерческие помещения и смотровую площадку. Строительство началось в 2022 и планируется завершиться в 2026 году.

Важно отметить, в Мексике принимаются серьезные меры для обеспечения безопасности населения во время землетрясения. Так после сильнейшего землетрясения 1985 года, когда погибли около 10 тысяч человек, в Мексике была создана система сейсмической тревоги. Она позволяет предупредить жителей центральной части страны за одну – две минуты до того, как их достигнут волны землетрясения, произошедшего у побережья.

Япония – островное государство, расположенное в зоне высокой сейсмической активности. В спокойные годы в Японии происходит в среднем пять землетрясений ежедневно. А в годы высокой сейсмической активности – в несколько раз больше (рис. 7).

Великое землетрясение Хансин-Авадзи – одно из крупнейших землетрясений в истории Японии произошло в городе Кобе 17 января 1995 года [7]. Его моментальная магнитуда составила 6,9 (землетрясение силой 7,3 по шкале Рихтера). Очаг землетрясения был расположен под островом Авадзи на глубине 15-20 км, и был связан с тектоническим разломом, проходящим в проливе Акаси прямо под городом. По подсчётам, во время землетрясения погибло 6434 человека, было разрушено 200 000 зданий, 1 км скоростного шоссе Хансин, уничтожено 120 из 150 причалов в порту Кобе, нарушено электроснабжения города. Это катастрофическое землетрясение заставило пересмотреть многие нормы и требования, касающиеся строительства в целом и высотных зданий в частности.

В 2016 году количество подземных толчков достигло 6566 (то есть в среднем 18 в день). И это еще не предел: в 2011 году число землетрясений превысило норму в 7 раз. Именно в тот год повышенной сейсмоактивности произошло сильнейшее землетрясение и цунами, разрушившее АЭС в Фукусиме.

Несмотря на экстремальные условия в Японии активно ведется высотное строительство. Это связано с очень ограниченной территорией страны и еще более ограниченной площадью земли пригодной для строительства с одной стороны и высоким уровнем развития технологий и строительной индустрии с другой.

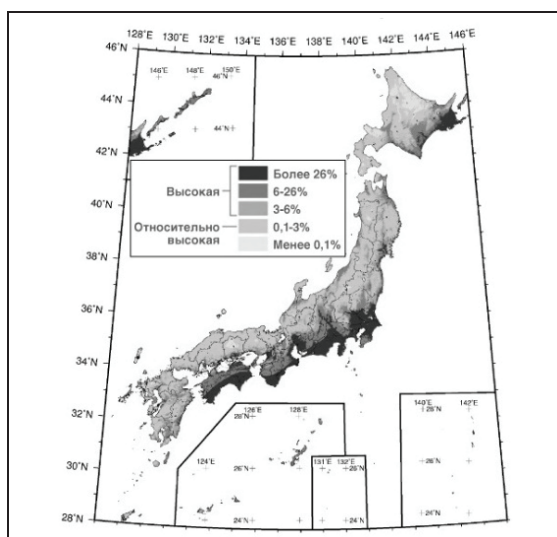


Рис. 7. Прогнозируемая вероятность землетрясений интенсивностью до 6 баллов или выше в течении ближайших 30 лет⁸

Рассмотрим несколько самых значительных сооружений XXI века в Японии. Tokyo Skytree Town (Токийское небесное дерево) - телебашня и достопримечательность Токио, самая высокая башня в Японии, расположена в центральной части Токио в городском округе Сумида (рис. 8). Имеет высоту 634 метра (634 можно прочесть как "Мусаси", историческое название Токийского региона), это самое высокое сооружение в Японии и было вторым по высоте в мире на момент его завершения в 2012 году. У его основания расположен большой торговый комплекс с аквариумом. Имеются две наблюдательные площадки: одна на высоте 350 м (вместимостью 2000 человек), другая на высоте 450 м (вместимостью 900 человек).

⁸ <https://schems.ru/maps/seymicheskaya-karta-yaponii>

На верхней площадке башни есть спиральный проход с остеклённым полом, по которому посетители могут подняться вплоть до последних 5 метров высшей точки платформы; стеклянный пол открывает посетителям вид на улицы прямо под их ногами.

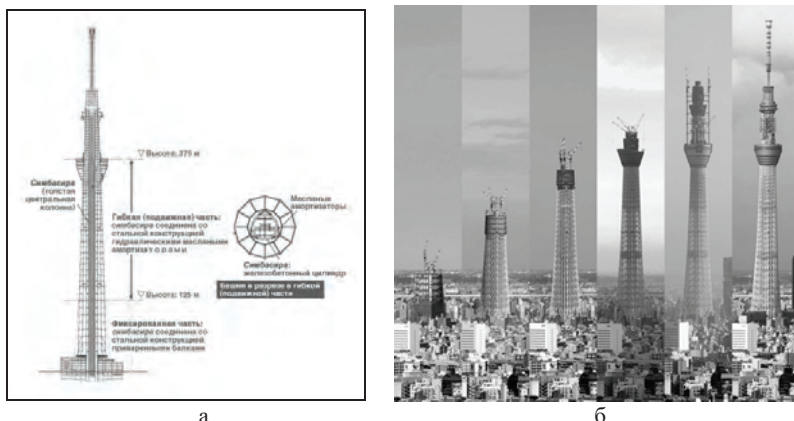


Рис. 8. Телебашня Tokyo Skytree Town:
а – конструктивная схема телебашни; б – этапы строительства⁹

При создании башни была разработана специальная система, компенсирующая, по словам архитекторов, до 50 % силы подземных толчков при землетрясениях. Были учтены конструктивные особенности пятирусной пагоды в Наре, являющейся самым старым деревянным зданием в мире, благодаря своей устойчивости к землетрясениям и прочим экстремальным природным явлениям.

Yokohama Landmark Tower «Башня-ориентир Иокогамы» – высочайшее здание Иокогамы и третье по высоте сооружение в Японии (рис. 9). Небоскреб расположен напротив Иокогамского музея искусств. Строительство здания было закончено в 1993 году. Высота здания составляет 296,3 метров, в нем 73 этажа над землей и еще три подземных. Нижние 50 этажей здания занимают офисы, магазины, клиники и рестораны различных кухонь мира. На следующих 20 этажах расположен отель.

Несмотря на то, что Япония – одна из самых сейсмически беспокойных стран в мире, застройщики не побоялись возвести в портовом городе здание высотой около 296 метров. Здание сужается к верху, и внешне очень напоминает постройки поздней мезоамериканской архитектуры, цивилизации ацтеков. Такая форма так же снижает риск разрушения, за счет массивного основания.

⁹ <https://www.vzavtra.net/stroitelnye-texnologii/sky-tree-samaya-sejsmoustojchivaya-konstrukciya-v-mire.html>

Здание построено на так называемых роликовых конструкциях, которые позволяют ему не зависеть от подземных толчков. Кроме того, в районе 71-го этажа встроены два специальных устройства, которые снижают амплитуду механических колебаний высоты. Более того, небоскреб возведен из легких материалов, которые при глобальном механическом воздействии будут гнуться, но не рушиться.



Рис. 9. Yokohama Landmark Tower¹⁰

В Японии проводится большая работа по обучению населения поведению и действиям во время природных катастроф (землетрясения, цунами, наводнения). Этому учат детей в школах, начиная с первого класса. С середины 2000-х годов японские телефоны и смартфоны оснащают системой раннего предупреждения землетрясений, которая подаёт сигнал тревоги непосредственно перед началом толчков. Эта система стала первой в мире технологией для телефонов, предупреждающей о приближающемся стихийном бедствии. Она генерирует сигнал тревоги на основе первых небольших толчков, которые происходят за несколько десятков секунд до сильного землетрясения, призывая людей готовиться к эвакуации. В системе используются сейсмометры и измерители сейсмической интенсивности от Японского метеорологического агентства и сети сейсмографических наблюдений от Национального научно-исследовательского института наук о Земле и предотвращения стихийных бедствий.

Сравнение подходов к проектированию в сейсмоопасных районах в Мексике и Японии показывает, что несмотря на то, что Мексика только недавно стала развивать высотное строительство (в основном, чтобы поднять престиж страны), а в Японии небоскребы строят уже давно и это является реальной необходимостью, подходы к проектированию и строитель-

¹⁰ <https://www.yokohamastation.com/yokohama-landmark-tower/>

ству уникальных высотных зданий в обеих странах очень похожи. Они являются практически универсальными и определяются конструктивными требованиями, обеспечивающими устойчивость зданий в зонах сейсмической активности. Возведение высотных зданий требуют применения самых современных конструктивных и технологических решений и представляют собой сложнейший процесс, отвечающий нормам, которые строго контролируются на государственном уровне.

Список литературы

1. Torre KOI | Thornton Tomasetti – <https://www.thorntontomasetti.com/project/torre-koi> (дата обращения: 20.01.2024).
2. Torre KOI – https://en.wikipedia.org/wiki/Torre_KOI (дата обращения: 20.01.2024).
3. Torre Reforma -<https://www.torrereforma.com/> (дата обращения: 20.01.2024).
4. В традициях ацтеков – <https://archi.ru/world/81705/v-tradiciyakh-actekov> (дата обращения: 20.01.2024).
5. Torre Reforma – <https://www.archdaily.com/792721/torre-reforma-lbr-plus-a> (дата обращения: 20.01.2024).
6. Torre Rise - The Skyscraper Center – <https://www.skyscrapercenter.com/building/torre-rise/39675> (дата обращения: 20.01.2024).
7. <https://www.bo-sai.co.jp/sub6.html> (дата обращения: 10.03.2024).
8. Tokyo Skytree – <https://www.vzavtra.net/stroitelnye-tehnologii/sky-tree-samaya-sejsmoustojchivaya-konstrukciya-v-mire.html> (дата обращения: 20.01.2024).
9. Tokyo Skytree – https://ru.wikipedia.org/wiki/Tokyo_Skytree (дата обращения: 20.01.2024).
10. Yokohama Landmark Tower – <https://www.yokohamastation.com/yokohama-landmark-tower/> (дата обращения: 20.01.2024).
11. Yokohama Landmark Tower - https://ru.wikipedia.org/wiki/Yokohama_Landmark_Tower.

ТИПОЛОГИЯ СЕЙСМИЧЕСКИ-УСТОЙЧИВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЯПОНИИ

TYPOLOGY OF SEISMICALLY RESILIENT STRUCTURES IN JAPAN

Л.П. Грошев, студент 3 курса

К.И. Колоскова, студентка 3 курса

В.О. Стоянов, к.т.н., доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

L.P. Groshev, 3rd year student

K.I. Koloskova, 3rd year student

V.O. Stoyanov, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of
Arts, Moscow, Russia

Аннотация. В данной статье рассмотрены типы сейсмически-устойчивых конструкций в древней Японии и в современном строительстве. Дан краткий обзор основных действующих строительных стандартов, которых придерживаются японские инженеры в настоящее время. Приведены примеры дополнительной защиты зданий от землетрясений.

Ключевые слова: Япония, сейсмическая активность, конструкции, жилые здания.

Abstract. This article examines the types of seismically resistant structures in ancient Japan and in modern construction. A brief overview of the main modern construction standards that modern Japanese engineers adhere in present is given. Examples of additional earthquake protection of buildings are given.

Keywords: Japan, seismic activity, structures, residential buildings.

Япония – островное государство, общая площадь которого составляет 377 932 км², расположено на тихоокеанском вулканическом огненном кольце, вследствие чего имеется множество зон вулканов и характеризуется высокой частотой землетрясений и цунами.

В традиционной Японской архитектуре дерево является наиболее предпочтительным материалом для традиционных зданий из-за постоянных землетрясений. Наиболее часто используемые породы дерева для строительства зданий являлись японский кипарис, вишня, японский кедр и японская дзельква. Самой древней деревянной постройкой в Японии является храм Хорюдзи (607 г. н.э.), который выдержал многочисленные землетрясения и стихийные бедствия. Японские традиционные дома обладают повышенной сейсмостойкостью и долговечностью благодаря особой плотницкой технологии соединения деревянных конструкций без использования гвоздей и других металлических деталей. Деревянные здания и соору-

жения характеризуются высокой степенью устойчивости к сейсмическим воздействиям благодаря высоким прочностным характеристикам и малой плотности древесины. Для данного материала (древесины), как и для всех полимеров характерна зависимость расчетного сопротивления от длительности действия нагрузки. При кратковременных, эпизодических воздействиях в расчет деревянных конструкций вводятся повышающие коэффициенты для расчетного сопротивления. Так, в российском СП 64.13330.2017 "Деревянные конструкции" при воздействии ветра расчетное сопротивление увеличивается на 20 % относительно стандартного сочетания нагрузок "постоянная+снег", а при сейсмических воздействиях расчетное сопротивление материала увеличивается на 40 %.

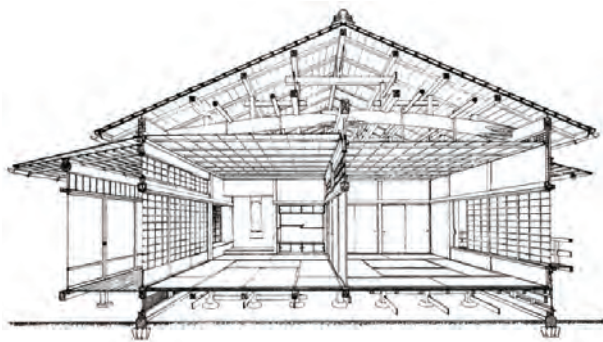


Рис. 1. Деревянные конструкции традиционных японских домов¹¹

Узлы соединения каркаса представляют особый интерес. В японских каркасах отсутствуют раскосы и иные диагональные связи жесткости, а также какие-либо металлические крепёжные элементы. Жесткость каркаса обеспечивается за счет жестких соединений балок и ригелей между собой. Безраскосная рама при горизонтальных сейсмических нагрузках, деформируясь, поглощает энергию подобно вязкоупругой системе «пружина-амортизатор». Ещё одна специфическая сейсмозащитная особенность – японские каркасные дома не были жестко закреплены к фундаменту.

Также, в древности в некоторых случаях строители с целью ослабить действие землетрясений на сооружения пытались изолировать здания от их основания путем устройства мягких прокладок на уровне верха фундаментов. Так, в III-VII вв. некоторые монументальные сооружения Средней Азии строились на песчаных подушках, в X-XVII вв. – на подушках из чистой глины, в цокольной части стен прокладывались мягкие камышовые прослойки. Однако, будучи спрессованными тяжелой кладкой стен и старея со временем, эти слои вряд ли надежно служили своей цели.

¹¹http://novikov-architect.ru/japan_arch.htm?ysclid=lte7g945j433126496

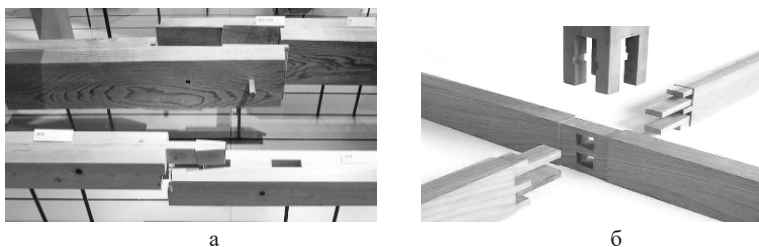


Рис. 2. Традиционные японские дома:
а, б – узлы соединения каркаса¹²

В 30-х годах возникла идея сейсмоизоляции зданий с помощью устройства в зданиях первого (или подвального) гибкого этажа. Эта идея основывалась в том, что при всех землетрясениях сейсмическая реакция зданий с гибкой конструктивной схемой всегда меньше, чем у зданий с жесткой конструктивной схемой. Эта идея получила довольно широкое распространение, в том числе и в нашей стране, так как для своего воплощения не требовала специальных мероприятий, выходящих за границы традиционных способов строительства зданий. Расчет зданий с гибким первым этажом необходимо выполнять с учетом волнового характера сейсмического воздействия, так как возможны ситуации, когда суммарные сейсмические усилия в некоторых частях здания с гибким первым этажом могут за счет интенсивных вращательных движений даже могут возрасти по сравнению с обычным зданием.

В настоящее время, в Японии ежедневно фиксируют десятки землетрясений разной уровня интенсивности. Так как население страны превышает 120 миллионов человек, а площадь городской застройки ограничена небольшим количеством подходящих участков, поэтому строительство высотных зданий – это необходимость. Во многих городах Японии очень большое количество зданий, превышающих 100-120 метров. Например, телевышка в Токио (Tokyo Sky Tree) имеет высоту 634 метра, что делает ее одной из самых высоких сооружений современности.

Но из-за высокой сейсмоактивности, японские инженеры вынуждены постоянно совершенствовать технологии многоэтажного строительства. В связи с этим, японцы вывели основные строительные стандарты сейсмостойкости зданий:

- тайсин – это минимальное требование для зданий, устойчивых к землетрясениям в Японии, и требует, чтобы балки, столбы и стены были минимальной толщины, чтобы справиться с встряхиванием;

¹² Torashichi Sumiyoshi, Gengo Matsui. Wood Joints in Classical Japanese Architecture. J. Nagy, 1991. 124 с.

– сэйшин – следующий уровень сейсмостойких зданий в Японии, рекомендуется для высотных зданий. Он использует демпферы, которые поглощают большую часть энергии землетрясения. По сути, слои толстых резиновых карт размещаются на земле под фундаментом, тем самым поглощая толчки;

– меншин – это самая передовая форма сейсмостойких зданий в Японии, а также самая дорогая. Сама конструкция здания изолирована от земли слоями свинца, стали и резины, которые перемещаются независимо вместе с землей вниз. Это означает, что само здание очень мало движется – даже во время самых сильных землетрясений.

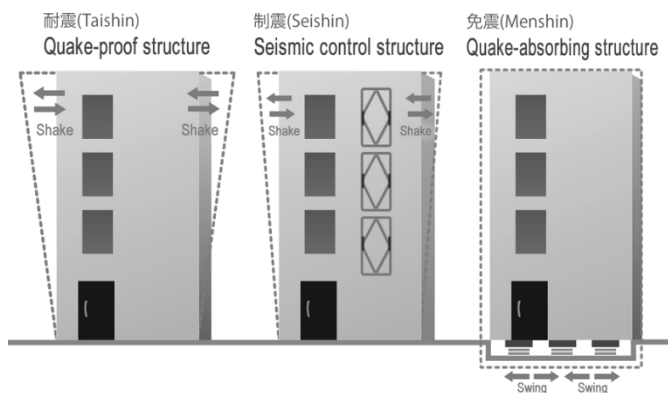


Рис. 3. Японские стандарты сейсмостойкости зданий¹³

Помимо стандартов есть некоторые дополнения, чтобы здания лучше выдерживали землетрясения. Например, ядро жесткости здания часто изготавливают из стали, а не из железобетона. Также на крышах небоскребов устанавливают маятники. Они качаются вперед и назад во время землетрясения, что помогает противодействовать движению здания из стороны в сторону. В домах устанавливают датчики, которые предупреждают о приближающейся сейсмической активности. В дополнении, во многих зданиях устанавливают откидные двери, позволяющие быстрее покинуть помещение в случае экстренной ситуации.

В Японии даже существуют левитирующие дома. Когда детектор сейсмической активности фиксирует толчки, компрессор нагнетает воздух в специальное пространство под зданием, поднимая его на 2-3 сантиметра от фундамента. Это делает невозможным сотрясение дома и, следовательно, помогает избежать повреждений. На данный момент в Японии построено около 100 таких домов.

¹³<https://www.ixbt.com/live/offtopic/pochemu-yaponskim-domam-ne-strashny-zemletryaseniya.html>

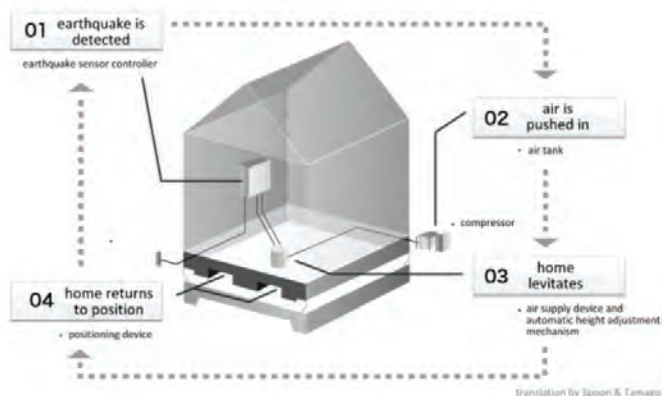


Рис. 4. Принцип работы детектора сейсмической активности¹⁴

Вдобавок, в Японии используют технологию “плаща-невидимки”. «Плащ-невидимка» – этот метод может спасти строение во время землетрясения. Толчки распространяются по земле в виде волн, они создают вертикальное движение на поверхности и сотрясают здания. Чтобы предотвратить это движение, некоторые инженеры размещают на фундаменте здания 100 пластиковых колец, которые действуют как занавески и делают волны невидимыми. Группа, возглавляемая математиком Уильямом Парнеллом из Манчестерского университета, показала, что маскировка компонентов или конструкций из резины под давлением сделает их невидимыми для мощных волн, возникающих во время землетрясения. Вместо того, чтобы сотрясать конструкцию, волны будут проходить вокруг нее, защищая здание и все, что находится внутри него.

Япония далеко не единственная страна, находящаяся в сейсмически активной зоне, однако она является одним из лидеров по безопасности при данном происшествии. Основным аспектом в строительстве является жесткое регулирование- четкое представление о стандартах устойчивости, что дает людям больше уверенности и безопасности. Японские инженеры постоянно улучшают старые и создают новые способы защиты домов от землетрясений, что делает регион с высокой сейсмической активностью безопасным настолько, насколько это возможно. Инвестиции имеют решающее значение: строительство сейсмостойкого здания стоит на 20 % больше, чем стандартная конструкция. Тем не менее в долгосрочной перспективе такой подход экономит деньги, поскольку их здания защищены от повреждений во время землетрясений, и нет необходимости разбирать завалы, под которыми оказываются не только люди, но и огромное количество техники и прочего дорогостоящего имущества.

¹⁴ <https://www.planradar.com/gb/japan-earthquake-proof-buildings/>

Список литературы

1. Ольга Фролова. Гении инженерной мысли: как японцам удастся строить сейсмоустойчивые небоскребы. 2019. URL: <https://travelask.ru/blog/posts/12937-genii-inzhenernoy-mysli-kak-yapontsam-udaetsya-stroit-seysmo?ysclid=ltbq626ttx754310591>.
2. Alexandra Hasek. Construction expertise from Japan: earthquake proof buildings. 27.05.2022. URL: <https://www.planradar.com/gb/japan-earthquake-proof-buildings/>.
3. Дмитрий Новиков. Традиционная японская архитектура. URL: http://novikov-architect.ru/japan_arch.htm?ysclid=lte7g945j433126496.
4. Даниил Шалонников. Сейсмоопасная Япония: как и из чего строят дома, которые не разрушит землетрясение. 13.02.2023. URL: <https://profile.ru/news/scitech/sejsmoopasnaya-yaponiya-kak-i-iz-chego-stroyat-doma-kotorye-ne-razrushit-zemletryasenie-1263332/amp/>.
5. Michael Abrams. Made in Japan: Earthquake-Proof Homes. URL: <https://www.asme.org/topics-resources/content/made-in-japan-earthquake-proof-homes>.
6. Torashichi Sumiyoshi, Gengo Matsui. Wood Joints in Classical Japanese Architecture. J. Nagy, 1991. 124 с.

ВЛИЯНИЕ СЕЙСМИКИ НА АРХИТЕКТУРУ КИТАЯ

THE INFLUENCE OF SEISMICS ON CHINESE ARCHITECTURE

Е.А. Стромило, студентка 2 курса

Е.Н. Кузнецова, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

E.A. Stromilo, 2nd year student

E.N. Kuznetsova, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы антисейсмического проектирования. Приемы защиты зданий от землетрясений в древнем Китае. Современные технологии в строительстве для защиты зданий от землетрясений. Разобраны антисейсмические мероприятия на примере двух современных небоскребов: Тайбэй 101 и Шанхайская башня.

Ключевые слова: землетрясение, инструментальная сейсмология, антисейсмическое проектирование, левитирующий фундамент, амортизаторы, предохранители, демпфер.

Abstract. The article discusses the issues of antiseismic design. Techniques for protecting buildings from earthquakes in ancient China. Modern technologies in construction to protect buildings from earthquakes. Antiseismic measures are analyzed using the example of two modern skyscrapers: Taipei 101 and Shanghai Tower.

Keywords: earthquake, instrumental seismology, antiseismic engineering, levitating foundation, shock absorbers, fuses, damper.

Землетрясение – это подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии Земли и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний. Сильные землетрясения приобретают характер катастроф с большими разрушительными последствиями и человеческими жертвами. Землетрясения могут возникать эпизодически естественным путем или вызываться деятельностью человека (непосредственно или опосредованно). К техногенным факторам возникновения землетрясений относятся: взрывные работы крупного масштаба, скважины, напряжение на геологическую среду массой высотных плотин и подпруженной ими воды и т.п. [1].

Около 70 % площади суши подвержено данному природному явлению. Поэтому важно развивать инструментальную сейсмологию и антисейсмическое проектирование.

В Китае с доисторических времен было известно о таком страшном и разрушительном явлении, как землетрясения. Соответственно, зодчие этого региона выработали свои приемы по защите зданий, особенно религиозных, от сейсмических воздействий [2]. Главным принципом этих приемов было создание гибкости и подвижности конструкций.

В древнем Китае использовались различные строительные материалы: камень, кирпич, металл и древесина. Большинство пагод имели кирпичное или каменное основание, а верхние ярусы были заполнены из дерева. Все узлы каркаса были подвижными с шарнирными закреплениями. На крышах высоких зданий делали площадки, на которых размещали тяжелые литые металлические предметы, они и стали прототипами современных гасителей колебаний.

Современные технологии в строительстве для защиты зданий от землетрясений

Сейсмическая активность представляет значительную угрозу для зданий и сооружений, поэтому требуется постоянная разработка и внедрение новых методов и технологий, способствующих повышению их устойчивости. Рассмотрим некоторые из них.

Левитирующий фундамент

Одной из наиболее инновационных разработок является разделение несущих конструкций здания с фундаментом, позволяющая зданию как бы «плавать» над ним во время землетрясения. В этой технологии используются свинцово-резиновые подшипники, которые находятся между несущими конструкциями здания и его фундаментом. Развивая дальше эту технологию, инженеры стали применять систему воздушной подушки: сенсоры фиксируют сейсмическую активность и автоматически активируют воздушный компрессор, который поднимает здание над фундаментом на 3 и более сантиметров и обеспечивает его защиту от толчков (рис. 1, а).

Амортизаторы

Амортизаторы, заимствованные из автомобильной промышленности, способны уменьшать силу вибраций. Устанавливаемые на каждом этаже здания, эти устройства преобразуют кинетическую энергию колебаний в тепловую, заставляя двигаться поршни и преобразуя механическую энергию землетрясения в тепло, благодаря чему снижается разрушительное воздействие землетрясений.

Сила маятника

Эффективной технологией защиты небоскребов от землетрясений, является система маятников, которая заключается в подвешивании тела с большой массой на верхних этажах здания, поддерживаемого стальными тросами. В процессе колебаний здания маятниковая сила направляет массу в противоположную сторону, рассеивая энергию и предотвращая резонанс. Такая система была применена и в небоскребе «Тайбэй 101», который дальше мы рассмотрим более подробно (рис. 1, б).

Сменные предохранители

Электрические предохранители отключают электричество при превышении нагрузки на сеть, предотвращая перегрев и пожары. Аналогичный подход был разработан и для сейсмической защиты зданий. Исследователи из Университета Стэнфорда и Иллинойского университета изучили конструкцию стальных рам, которые обладают эластичностью и способностью колебаться на фундаменте. Для ограничения колебаний были установлены вертикальные тросы, которые крепят верхнюю часть каждой рамы к фундаменту и ограничивают раскачивание. Важным элементом в этой системе являются сменные стальные предохранители, устанавливаемые между рамами или у оснований колонн. Металлические зубцы предохранителей поглощают сейсмическую энергию, а в случае превышения допустимой нагрузки и их разрушении их можно легко заменить, обеспечив быстрое восстановление конструкции (рис. 1 в).

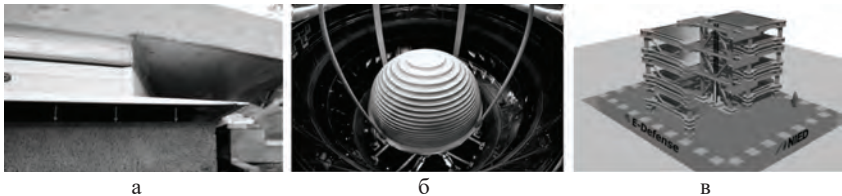


Рис. 1. Современные технологии в строительстве для защиты зданий от землетрясений:

а – левитирующий фундамент; б – сила маятника; в – сменные предохранители

Качающаяся «ядровая стена» в небоскребах

При строительстве современных небоскребов часто используют конструкцию с «ядровой стеной» для повышения сейсмостойкости зданий. В такой конструкции в центральной части здания, расположен бетонный сердечник, вокруг которого расположены лифтовые шахты. Несмотря на свои достоинства, эта технология подвержена недостаткам, так как здания могут испытывать значительные деформации во время землетрясений. Одним из

решений является сочетание качающейся «ядровой стены» с изоляцией фундамента. Колебания происходят на нижнем уровне ствола, что помогает предотвратить разрушения. Для усиления прочности конструкций, два нижних этажа укрепляют сталью с предварительным натяжением по всей высоте. Стальные тросы, проходящие через центральный ствол, действуют как резиновые ленты, увеличивая временное сопротивление. Это помогает повысить сейсмостойкость небоскребов и защитить их от разрушительных последствий землетрясений (рис. 2 а).

Сейсмический плащ-невидимка

Землетрясения генерируют волны, которые делятся на объемные и поверхностные, последние вызывают основные разрушения, перемещая землю вертикально. Некоторые ученые предполагают создать «плащ-невидимку» из 100 концентрических пластиковых колец, закопанных под фундаментом здания. Такие кольца способны улавливать волны и колебания, предотвращая их воздействие на здание. Сейсмические волны входят в кольца с одной стороны и остаются внутри системы. Находясь внутри, они не могут передать свою энергию конструкциям наверх. Они просто проходят вокруг фундамента и выходят с другой стороны. Однако до конца не изучено, что будет в таком случае с расположенными поблизости зданиями.

Сплав с памятью формы

Пластичность материалов является важным критерием при создании сейсмоустойчивых конструкций. Сплавы с эффектом памяти формы, такие как никель-титан (нитинол), способны восстанавливать свою форму после значительных нагрузок, что делает их более эффективными по сравнению с традиционными материалами. Эти инновационные сплавы на 10-30% эластичнее стали. При сравнении сейсмостойкости опор моста из стали и бетона с опорами из нитинола и бетона, сплав с памятью формы превзошел традиционные материалы по всем показателям и получил гораздо меньше повреждений. Поэтому в некоторых современных зданиях, расположенных в районах с повышенной сейсмической активностью, несущие конструкции изготавливаются с применением так называемых «умных» материалов.

Обёртка из углеродного волокна

Строить новые здания с сейсмозащитой очень важно, но не менее важно защищать от землетрясений здания уже построенные. Для этих целей была разработана технология усиления углеродным волокном. Инженеры оборачивают материал вокруг несущих железобетонных колонн и закачивают под давлением эпоксидную смолу между колонной и материалом. Этот процесс повторяется 6-8 раз. Таким способом можно укрепить и зда-

ния, которые уже были повреждены землетрясениями. Согласно исследованиям, устойчивость конструкций при применении такого метода возрастает на 24-38 %.

Биоматериалы

Материалы, подобные сплавам с эффектом памяти, в будущем могут стать еще более совершенными. Например, мидия, чтобы оставаться на своем месте, выделяет липкие волокна – биссусные нити. Некоторые из них жесткие, а другие – эластичные. Когда волна ударяет в мидию, она остается на своем месте, т.к. эластичные нити поглощают волну. Исследователи подсчитали, что соотношение жестких и эластичных волокон – 80:20. Необходимо разработать подобный материал для применения в строительстве (рис. 2 б).

Картонные трубы

Для стран с ограниченным бюджетом разрабатываются недорогие сейсмозащитные технологии. В Перу традиционные постройки укрепляют пластиковой сеткой, в Индии используют бамбук для усиления бетона, а в Индонезии здания поддерживаются опорами из старых покрышек с наполнителем. Японский архитектор Shigeru Ban изобрел картонные трубы, которые могут служить прочными строительными элементами. Конструкции из картона и дерева легче и лучше воспринимают сейсмические нагрузки, минимизируя риск травмирования людей при их разрушении (рис. 2 в).

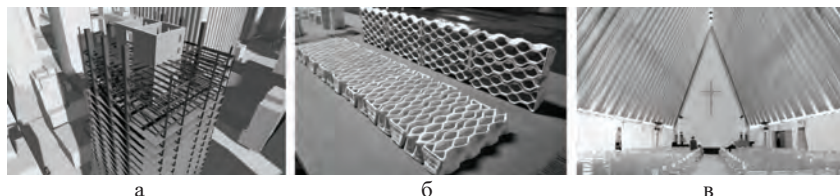


Рис. 2. Современные технологии в строительстве для защиты зданий от землетрясений:

- а – качающаяся «ядровая стена» в небоскребах; б – биоматериалы;
в – картонные трубы

Все перечисленные выше технологии имеют большое значение в укреплении устойчивости зданий, повышая уровень безопасности и защиты жизни людей.

Одним из примеров современного здания, в котором применяются подобные технологии, является небоскрёб Тайбэй 101 (рис. 3 а), расположенный в Тайване. Его строительство началось в 1994 году, а завершилось в 2004 году. Это здание считалось самым высоким в мире с момента его от-

крытия в 2004 году до завершения строительства Бурдж-Халифы в Дубае в 2009 году. Высота здания составляет 508 метров от земли до вершины шпиля [3]. Надземная часть состоит из 101 этажа, а подземная из 5 этажей. Проект архитектора Си Ли определяют как постмодернистский с сочетанием в нем традиционных азиатских и современных европейских элементов.

Тайбэй 101 стал первым небоскребом, построенным в зоне землетрясений и сильных ветров. Город расположен в Тихоокеанском поясе тектонических разломов земной коры, где примерно раз в 10 лет происходят серьезные землетрясения, и стоит на пути продвижения огромного числа тайфунов, зарождающихся в Южно-Китайском море. Каждая из этих двух видов опасностей требует конструкционных решений, противоречащих друг другу. Так как, в сейсмических районах здания должны обладать упругостью и гибкостью для поглощения энергии колебаний, а для противостояния сильным ветрам им нужна жесткость.

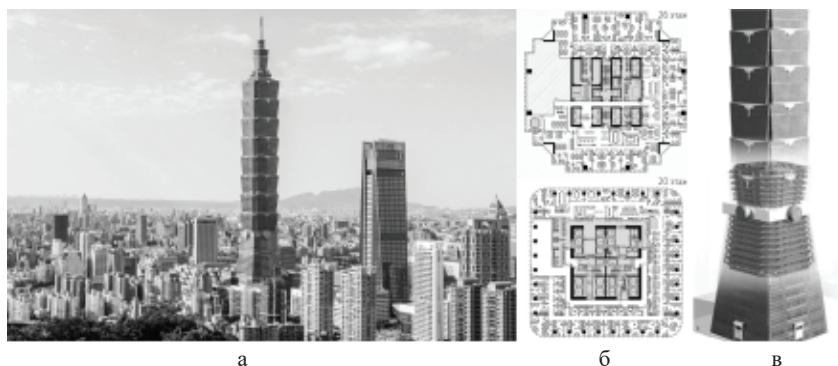


Рис. 3. Небоскрёб Тайбэй 101 в Тайване:
а – общий вид, б – планы 20 и 26 этажей;
в – стальные стропильные фермы высотой в этаж

Для решения этих противоречий в конструкции небоскреба Тайбэй 101 применили различные технические новшества: от внешнего каркаса до гигантского висящего шара, именуемого демпфером, который не позволяет зданию слишком сильно раскачиваться под ураганными ветрами. Максимально возможная сила ветра, выведенная при расчетах, составила 216 км/час.

Опорная система. Бетонные сваи уходят под землю на 80 метров. Их 380 штук. Четыре пары сверхмощных колонн размером 2,4×3 м в поперечном сечении, по одной на каждую сторону, и сердцевина из 16 колонн вместе удерживают здание в вертикальном положении. Через каждые восемь этажей идет специальный технический этаж, где проходят мощные стальные стропильные фермы высотой в целый этаж (рис. 3 б). Эти фермы соединяют между собой колонны сердцевины и расположенные по периметру

колонны, тем самым существенно расширяя площадь опоры здания и предотвращая возможность его опрокидывания. Между 25-м и 77-м этажами бетонные колонны, взятые в стальной каркас, становятся более тонкими, а выше уровня 66-го этажа становятся полностью стальными.

Огромный маятник подвешен на 16-ти стальных тросах между 87-м и 91-м этажами (рис. 4). Шар выполнен из отдельных стальных пластин (41 шт.), уложенных горизонтально. Он представляет собой 800-тонный маятник, закрепленный на 92-этаже и играющий роль гасителя инерции здания. Когда дует сильный ветер, он раскачивается, зато небоскреб остается неподвижным. При нормальных условиях амплитуда колебаний этого шара, подвешенного на стропах из высокопрочных тросов, находится в пределах 10 см.

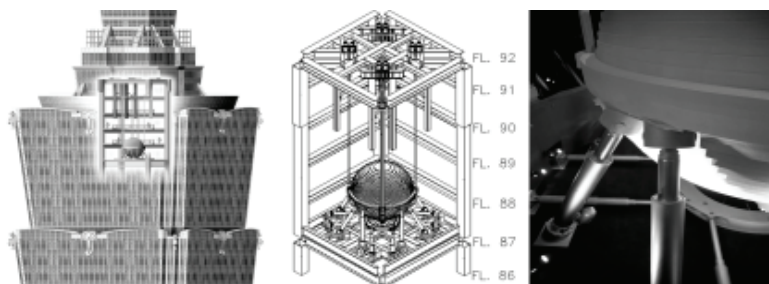


Рис. 4. Демпфер в небоскрёбе Тайбэй 101 [4]

На уровне горизонтальной средней линии к шару прикреплены восемь вязкостных демпфирующих устройств, похожих на гидравлические амортизаторы. Во время раскачивания демпфера из этих устройств через маленькие отверстия выдавливается вязкая жидкость, что и поглощает энергию ветра. В случае катастрофической силы землетрясения или тайфуна, шар будет раскачиваться с амплитудой 1,5 м и встретит кольцо буферограничителя, который снабжен восемью дополнительными вязкостными демпферами, именуемыми задержаниками.

Вторым примером современного здания в Китае является Шанхайская башня ("Shanghai Center Building") – 128-этажный небоскреб высотой 632 метра, спроектированный фирмой «Gensler» с китайским архитектором Чжун Ся (рис. 5). Шанхай расположен в сейсмическом поясе и имеет неглубокий уровень грунтовых вод, из-за близости реки Хуанпу. Укрепление фундамента этого небоскреба было крайне важно. Чтобы укрепить землю, инженеры сначала заложили 980 фундаментных свай на глубину 85 метров, а затем залили бетон, чтобы закрепить главное здание, которое весит 850 000 тонн. Благодаря этим решениям Шанхайская башня способна выдерживать землетрясения силой до 9 баллов по шкале Рихтера.

Сейсмостойкость. Массовые демпферы состоят из больших маятников (обычно стальных горизонтальных пластин, скрепленных вместе болтами),

которые подвешиваются на тросах в верхней части здания. Когда здание раскачивается при порыве ветра, инерция груза действует как противовес, тянущая его в противоположном направлении.

Так как традиционный демпфер оказался недостаточно хорош для новой Шанхайской башни, архитекторы установили огромный, настроенный массовый демпфер на верхних этажах, где колебания наиболее быстрые и широкие, соединили его с магнитной системой, чтобы создать первый в истории вихретоковый демпфер, уменьшающих изгиб (рис. 5 г). Он состоит из медной пластины площадью 1076 квадратных футов, покрытой 125 мощными магнитами, установленными под подвесным демпфером. Когда здание раскачивается, железный груз массой 1000 тонн раскачивается над магнитами, вызывая электрический ток в пластине, который, в свою очередь, создает противоположное магнитное поле, автоматически противодействующее движению груза и дальнейшее усиление его демпфирующего эффекта.

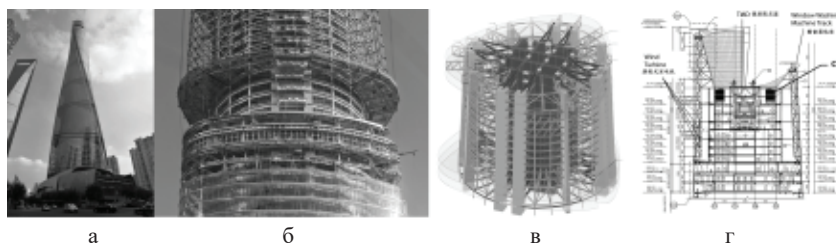


Рис. 5. Шанхайская башня в Китае:

а – внешний вид; б – процесс строительства Шанхайской башни;
в – конструктивная схема; г – демпфер [5] [6] [7]

Таким образом, внедрение современных технологий в строительство является необходимым шагом для повышения безопасности зданий в сейсмоактивных зонах. Это создает условия для защиты жизни и имущества, особенно в странах с высокой сейсмической активностью, таких как Китай.

Список литературы

1. Официальный сайт МЧС России: [https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/3553], (дата обращения: 18.03.2022).
2. Кириков Б.А. «История сейсмостойкости древних сооружений». 2020. Официальный сайт totalarch: [https://science.totalarch.com/book/5709.rar] (дата обращения: 18.03.2022).
3. Официальный сайт archEstudy: [https://archestudy.com/asian-aesthetics-on-skyscraper-taipei-101/] (дата обращения: 18.03.2024).

4. Официальный сайт wikiarquitectura:
[<https://en.wikiarquitectura.com/building/taipei-101/>] (дата обращения: 18.03.2024).
5. Официальный сайт архитектурного бюро «Gensler»:
[https://www.gensler.com/uploads/document/242/file/Shanghai_Tower_Facade_Design_Process_11_10_2011.pdf] (дата обращения: 18.03.2024).
6. Официальный сайт ResearchGate:
[https://www.researchgate.net/publication/260328773_Seismic_analysis_of_the_hung_curtain_wall_structure_in_Shanghai_Center_Tower] (дата обращения: 18.03.2024).
7. Официальный сайт ArchDaily:
[<https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler>] (дата обращения: 18.03.2024).

СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОПЫТ МИРОВЫХ ПРАКТИК

EARTHQUAKE-RESISTANT CONSTRUCTION. MODERN TECHNOLOGIES AND GLOBAL BEST PRACTICES

Т.Ж. Турсунбаева, магистрант 1 курса МОК (КазГАСА) Казахская головная архитектурно-строительная академия. Факультет Архитектуры

T.Z. Tursunbayeva, 1st year master's student IEC (KazGASA) Kazakh Head Architectural and Construction Academy. Faculty of Architecture

Аннотация: В статье рассматриваются основные принципы сейсмостойкого проектирования, включая применение гибких материалов, базовой изоляции, демпфирующих устройств и инновационных технологий управления колебаниями. Приводятся примеры успешной реализации сейсмоустойчивых зданий в различных странах, в том числе в Казахстане. Особое внимание уделено влиянию геометрии и формы зданий на их устойчивость, а также опыту использования инженерных решений при проектировании высотных объектов в зонах повышенного сейсмического риска.

Ключевые слова: сейсмостойкое проектирование, устойчивость конструкций, контроль вибрации, изоляция фундамента, демпфирующие устройства, амортизаторы, гибкие материалы, высотные сооружения, международный опыт, Казахстан, зоны повышенной сейсмической опасности, строительные технологии, архитектурный дизайн.

Abstract: This article examines the fundamental principles of earthquake-resistant design, including the application of flexible materials, base isolation, damping devices, and innovative vibration control technologies. It provides examples of successfully implemented seismic-resilient buildings in various countries, including Kazakhstan. Special attention is given to the influence of building geometry and form on their stability, as well as the experience of utilizing engineering solutions in the design of high-rise structures in areas of high seismic risk.

Keywords: Earthquake-resistant design, earthquake resistance, structural stability, vibration control, foundation insulation, damping devices, shock absorbers, flexible materials, high-rise structures, international experience, Kazakhstan, zones of increased seismic hazard, construction technologies, architectural design.

Сейсмическая активность и вызовы современности

Землетрясения остаются одними из наиболее разрушительных природных явлений, оказывающих значительное влияние на безопасность населения и устойчивость инфраструктуры. Регионы с повышенной сейсмической активностью, такие как Япония, Индонезия, Китай, Турция, а также страны Южной Америки, Балканского полуострова, Италия, Греция,

Казахстан и Узбекистан, регулярно сталкиваются с угрозой подземных толчков. Несмотря на высокий уровень риска, в этих странах продолжается активное строительство высотных зданий и крупных инфраструктурных объектов, что требует особого внимания к вопросам сейсмостойкости.

В условиях высокой сейсмической активности в различных регионах мира обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений приобретает особую значимость. Современные инженерные подходы и архитектурные решения, в сочетании с технологическими инновациями, позволяют возводить конструкции, способные выдерживать значительные сейсмические нагрузки. Архитекторы и проектировщики применяют как проверенные временем методы, так и новаторские решения, направленные на повышение устойчивости зданий в условиях землетрясений. Одним из ключевых направлений в этом процессе стало использование гибких конструктивных элементов, способных эффективно поглощать и рассеивать энергию колебаний. К ним относятся амортизационные системы, интегрированные в несущий каркас здания, гибкие связи и узлы, позволяющие конструктивным элементам взаимодействовать при нагрузках, а также базовая изоляция фундамента (рис. 1), которая снижает передачу сейсмической энергии от грунта к надземной части сооружения.

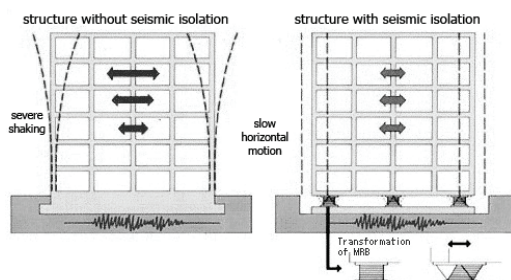


Рис. 1. Базовая изоляция фундамента здания¹⁵

Технологии сейсмостойкого строительства, которые изолируют здание от основы, включают:

- использование технической изоляции дает возможность зданию перемещаться приблизительно на 30 см относительно поверхности земли;
- обеспечение достаточного свободного пространства вокруг здания, что дает возможность отклоняться остову здания от первоначального положения;
- применение для зданий средней этажности, выполненных из камня или кирпича, бетона;
- подходит не для всех видов конструкций зданий: ограниченной способностью справляться с напряжением.

¹⁵ https://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic_rubber/method.html

Базовая изоляция получила широкое распространение в мире. Такая технология снижает уровень деформаций и уменьшает вероятность повреждений, используется в Новой Зеландии, Индии, Японии, Италии, США.

Возможности современных технологий в области сейсмостойкого строительства заключаются в эффективном управлении вибрациями и снижении их амплитуды. Амортизаторы устанавливаются на различных уровнях конструкции, присоединяясь к балкам с одного конца и к колоннам с другого. Эти амортизаторы представляют собой устройства для поглощения колебаний, состоящие из поршня, помещенного в цилиндр и заполненного силиконовым маслом. Под воздействием горизонтальных сил во время землетрясений поршни смещаются, создавая давление на масло в цилиндре. Этот процесс преобразует механическую энергию вибраций в тепловую энергию.

Многие из современных высотных зданий и повышенной этажности по всему миру обладают специальным устройством, которое эффективно сдерживает сильные колебания, вызванные ветром или землетрясениями. Эти устройства, называемые демпферами, интегрируются непосредственно в конструктивную раму здания или сооружения с целью подавления возможных колебаний. Существует много их разновидностей, которые выбирают исходя из принятых конструктивных схем проекта здания по обеспечения сейсмостойкости.



Рис. 2. Сейсмозащитные устройства на мосту через р. Иле в Казахстане.
Амортизатор стержневой на объекте¹⁶

Встроенные демпферы – гасители колебаний в верхних этажах зданий. Примером может служить небоскрёб Тайбэй 101 на Тайване, в котором установлен крупнейший в мире настроенный массовый демпфер – стальной шар массой 660 тонн (рис. 3). Подвешенный на тросах и оснащённый гидравлическими демпферами, он колеблется в противоположном направлении от движения здания, тем самым стабилизируя его и предотвращая критические деформации.

¹⁶ https://stroycomplex-5.ru/bws-gallery/vystavka-vo-vetname-2022#gallery_fancybox_4521-3

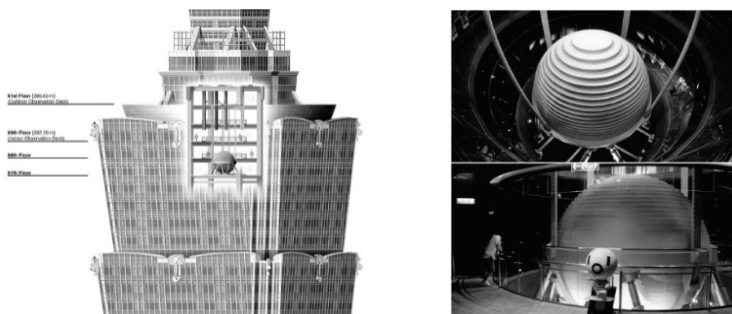


Рис. 3. Встроенный демпфер в тайваньском небоскребе Тайбэй 101¹⁷

Дополнительные системы виброизоляции включают многочастотные успокоители колебаний, межэтажные диафрагмы, консольные демпферы и качающиеся центральные стены, выполняющие функцию ядра жёсткости. Такие конструкции часто дополняются вертикальными стальными тросами и натяжной арматурой, повышающей сопротивление здания растягивающим усилиям и динамическим воздействиям (рис. 4).

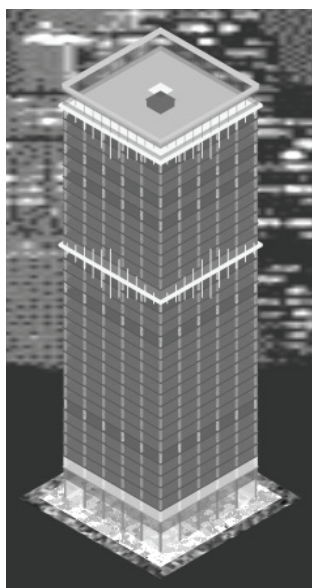


Рис. 4. Высотное здание с многочастотным успокоителем. Модель

¹⁷ <https://amici-in-allegria.blogspot.com/2012/04/il-grattacielo-taipei-101-di-taiwan-e.html?spref=bl>



Рис. 5. Наружная антисейсмическая стальная ферма спального корпуса Университета Беркли¹⁸

При проектировании сейсмостойких зданий особое внимание уделяется архитектурным решениям. Жёсткие соединения пространственного каркаса, симметрия конструкции, стены и диафрагмы жёсткости – всё это направлено на равномерное распределение нагрузок, снижение крутящих моментов и обеспечение пространственной устойчивости (рис. 5). Геометрия здания также оказывает прямое влияние на его поведение в условиях сейсмической нагрузки: пропорции, высотность, распределение массы, центр тяжести и жёсткости, а также динамические характеристики (в том числе собственные частоты и формы колебаний) должны быть учтены на этапе проектирования. В последние годы в архитектуре сейсмостойких объектов активно используются асимметричные формы и адаптивные элементы, выполненные из новых материалов, способных изменять свои характеристики под действием внешних нагрузок.

Принципы проектирования конструктивной структуры сейсмостойких зданий

Жесткие соединения пространственного каркаса здания обеспечивают дополнительную сейсмоустойчивость зданию. Эти конструкции размещаются между стыками здания и позволяют колоннам и балкам изгибаться, в то время как стыки остаются жесткими. Таким образом, здание способно противостоять более сильным землетрясениям, при этом предоставляя проектировщикам свободу расположения строительных элементов.

Стены жесткости. Технология для сейсмостойкого строительства, в рамках которой возводят стены из нескольких монолитных панелей или

¹⁸ <https://unesid.org/blog/aplicaciones-basadas-en-acero-para-zonas-con-riesgo-sismico/>

металлоконструкций. Во время движения здания при землетрясении, они помогают конструкции зданий сохранить свою форму.

Диафрагмы. Для поддержки используют диагональные вертикальные и горизонтальные стальные балки, которые способны поддерживать сжатие и растяжение. Они являются важной частью сейсмостойких конструкций здания. Состоящие из перекрытий здания, крыши и расположенных над ними настилов, они помогают снимать напряжение с пола и передают силы на вертикальные конструкции здания.

Симметричность расположения несущих конструкций. Несимметричное расположение конструкций может создать непредсказуемые для проектных расчетов изгибы и крутящие моменты. Поэтому в зоне сейсмической опасности инженеры проектируют симметричные конструкции. Это позволяет равномерно распределялись силы по строению и сформировать устойчивые формы зданий.

Основные требования к строительству зданий и сооружений в сейсмоопасных зонах



Рис. 6. Схема основных требований к строительству зданий и сооружений в сейсмоопасных зонах

Влияние формообразования на архитектуру сейсмостойких зданий связано с тем, как форма и структура здания могут влиять на его способность сопротивляться сейсмическим нагрузкам. Основные моменты:

- Геометрия здания. Характеристики формы, такие как высота, пропорции и распределение массы, могут существенно влиять на его поведение во время землетрясения. Например, здания с узкими планами могут быть более подвержены вертикальным колебаниям, в то время как здания с широкими планами могут иметь лучшую устойчивость.

- Структурная система. Форма здания также определяет тип и расположение структурных элементов, таких как стены, колонны и балки. Эффективное размещение этих элементов может улучшить сейсмическую устойчивость здания.

- Динамические характеристики. Форма здания влияет на его динамические характеристики, такие как период колебаний и моды формирования. Это может быть критически важным при проектировании зданий с учетом сейсмической активности.

– Инновационные подходы. Новые технологии и инженерные подходы могут позволить создавать здания с нестандартными формами, сохраняя при этом высокий уровень сейсмической устойчивости. Примером может служить использование асимметричных форм и необычных материалов.

В целом, форма здания играет ключевую роль в его сейсмостойкости, и инженеры постоянно ищут новые способы оптимизации формы и структуры для достижения наилучших результатов в области защиты от землетрясений.

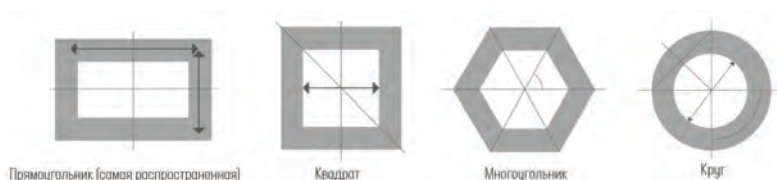


Рис. 7. Геометрические параметры и конфигурация зданий, их влияние на сейсмостойкость. Предпочтительные формы сооружений

Уникальный опыт проектирования в зоне высокой сейсмоактивности в Казахстане

На постсоветском пространстве лидером в разработке сейсмостойкого строительства является Казахстан. Треть территории расположена в сейсмоактивных регионах, а наиболее опасная сейсмическая зона находится в Алматы. Примером успешной реализации принципов сейсмостойкого проектирования служит гостиница «Казахстан» в городе Алматы, Казахстан. Построенная в 1975–1977 годах, она стала первым высотным зданием города и на протяжении десятилетий оставалась самым высоким сооружением в регионе. Здание признано памятником архитектуры и внесено в реестр республиканского значения в 1979 году. Имеет 26 этажей и 102 метра высоты (рис. 8). С 1977 по 2008 гг. отель являлся самым высоким зданием Алматы. Гостиница «Казахстан» стала первым высотным зданием Алматы. Высота появилась благодаря разработке института, где изобрели метод строительства сейсмостойких зданий высотой в 30 этажей в зоне 9-балльных землетрясений. Авторы проекта в 1980 г. были удостоены Государственной премии Казахской ССР им. Ч. Валиханова в области архитектуры. Они впервые в СССР спроектировали здание высотой 102 м. в условиях девятибалльной сейсмической зоны.

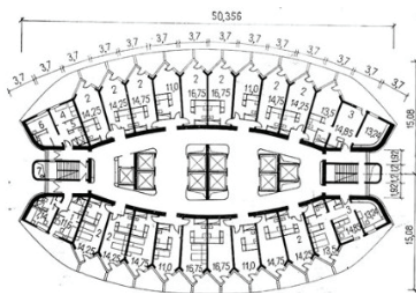
Архитектурное решение фасада гостиницы отличается складчатой рельефной формой, усиливающей не только эстетическую выразительность, но и функциональность – элементы фасада выполняют солнцезащитную роль.

Здание венчает декоративная корона, а элементы стилобата и козырька оформлены анодированным алюминием с характерным золотистым оттен-

ком, что придаёт ему узнаваемость и завершенность. Изначально в проекте не было короны. Она появилась из-за того, что шахта лифта возвышалась над зданием, ее решили прикрыть алюминиевым колпаком. В итоге высота здания составила 102 метра (рис. 9).



а



б

Рис. 8. Гостиница «Казахстан»: а – общий вид; б – план типового этажа¹⁹



а



б

Рис. 9. Гостиница «Казахстан» город Алматы, Казахстан: а – общий вид (современное состояние); б – вид ночью²⁰

Высотный объем гостиницы размещается на двухэтажном стилобате. Его облик решен сочетанием глухих простенков с витражным остеклением и линиями балконов и террас, которые выходят на фасады со второго уровня двухсветного фойе. Парадный вход в гостиницу акцентирован консольным козырьком с высоким фигурным фризом, которые облицованы золоти-

¹⁹ <https://qazaqstan3d.kz/ru/place/photos?id=335>

²⁰ <https://qazaqstan3d.kz/ru/place/photos?id=335>

стым анодированным алюминием. Эта часть здания пережила реконструкцию, сохранив первоначальный облик.

Таким образом, современная практика сейсмостойкого строительства опирается на комплексный подход, сочетающий инженерные инновации, архитектурные принципы и адаптивные материалы. Это позволяет создавать надёжные и безопасные здания даже в условиях высокой сейсмической опасности, обеспечивая устойчивое развитие городов и регионов. Внедрение современных технологий в строительство является необходимым шагом для повышения безопасности зданий в сейсмоактивных зонах. Это создает условия для защиты жизни и имущества, во всех странах с высокой сейсмической активностью.

Список литературы

1. Арутюнян А.Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010, №3. DOI: 10.18720/MSE.13.1.
2. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. - М.: Стройиздат. 1989. 320 с.
3. Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций. Труды института. Вып. 11 (21). Алма-Ата 1979. 247 с.
4. Броновицкая А., Малинин Н.: Алма-Ата: архитектура советского модернизма 1955-1991. Москва: Garage, 2017. – 328 с.
5. Абаканов Т., Садыров Р.К., Абаканов А.Т., Алмабекова С.М., Шайдулла М. Учебное пособие по расчету каркасных систем на сейсмические воздействия. – Алматы: КазГАСА, 2019. – 150 с.
6. Li, S., Zhang, J., Guo, Q. Обзор принципов и методов сейсмического проектирования современного строительного инжиниринга // International Journal of Civil Engineering. – 2023. – Т. 9(12). – С. 28. [Электронный ресурс]
URL:[https://www.airitilibrary.com/Common/Click_Doi?DOI=10.6919%2FICJE.202312_9\(12\).0028](https://www.airitilibrary.com/Common/Click_Doi?DOI=10.6919%2FICJE.202312_9(12).0028) (дата обращения: 28.02.2024).
7. Kumar, M., et al. (б.д.). Поведение пассивной системы демпфирования в высотных зданиях. International Journal of Engineering Research & Technology. [Электронный ресурс] <https://www.ijert.org/research/the-behaviour-of-passive-damping-system-in-tall-buildings-IJERTCONV10IS06063.pdf> (дата обращения: 28.02.2024).

АРХИТЕКТУРА, НАПРАВЛЕННАЯ НА ЛИКВИДАЦИЮ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ

УДК 725

ОБЩЕСТВЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВА И ОБЪЕКТЫ В КОНТЕКСТЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

PUBLIC SPACES AND FACILITIES IN THE CONTEXT OF RECOVERY AFTER EMERGENCIES

Ю.И. Евдокимова, студентка 3 курса

Д.Д. Попова, канд. архитектуры, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

J.I. Evdokimova, 3rd year student

D.D. Popova, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье сделан обзор общественных объектов и пространств, созданных в условиях восстановления после чрезвычайных ситуаций. Рассматриваются реализованные и нереализованные объекты. Представлен опыт Иордании, Японии, Италии, Новой Зеландии.

Ключевые слова: экстремальная среда, общественные объекты, чрезвычайные ситуации, Шигеру Бан.

Abstract. The article provides an overview of public facilities and spaces created in the context of recovery from emergencies. Implemented and unrealized facilities are considered. The experience of Jordan, Japan, Italy, and New Zealand is presented.

Keywords: extreme environment, public facilities, emergency situations, Shigeru Ban.

Первоочередной задачей после чрезвычайной ситуации является обеспечение людей в жилье. Но постепенно актуализируется потребность в общественных объектах и пространствах – местах для встреч, общения, отдыха, учебы, развлечений, проведения культурных и спортивных мероприятий. Здесь люди могут собираться и вместе обсуждать проекты по восстановлению своих домов и городов, обучать детей, вместе принимать пищу и т.д. Общественные пространства и объекты играют важную роль в укреплении сообществ и улучшении качества жизни людей после катастроф.

Далее будут рассмотрены шесть примеров общественных пространств и объектов (реализованных и концептуальных), спроектированных для возведения в условиях восстановления после чрезвычайных ситуаций.

«Классные комнаты» в Заатари, Иордания

Строительство велось в 2017 году архитекторами группы Emergency Architecture & Human Rights (Дж. Лобос, М. Ди Марко, М. Бо Рубино, А. Маджоло) (рис. 1).

Война в Сирии привела к тому, что миллионы людей были вынуждены покинуть свои дома и мигрировать в другие страны. Среди них дети, которые, к сожалению, не могли получать образования из-за нехватки школ. Отвечая на эту проблему, волонтерская компания Emergency Architecture & Human Rights (EAHR) предложила строить школы из мешков с песком – по технологии superadobe иранского архитектора Надера Халили (дословно – «суперсаманная архитектура», в ее основе лежит идея использования природных материалов).

Проект «классных комнат» разработан для деревни Заатари (Иордания), расположенной недалеко от лагеря беженцев Заатари, всего в 10 километрах от сирийской границы. В настоящее время в Заатари проживает 15 000 сирийцев и 13 000 иорданцев, большинство из которых не зарегистрированы и, следовательно, не имеют доступа к социальному обеспечению, санитарным условиям и образованию. В рамках волонтерского проекта дети будут посещать школу утром, а по вечерам взрослые смогут там учиться читать и писать.

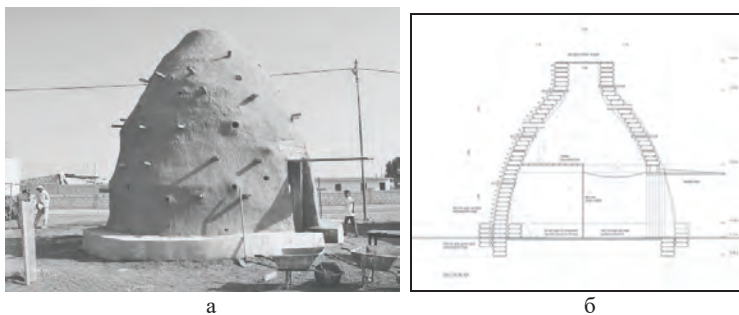


Рис. 1. «Классные комнаты». Emergency Architecture & Human Rights. 2017 г.: а – общий вид; б – разрез [3]

Площадь одной «классной комнаты» составляет 28 м². Строительство не требует особых усилий и участвовать могут непрофессиональные рабочие. «Классная комната» обладает более высокой теплоизоляцией по срав-

нению с палатками, сооружениями из цементных блоков и гофрированных металлических листов. По сравнению со зданием из цементных блоков такого же размера, строительство по технологии superadobe обходится вдвое дешевле [3].

Быстровозводимые религиозные объекты. Концепция

Студенты Лукас Бойд и Чед Гринли из Йельского университета разработали проекты быстровозводимых церквей, синагог и мечетей для беженцев, которые спасаются от конфликта. Они считают, что эти объекты имеют фундаментальное значение не только для отдельных людей, но и для сообществ – это основа человечности и сохранения культуры. Бойд и Гринли разработали концепции минималистичных, но легко узнаваемых религиозных объектов (рис. 2).

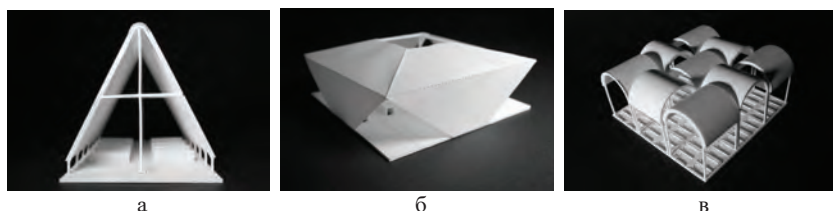


Рис. 2. Быстровозводимые религиозные объекты. Лукас Бойд и Чед Гринли. 2016 г., макеты:
а – часовня; б – синагога; в – мечеть [5]

Архитекторы Бойд и Гринли представляют сооружения как «конструкторы» с инструкцией для самостоятельной сборки и универсального применения [5].

«Бумажный купол» в Такатори, Япония

В январе 1995 года Японию потрясло мощное землетрясение Хансин-Авадзи, при котором в Кобе, эпицентре катастрофы, было разрушено 60 % всех зданий, включая католическую церковь Такатори.

Однако статуя Иисуса осталась невредимой. Местные жители восприняли этот факт как чудо и решили восстановить церковь как можно скорее. Для строительства временной церкви был приглашен японский архитектор Шигеру Бан.

Архитектор создал конструкцию в форме эллипса в плане из 58 картонных труб диаметром 33 см и толщиной около 1,5 см. Купол был построен как временное сооружение, предназначенное для легкого демонтажа (рис. 3). Каждая труба была покрыта водостойким материалом, разработанным в городе Пули. Они имеют вес около 60 кг, и выдерживают нагрузку до 1500 кг каждая, а более высокие опоры способны выдержать до 6900 кг.

На возведение сооружения ушло пять недель, с участием 160 добровольцев. Получившаяся временная церковь была названа «Бумажный купол» (Paper Dome) и стала новым религиозным центром, а также служила местом встречи для местного сообщества.

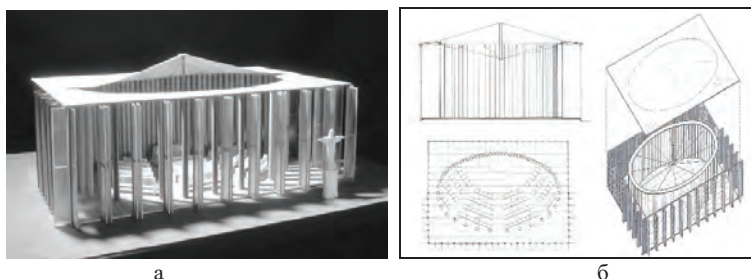


Рис. 3. «Бумажный купол». Шигеру Бан. 1995 г.:
а – общий вид; б – разрез, план и взрыв-схема. [7]

Однако, спустя 10 лет стало очевидно, что здание было слишком маленьким, и его заменили новой постоянной церковью. Изначально планировалось демонтировать «бумажный купол», но в 2006 году разобранная конструкция была отправлена на Тайвань, где ее восстановили, и теперь она является туристической достопримечательностью [1, 7].

Центр Amatrice в Аматриче, Италия

В августе 2016 года в центральной Италии произошло сильное землетрясение, магнитудой 6,2. Это стихийное бедствие привело к гибели почти 300 человек и разрушению исторической архитектуры. Особенно пострадал городок Аматриче, расположенный на холмах в Аппенинах Лацио.

Вскоре после этой катастрофы начались работы по восстановлению при участии нескольких известных архитекторов Италии, включая Ренцо Пьяно и Стефано Боэри. Благодаря пожертвованиям из разных частей Италии и самим архитекторам стало возможным возродить этот город.

Проект Amatrice, разработанный Стефано Боэри, состоит из комплекса зданий (школьной столовой и восьми ресторанов) общей площадью 8000 квадратных метров (рис. 4). Многофункциональная площадь в центре комплекса предназначена для встреч, а также предоставления различных услуг местным жителям.

В проекте использовалась древесина – устойчивый, легкий строительный материал. Ожидается, что благодаря проекту гастрономического комплекса будут созданы 100 рабочих мест – это поможет сохранить одно из наиболее значимых направлений экономики, восстановить местную туристическую отрасль, которая всегда была важным источником дохода. Рестораны имеют разные размеры: от 85 до 500 квадратных метров. Каждое зда-

ние решено в легких конструкциях из стали и дерева, чтобы разместить столики на открытом воздухе в теплое время года. Проект также предусматривает внутреннюю отделку, кухни и обслуживающие зоны, спроектированные с учетом модульности и легкой сборки, а дизайн залов для обеда разных, чтобы создать уникальность и индивидуальность для каждого ресторана.



Рис. 4. Центр Amatrice. Стефано Боэри. 2016 г.:
а – вид сверху; б – генплан; в – план столовой [4]

Первый объект комплекса, столовая, рассчитана на 150 посадочных мест и состоит из одного этажа с тремя полностью застекленными стенами и большой наклонной крышей, с которой открывается вид на Монти-Делла-Лага. Кроме столовой, в здании также находятся кухня, подготовительные и складские помещения, санузлы, раздевалки и другие технические помещения. Новая столовая была построена всего за несколько недель [4].

«Дом для всех» в Соме, Япония

Проект компании Klein Dytham Architecture «Дом для всех» (рис. 5) был завершен в городе Соме, Япония 14 февраля 2015 года. Он был разработан в рамках концепции «Дом для всех», которая была предложена после землетрясения и цунами в Тохоку 11 марта 2011 года. Цель проекта заключалась в создании небольших общественных объектов в самом центре временных поселений, которые были построены взамен 250 000 разрушенных домов.



Рис. 5. «Дом для всех». Klein Dytham Architecture. 2015.:
а – общий вид, вид со стороны главного входа; б – разрез [

Одной из особенностей этого проекта является создание игрового пространства для маленьких детей. В связи с опасностью, связанной с фоновым уровнем радиации из-за аварий на АЭС «Фукусима», дети больше не могли проводить длительное время на свежем воздухе. Поэтому здание было спроектировано таким образом, чтобы создать ощущение игры в лесу. Круглое в плане здание имеет изогнутую деревянную «решетчатую» крышу, напоминающую большую соломенную шляпу. Она поддерживается колоннами в форме дерева, которые изготовлены из перекрестноклеенной древесины (CLT).

Для придания достаточной прочности в конструкции крыши было использовано девять слоев деревянных планок, длиной 20 метров. Слои планок укладываются поверх опалубки по одному слою, каждый последующий слой поворачивается на 120 градусов. По направлению к карнизу здания слои планок уменьшаются, что создает очень элегантную и легкую консоль.

Фасад здания выполнен из дерева и раскрашен в красные, розовые и белые полосы. Это придает зданию яркий и привлекательный внешний вид.

Площадь объекта составляет 152 м². В его структуру входят большое пространство для игр с колоннами в виде деревьев, вспомогательные помещения и зона кухни.

Реализация проекта стала возможна благодаря пожертвованиям и щедрой поддержке многих поставщиков строительных материалов и оборудования. Все профессиональные услуги для проекта были предоставлены безвозмездно. Проект «Дом для всех» был признан лучшим новым объектом культуры на Всемирном Архитектурном Фестивале 2015 года [6].

Картонный собор в Крайстчерче, Новая Зеландия

Второй по величине город Новой Зеландии, Крайстчерч, пережил разрушительное землетрясение в 2011 году, магнитудой 6,3 балла. После этого стихийного бедствия исторический центр города был почти полностью разрушен, включая кафедральный собор. В марте 2012 года городская администрация признала невозможность восстановления собора, и вместо этого был запланирован проект временного сооружения – собора из картонных трубок, предложенный известным архитектором Шигеру Баном. Вначале предполагалось, что этот «картонный» собор будет функционировать в течение 15 лет. Однако, после его открытия для прихожан, местные власти заявили, что он будет использоваться в течение около 50 лет, пока приход не построит новый каменный храм.

Сравнивая разрушенный и вновь построенный объекты, можно заметить, что в образе прослеживается преемственность: силуэт нового собора был упрощен, но он все равно сохраняет память о разрушенном соборе.

Этот собор является выразительным ориентиром в городе благодаря своему А-образному силуэту. Строительными конструкциями для этого сооружения являются 98 труб из прессованного картона, диаметр которых

немного больше 60 сантиметров. Высота собора составляет 24 метра (рис. 6).

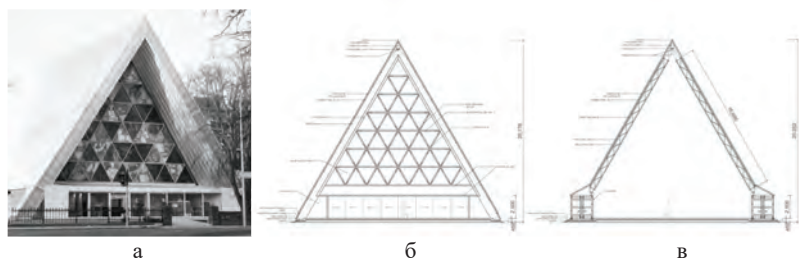


Рис. 6. Картонный собор. Шигеру Бан. 2012 г.:
а – главный фасад; б – разрез; в – разрез [2]

Несмотря на то, что это временное сооружение, собор из картонных трубок в Крайстчерче стал символом надежды и возрождения для местных жителей. Он является ярким примером того, как инновационные и экологичные материалы могут быть использованы для создания временных, но функциональных и впечатляющих архитектурных сооружений. Этот проект демонстрирует умение известного архитектора адаптироваться к сложным условиям и создавать уникальные решения, которые вдохновляют общество. Новая временная постройка стала центром местной культурной и религиозной жизни.

Главным украшением собора стал треугольный витраж, размещенный над входом (рис. 6 а). Витраж состоит из треугольных секций цветного стекла, на которые нанесены фрагменты рисунков, знакомых прихожанам по окнам разрушенного храма.

Для обеспечения прочности трубам были добавлены «стержни» из бруса, а конек кровли был выполнен из стальных элементов. Внешняя сторона кровли украшена листами поликарбоната молочного оттенка, которые пропускают мягкий рассеянный свет внутрь сооружения. В качестве несущих стен (опор) были использованы грузовые контейнеры, что не только упростило процесс монтажа, но и оптимизировало внутреннюю планировку собора.

Картонный собор может вместить до 700 человек.

Впечатляющая часть мебели и утвари внутри собора также выполнена из картонных труб, и их автором является также Шигеру Бан [2].

Включение общественных пространств и объектов в проекты восстановления может привести к созданию более безопасной, устойчивой и инклюзивной среды для жизни и развития общества. На примере шести рассмотренных архитектурных проектов видно, что назначение, характер, типы, капитальность и долговечность, используемые конструкции материалы объектов могут быть совершенно разными. Предпочтение отдается быстровозводимым конструкциям. Как процесс строительства, так и его результат

– архитектурный объект, создают условия и среду для развития социального взаимодействия, столь важного в сложный период восстановления после чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

1. Бумажные дома Шигеру Бана. - URL: <https://archi.ru/press/world/33639/bumazhnye-doma-shigeru-bana> (дата обращения: 14.03.2024).
2. Временная замена на полвека- URL: <https://archi.ru/world/54234/vremennaya-zamena> (дата обращения: 14.03.2024).
3. 100 Classrooms for Refugee Children / Emergency Architecture & Human Rights. - URL: <https://www.archdaily.com/880676/100-classrooms-for-refugee-children-emergency-architecture-and-human-rights> (дата обращения: 14.03.2024).
4. A “Christmas Tale of a Post-Quake Reconstruction”: Stefano Boeri Architetti’s Community Rebuilding in Amatrice. - URL: <https://www.archdaily.com/885925/a-christmas-tale-of-a-post-quake-reconstruction-stefano-boeri-architettis-community-rebuilding-in-amatrice> (дата обращения: 14.03.2024).
5. Yale Students Propose a Series of Pop-Up Religious Buildings to Sustain Culture in Refugee Camps - URL: <https://www.archdaily.com/789047/yale-students-propose-a-series-of-pop-up-religious-buildings-to-sustain-culture-in-refugee-camps> (дата обращения: 14.03.2024).
6. Soma City HOME-FOR-ALL / Toyo Ito & Associates + Klein Dytham architecture - URL: <https://www.archdaily.com/880676/100-classrooms-for-refugee-children-emergency-architecture-and-human-rights> (дата обращения: 14.03.2024).
7. Shigeru Ban Architects: Paper Church – Kobe- URL: <https://shigeruban.net/?p=932> (дата обращения: 14.03.2024).

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ СРЕДЫ ДЛЯ ЖИЗНИ ПОСЛЕ КАТАСТРОФ –
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ РЕСУРСОВ**

**RESTORATION OF LIVING ENVIRONMENT AFTER DISASTERS –
USING LOCAL RESOURCES**

Д.В. Федина, студентка 3 курса

Д.Д. Попова, канд. архитектуры, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

D.V. Fedina, 3rd year student

D.D. Popova, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены различные примеры организации среды для жизни и строительства новых объектов в контексте восстановления после катастроф – в Индии, на Гаити, в Пакистане, Нигерии. В результате возникает экологичная архитектура, где используются местные материалы и ресурсы.

Ключевые слова: быстровозводимые конструкции, экологичная архитектура.

Abstract. The article discusses various examples of organizing living environments and building new facilities in the context of post-disaster reconstruction in India, Haiti, Pakistan, Nigeria. The result is a green architecture that utilizes local materials and resources.

Keywords: prefabricated structures, eco-friendly architecture.

Одной из первостепенных задач после катастроф является восстановление инфраструктуры, жилых домов и других объектов. Строительство после стихийного бедствия отличается ограниченностью ресурсов и крайней срочностью.

В этой ситуации, когда среда меняется резко или организуется фактически с нуля, возникает проблема появления архитектурных объектов, которые чужды контексту и противоречат процессам устойчивого восстановления. Для предупреждения такой проблемы необходимо признать существующий потенциал, которым обладают сообщества, включая знания, навыки, местные материалы, и извлечь из него пользу.

Идея использования местных материалов для восстановления городов имеет множество преимуществ: снижение стоимости восстановления и затрат на доставку, также развитие местной экономики благодаря участию местных предприятий и рабочей силы.

Еще одно преимущество – это устойчивость такого подхода и, как одна из составляющих, экологичность. Часто, при использовании традиционных строительных материалов, происходит деградация окружающей среды – например, вследствие транспортировки, которая вносит вклад в увеличение углеродного следа или в результате непосредственного производства строительных изделий. Восстановление домов может быть осуществлено с использованием перерабатываемых строительных материалов.

Проблеме восстановления после катастроф посвящена статья «Надежное убежище» Кэти Лэнг Хо, опубликованная в журнале «Архитектура» в ноябре 2002 г. Автор публикации отмечает, что оставшихся без жилья в результате природных, экономических или политических катастроф людей, насчитывается около 20 млн – это каждый трехсотый человек в мире [2].

Для подтверждения актуальности проблемы приведем слова из заявления ООН 2020 г.: «...изменение климата во многом является причиной почти удвоения количества стихийных бедствий за последние 20 лет. За последние 50 лет количество зарегистрированных бедствий увеличилось в пять раз, отчасти благодаря изменению климата. В отчете, координируемом Всемирной метеорологической организацией, отмечалось, что только в 2018 году штормы, наводнения, засухи и лесные пожары вынудили 108 миллионов человек обратиться за помощью к международной гуманитарной системе. По оценкам, к 2030 году это число может увеличиться почти на 50%»¹. Данные показали, что Азия пострадала от наибольшего количества бедствий за последние 20 лет (3068), за ней следуют Америка с 1756 и Африка с 1192².

Далее будет рассмотрено несколько примеров того, как в разных странах были использованы местные материалы при восстановлении среды обитания человека.

Восстановление после наводнения в Бармере, Индия

В августе 2006 года сильные дожди затопили районы Бармера в Индии, пострадавшие от засухи. За три дня в округе выпало 577 мм осадков, что на 300 мм больше, чем среднее количество осадков за год. Пострадало около 100 деревень в округе. Почти 50 000 человек лишились своих домов. А уцелевшие дома стали непригодными для жилья.

Но даже на развалинах после катастрофы у людей всегда есть на что опираться, из чего строить, и самое главное в этом – их знания. Соответствующая адаптация и техническая модернизация традиционных методов в строительстве может стать актуальным ответом на необходимость восстановления среды в современных условиях.

В то время как глинобитное строительство является традиционным для многих народов, в последние десятилетия приоритет получило строитель-

¹ URL: <https://hightech.fm/2020/10/13/climate-disasters> (дата обращения: 15.03.2024).

² Там же.

ство из кирпича и раствора с железобетонными элементами – как в городских, так и в сельских районах. В рассматриваемой технологии восстановления жилья после наводнения в Бармере учитываются традиции и современные тенденции.

Поскольку первоначальные дхани (традиционный тип жилья, рис. 1) были построены в основном из глины, многие из них были смыты быстро текущими паводковыми водами или серьезно повреждены в результате длительного затопления.

Семейное жилище, называемое на местном языке дхани, состоит из четырех-пяти круглых строений, окруженных низкой стеной. Каждое строение используется для разных целей, таких как сон, хранение, приготовление пищи или повседневные занятия. Группа дхани представляет собой деревню.



Рис. 1. Дхани:
а – старые дома; б – новые дома [4]

Старые дома сделаны из глины, круглые в плане и имеют соломенные крыши. Новые дома также имеют соломенную крышу, сделаны из блоков из смеси сырой земли и стабилизатора из 5 % цемента (или извести) под давлением 20–40 кг/см с помощью ручного пресса или гидравлической машины.

Большие объемы производства блоков могут быть достигнуты только с помощью гидравлики. Например, в то время как ручной пресс может производить 200 блоков в день, гидравлический станок может производить 3500 блоков за это же время. Для управления ручной и гидравлической машиной требуется одинаковое количество человек – от 6 до 10. В обеих системах требуется один квалифицированный рабочий, а остальные могут иметь более низкую квалификацию. Рабочие обучаются в течение одной недели прямо на строительной площадке. После уплотнения земляные блоки сушат на солнце.

Пример восстановления после наводнения в Бармере подчеркивает преимущества изучения местных традиций и знаний людей [6].

«Суперсаманная архитектура» (SuperAdobe) от Надера Халили

SuperAdobe переводится как «суперсаманная» архитектура и отсылает к традиционному строительному материалу саману, который состоит из глинистого грунта, соломы и песка.

Автором технологии и названия Superadobe стал иранский архитектор Надер Халили. После нескольких лет практики в строительстве глиняных домов, Халили отправился в Калифорнию, чтобы основать компанию Cal-Earth.

«Суперсаманная» система была разработана архитектором для возведения лунных колоний по заказу NASA в 1984 г. Но его планам суждено было сбыться на Земле. Стандартные мешки для песка из полипропилена от 36 до 46 сантиметров в диаметре заполняются грунтом, песком или глиной, заворачиваются в круглую или спиралевидную форму (рис. 2). Колючая проволока укладывается между слоями и работает подобно известковому раствору в кирпичной кладке. Могут быть добавлены стабилизаторы, такие как цемент, известь или асфальтовая эмульсия.

Проекты зданий варьируются от небольшого аварийного убежища для одного человека, которое может быть построено за день для формирования временных деревень, до дома с 3 спальнями и гаражом на 2 машины, все они построены по одним и тем же принципам.

Строительную систему SuperAdobe можно использовать для возведения арок, куполов, сводов или обычных прямолинейных форм. Одним и тем же методом можно возводить бункеры, элементы ландшафтного дизайна или инфраструктуры, такие как плотины, цистерны, дороги, мосты, а также для стабилизации береговых линий и водотоков. Подробная инструкция возведения различных сооружений скачивается на сайте Cal-Earth.



а



б

Рис. 2. Технология «суперсаманной» системы:
а – первые этапы установки дома; б – завершение строительства [1]

Один дом шириной около 18 м может быть возведен в течение дня семьей из четырех человек. Он может просуществовать десятилетия, если в почвенную смесь добавить цемент или покрыть внешнюю поверхность стен слоем штукатурки.

Нагрузки, которые выдерживает дом, превышают вдвое показатели обычного дома со скатной кровлей.

Кампус CalEarth в Гесперии, штат Калифорния, является центром исследований, разработок и образования с 1991 года. «Водная деревня» – это первая из двух деревень экспериментального жилья в кампусе CalEarth (рис. 3). Каждый купол в деревне имеет аутентичный дизайн, демонстрирующий универсальность технологии SuperAdobe. Купола, ландшафтный дизайн пруда и даже пол во внутреннем дворе сделаны из стабилизированной земли с участка. Деревня – это живой исследовательский инструмент, где на протяжении многих лет отслеживается воздействие солнца, ветра, воды, заморозков, жары.



Рис. 3. Водная деревня, Гесперия, штат Калифорния [1]

После разрушительного землетрясения на Гаити в 2010 году компания CalEarth была приглашена в исследовательскую поездку для разработки возможной альтернативы временному жилью для людей, которые потеряли свои дома и жили в палаточных поселках. Поговорив со многими семьями, живущими в этих лагерях, была разработана структура жилья, основанная на их запросах. Это сооружение включает в себя 3-х-метровый главный купол с 3 небольшими апсидами, одна из которых предназначена для спального уголка, одна – для варочной поверхности и одна – для хранения. Оно также включает в себя печь rocket, дверь, сделанную из поддонов, и небольшие оконные проемы с использованием труб из ПВХ. Этот опыт показывает, что архитектура CalEarth легко выдерживает запросы географии и местного населения.

Использование местного материала оказалось логически правильным: такие дома, созвучные культурному и природному контексту, помогают беженцам снять психологическую травму, полученную в результате потери собственного дома. Так как беженцы хотят жить в том, что напоминает их собственные дома [3].

Социальная архитектура Ясмин Лари, Пакистан

Первая женщина, начавшая официально работать как архитектор в Пакистане, Ясмин Лари получила заслуженное упоминание за некоторые из 36 000 домов, которые она помогла построить для жертв наводнений и землетрясений в Пакистане с 2010 года. Ее карьера началась с крупных современных комплексов, например, для государственной нефтяной компании. Но позже Ясмин Лари сосредоточилась на проектировании жилья для обездоленных общин, используя традиционные методы строительства. Ее сооружения из земли, извести и бамбука гораздо лучше приспособлены для выживания в любых условиях, чем современные бетонные конструкции, которые возводятся в других частях региона.

Лари работала с компаниями Architecture for Humanity, Nokia и Швейцарско-пакистанским обществом и построила около 2000 устойчивых приютов, 36 000 домов для пострадавших от наводнения 2010 года в Пакистане. Вместе со своим мужем в 1980 году основала некоммерческий гуманитарный фонд «Наследие».

С момента официального ухода в 2000 году из своей архитектурной практики, Ясмин Лари посвятила свое время сохранению архитектурного наследия, став национальным советником ЮНЕСКО по расширению прав и возможностей маргинализированных сообществ. В 2005 году в Пакистане произошло землетрясение магнитудой 7,8, имевшее разрушительные последствия. Это побудило Лари использовать свой опыт, чтобы помочь пострадавшим общинам восстановить свои деревни. Используя местные технологии и материалы, такие как грунт, леска, камень и дерево, Лари и команда волонтеров обучили местных жителей строить более качественные и безопасные сооружения – Лари участвовала в разработке системы бамбуковых укрытий. Полученные в результате здания не только экономичны, но и экологичны, устойчивы к землетрясениям и наводнениям. К 2014 году в районах, пострадавших от стихийных бедствий, было построено более 40 000 убежищ с нулевым выбросом углерода (рис. 4).

В 2022 году из-за сильных наводнений треть Пакистана оказалась под водой, эти наводнения были одними из самых сильных в истории Пакистана, в результате которых 33 миллиона человек лишились своих домов и был нанесен ущерб на сумму 30 миллиардов долларов. Цель программы, которая стартовала в сентябре 2022 года, – построить миллион новых домов к 2024 году.

Вместо того, чтобы строить из бетона или стали, что стало нормой в Пакистане, используются народные техники и материалы, основанные на

«древней мудрости и методах» по словам Лари. Конструкции изготавливаются из местной земли, известковой штукатурки и бамбука и могут быть построены вручную.



Рис. 4. Приюты с нулевым выбросом углерода [7]

Этот подход является частью того, что пакистанский архитектор называет «социальной архитектурой босиком» (barefoot social architecture), которая опирается на принципы нулевого выброса углерода, самостоятельного строительства, поддержки бедных и маргинализированных сообществ.

В 2023 году Лари была награждена Золотой медалью RIBA в знак признания того, чего она уже достигла благодаря этой форме архитектурной практики [10].

Плавучая школа в нигерийской лагуне от архитектурной студии NLE

NLE, студия, основанная архитектором нигерийского происхождения Кунле Адейеми, разработала плавучую школу Makoko в качестве прототипа для строительства в африканских регионах, где практически нет постоянной инфраструктуры из-за непредсказуемого уровня воды, вызывающего регулярные наводнения. Более 100 000 человек живут в домах на сваях. До этого в сообществе была только одна англоязычная начальная школа, которая регулярно оказывалась под водой.

Компания NLE разработала конструкцию, которая может вместить до 100 человек даже в плохих погодных условиях (рис. 5). В основном она используется как школа, но также может функционировать как место для проведения мероприятий, клиника или рынок, в зависимости от потребностей сообщества.

Построенная командой местных жителей, конструкция была собрана с использованием деревянных обрезков с близлежащей лесопилки и местного бамбука.

Здание имеет треугольный профиль, три этажа. «Это идеальная форма для плавучего объекта на воде из-за относительно низкого центра тяжести,

который обеспечивает устойчивость и равновесие даже при сильном ветре», – говорят архитекторы.

Плавучее здание состоит из 16 деревянных модулей, в каждом из которых по 16 переработанных пустых пластиковых бочек, в изобилии встречающиеся в Лагосе – портовом городе на юго-западе Нигерии. Модули были собраны прямо на воде.

Сооружение адаптируется к изменяющемуся уровню воды, что делает его неуязвимым для наводнений и штормовых приливов. Оно предназначено для использования возобновляемых источников энергии, переработки органических отходов и сбора дождевой воды.

На нижнем уровне находится игровая площадка, пространство на среднем этаже вмещает до четырех классных комнат, а на верхнем уровне находится мастерская для небольших групп. Лестница соединяет три уровня.

Строительство началось в сентябре 2012 года с создания плавучих макетов и тестирования. После сборки плавучего фундамента последовало строительство А-образного каркаса, которое было завершено к марту 2013 года.

Плавучая школа Макоко теперь регулярно используется сообществом в качестве социального, культурного и экономического центра.



Рис. 5. Плавучая школа Макоко:
а – вид с воды; б – поперечный разрез [9]

В заключение отметим, что местные традиции и строительные технологии представляют собой мощный ресурс для экологичного восстановления городов, а вместе с тем – сохранения уклада жизни и культуры местных жителей после катастроф. Важно, что использование местных ресурсов и традиционных методов строительства (либо отчасти модернизированных) предполагает участие людей в процессе восстановления, что укрепляет сообщества и способствует их устойчивому развитию. В статье был рассмотрен опыт Индии, Гаити, Пакистана, Нигерии – авторские технологии, разработанные архитекторами Н. Халили, Я. Лари и студией NLÉ. Успешная реализация этих объектов говорит о перспективности идеи использования традиций и строительного опыта в организации жизни после чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

1. CalEarth Superadobe Structures // calearth. URL:<https://calearth.org/blogs/superadobe-at-calearth> [официальный сайт]. (дата обращения: 26.02.2024).
2. Архитектура катастроф // арху . [официальный сайт]. URL: https://www.apxu.ru/article/caman/cmi/arkhitektura_katastrof.htm (дата обращения: 22.02.2024).
3. This Organization Is Building Sustainable Homes Out of “SuperAdobe” // apartmenttherap. [официальный сайт]. URL: <https://www.apartmenttherapy.com/calearth-institute-superadobe-37247880> (дата обращения: 12.03.2024).
4. Rebuilding After Disaster: People, Processes, and Five Percent Technology // ebrary [официальный сайт]. URL: https://ebrary.net/208250/sociology/rebuilding_disaster_people_processes_percent_technology?ysclid=ltprofze9oo554354866 (дата обращения: 12.03.2024).
5. Creation from Catastrophe review – architectural vision from the ashes // theguardian: [официальный сайт]. URL:<https://www.theguardian.com/artanddesign/2016/jan/27/creation-from-catastrophe-review-architectural-vision-from-the-ashes> (дата обращения: 12.03.2024).
6. Yasmeen Lari: ‘On the road to self-reliance’ // ALJAZEERA : [официальный сайт]. URL: <https://www.aljazeera.com/program/rebel-architecture/2014/8/12/yasmeen-lari-on-the-road-to-self-reliance> (дата обращения: 12.03.2024).
7. Barefoot Social Architecture: 10 Projects by Yasmeen Lari, the 2023 RIBA Royal Gold Medal Winner // ArchDaily: [official web-site]. URL:<https://www.archdaily.com/1000417/barefoot-social-architecture-10-projects-by-yasmeen-lari-the-2023-riba-royal-gold-medal-winner> (дата обращения: 12.03.2024).
8. Architects call for radical rethink on rebuilding after disasters // Eco-Business: [официальный сайт]. URL: <https://www.eco-business.com/news/architects-call-for-radical-rethink-on-rebuilding-after-disasters/> (дата обращения: 12.03.2024).
9. NLE's floating school casts anchor in Lagos Lagoon // dezeen.com: [официальный веб. сайт]. URL: <https://www.dezeen.com/2014/03/25/makoko-floating-school-nigeria-nle/> (дата обращения: 15.03.2024).
10. «Босоногая архитектура» // archi.ru: [официальный веб. сайт]. URL: <https://archi.ru/world/98521/bosonogaya-arkhitektura> (дата обращения: 15.03.2024).

**БЫСТРОВОЗВОДИМЫЕ КОНСТРУКЦИИ КАК РЕШЕНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВРЕМЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ
ПОСЛЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ КАТАСТРОФ**

**PREFABRICATED STRUCTURES AS A SOLUTION
OF ORGANIZING TEMPORARY
ACCOMMODATION AFTER NATURAL
AND ANTHROPOGENIC DISASTERS**

А.О. Водолазова, студентка 4 курса

Д.Д. Попова, канд. архитектуры, доцент

Московский государственный академический художественный институт
имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

A.O. Vodolazova, 4th year student

D.D. Popova, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts,
Moscow, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены примеры быстровозводимых конструкций – объектов, модулей, разработанных для использования в условиях чрезвычайных ситуаций. Представлены авторские технологии, реализованные и концептуальные проекты.

Ключевые слова: быстровозводимые конструкции, Шигеру Бан, чрезвычайная ситуация, бумажные трубки.

Abstract. The article examines examples of prefabricated structures – objects, modules, designed for use in emergency situations. Proprietary technologies, implemented and conceptual projects are presented.

Keywords: prefabricated structures, Shigeru Ban, emergency, paper tubes.

Природные и антропогенные катастрофы в короткое время кардинально меняют привычные условия существования человека, среду его обитания. Людей, оказавшихся в чрезвычайном положении, срочно требуется переместить в безопасное место – часто далеко от собственного жилья, обеспечить их базовые потребности. Актуальным становится быстрое возведение простых объектов, способных заменить разрушенные или непригодные для жизни дома.

В этой связи все большее внимание привлекают быстровозводимые конструкции, которые позволяют в короткий срок эффективно организовать временное размещение населения в чрезвычайных ситуациях.

Многие архитекторы откликаются на эту проблему – таким образом, возникает ряд оригинальных объектов и технологий, способных удовлетворить первичные жизненные потребности пострадавших людей.

Одним из архитекторов, профессиональная деятельность которого имеет выраженную социальную направленность, является Шигеру Бан. Он родился в августе 1957 года в Токио. Еще в школе смоделировал свой первый дом, в университете продолжил обучение моделированию из бумаги, бамбука и дерева. В 1995 году Бан основал собственный фонд VAN (Volunteer Architects Network) для реализации гуманитарных проектов по всему миру. В 2017 г. Ш. Бан получил Мемориальную премию Матери Терезы за социальную справедливость в архитектуре. А ранее, в 2014 г., стал обладателем Притцкеровской премии [6]. Шигеру Бана особенно интересуют конструкции, которые можно возвести быстро, используя при этом минимальный бюджет и подручные материалы. В этом он видит свою социальную ответственность как архитектор. Вместе с тем он заботится о психологическом комфорте пострадавших. Архитектор объясняет: «Люди, которые после землетрясения жили в домах из бумажных опор, чувствовали себя в безопасности – они еще хорошо помнили, как рушились их дома из кирпича и бетона, а бумага психологически не вызывает опасений» [3].

Дома из бумажных «бревен». Система Paper Log Houses, арх. Шигеру Бан

Свою первую гуманитарную помощь Шигеру Бан оказал во время конфликта в Руанде в 1994 году. Для беженцев он построил большое количество домиков по авторской технологии Paper Log с картонными трубками в качестве опор. Эти строения отличались низкими капитальными затратами и лёгким процессом возведения (рис. 1).

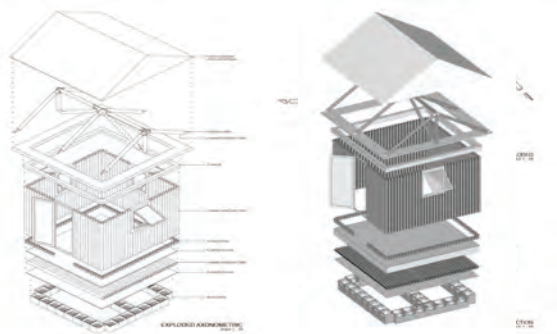


Рис. 1. Технология Paper Log Houses (Ш. Бан)³

³ URL: <https://www.re-thinkingthefuture.com/case-studies/a4922-paper-log-houses-by-shigeru-ban-recyclable-materials-and-architecture/> (date of access: 15.03.2024).

Фундамент состоит из пожертвованных ящиков из-под пива, загруженных мешками с песком. За ним следует слой фанеры для настила. Стены сделаны из бумажных труб диаметром 106 мм и толщиной 4 мм. Мини-атюрные окна обеспечивают сквозную вентиляцию. Крыша каркасная, покрыта непромокаемой тканью. Стоимость материалов для одного дома площадью 52 м² составляет менее 2000 долларов. Дом легко демонтировать, а материалы легко утилизировать или переработать.

Технология Paper Log уже неоднократно была использована по всему миру, при этом были учтены климат, культура, экономика и доступные материалы. Дома по данной технологии строились, например, после землетрясения в Турции и Индии [1].

Данная технология была использована в 1995 году после землетрясения в Кобе (рис. 2). Поскольку вьетнамские беженцы, которые работали на местной обувной фабрике, отказались переезжать, так как хотели остаться рядом с фабрикой, в местном парке были построены так называемые «бревенчатые» дома. Поскольку их конструкция достаточно простая, они могут быть построены неквалифицированными рабочими: восемь местных жителей возводят один дом всего за два дня, если у них есть все необходимые материалы (рис. 3).



Рис. 2. Дома из бумажных «бревен» (Ш. Бан), 1995 г., Кобе, Япония:
а – экстерьер; б – интерьер [11]



Рис. 3. Волонтеры собирают «бревенчатый» дом [11]

Кроме того, инновация Шигеру Бана позволила легко демонтировать эти дома, следовательно, правительству не пришлось тратить большую сумму средств на уборку этого места. Разобранные детали также могут быть переработаны [11].

В 2001 году в Индии строительство по той же технологии Paper Log во многом отличалось от японского (рис. 4). Шигеру Бан доработал ее, так как пришлось адаптироваться к местным ограничениям материалов.



Рис. 4. Индия. Дома из бумажных «бревен» (Ш. Бан), 2001 г., Индия [10]

Ш. Бан построил стены из бумажных трубок, но для фундамента взяли щебень из рухнувшего здания и сделал традиционные глиняные полы. Также была спроектирована оригинальная форма крыши с использованием местного бамбука для создания свода. Поверх бамбуковых ребристых сводов – тростниковая циновка местного производства, вместе с прозрачным пластиковым брезентом для защиты от дождя и резкого ветра. Фронтоны использовались для обеспечения вентиляции, где небольшие отверстия позволяют воздуху циркулировать (рис. 5). Построены данные объекты исключительно благодаря трудам местных жителей [10].

В Непале (2015 г.) Шигеру Бан, сохраняя в качестве основных конструктивных элементов крыши картонные трубы, развивает технологию (рис. 6).

В конструкции стен используются соединительные модульные деревянные рамы (90 см×210 см), утилизированные бутовые кирпичи заполняют каркас, чтобы увеличить прочность несущих конструкций. Ферма из бумажных труб поддерживает крышу (рис. 7). В непальских аварийных укрытиях для соединения труб использовалась клейкая лента.

Было проведено несколько испытаний этой конструкции в одном из японских университетов, чтобы проверить ее сейсмические характеристики и соотнести их со стандартами сейсмостойкости, принятыми в Японии [9]. Результаты показали, что за счет использования деревянного каркаса вся конструкция испытывает меньшую деформацию. Одну деталь усовершенствовали после экспериментов – увеличили предел прочности креплений фанеры на сдвиг (рис. 8).

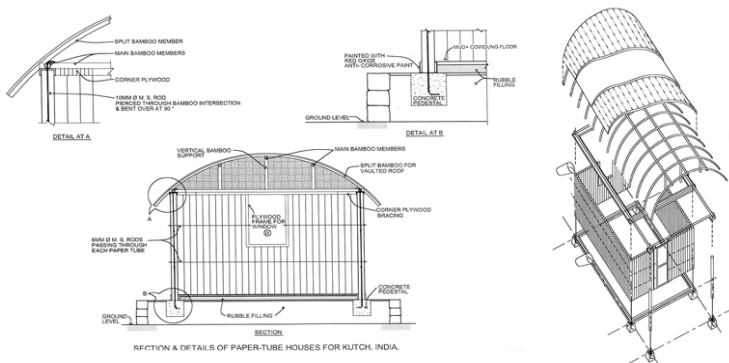


Рис. 5. Новая система Paper Log Houses (Ш. Бан), 2001 г., Индия [10]



Рис. 6. Дом в Непале (Ш. Бан), 2015 г. [9]

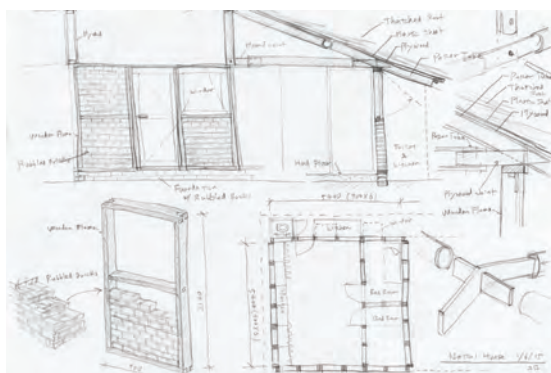


Рис. 7. Наброски и черновые чертежи с планом и соединительными узлами (Ш. Бан)⁴

⁴ URL: https://www.archdaily.com/771059/shigeru-bans-nepalese-emergency-shelters-to-be-built-from-rubble?ad_medium=gallery (date of access: 15.03.2024).

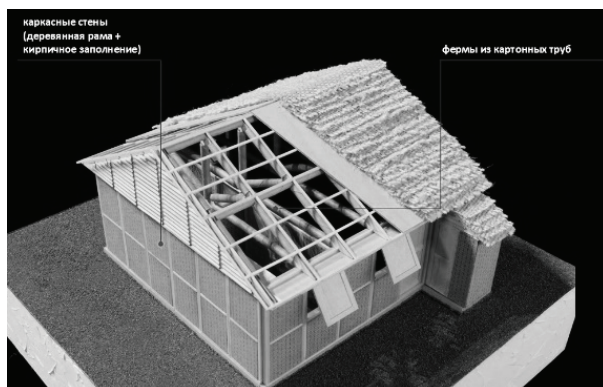


Рис. 8. Конструктивный макет дома в Непале (Ш. Бан)⁵

Технология быстровозводимой каркасной модульной конструкции. Система Paper Partition System – PPS, арх. Шигеру Бан

Технология PPS (система бумажных перегородок, рис. 9) впервые была использована в 2011 году. В задачи входила разработка максимально простого в сборке убежища, которое можно применять в крупных эвакуационных центрах, где находятся оставшиеся без крова люди.



Рис. 9. Система Paper Partition System – PPS (Ш. Бан)⁶

⁵ Там же.

⁶ URL: <https://shigerubanarchitects.com/works/paper-tubes/避難所用間仕切りシステム-2019年台風19号/> (date of access: 15.03.2024).

Ш. Бан поясняет: «Я стал свидетелем ситуации, когда беженцев собирали под огромными крышами – к примеру, в спортзалах, – без возможности уединиться. Однако неприкосновенность частной жизни – это одно из основных прав человека. И тогда стало понятным, что наши бумажные перегородки, которые я разработал для землетрясения и цунами в Японии, подходят в данной ситуации и могут использоваться в зависимости от обстоятельств» [4].

В дальнейшем модули использовались и для центров вакцинации от коронавируса, а теперь применяются для беженцев.

Система бумажных перегородок (PPS) состоит из каркаса из восьми отдельных картонных трубок разного диаметра (один для стоек, другой – для поперечных балок) с большими просверленными отверстиями на концах. На них накидывается бумага или ткань, которую достаточно скрепить английской булавкой, чтобы создать укрытия, напоминающие больничные палаты. Площадь таких «палат» зависит от размера койки (2×2 м или 2,3×2,3 м) (рис. 10).

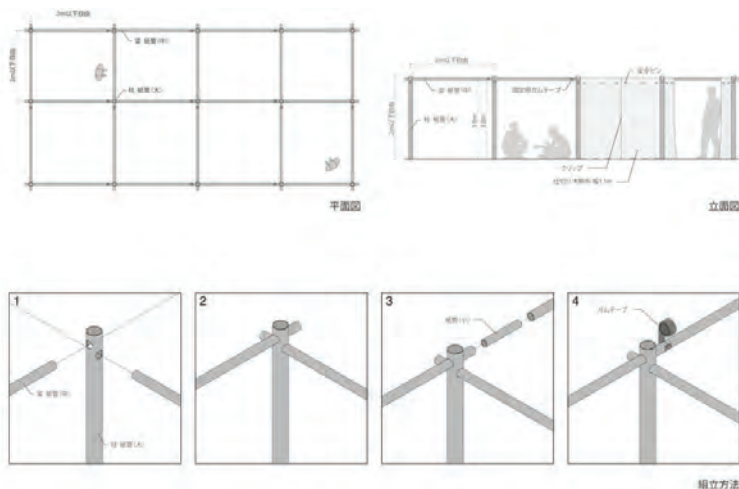


Рис. 10. Конструктивная идея – Paper Partition System – PPS (Ш. Бан)⁷

Модуль по технологии PPS собирают три человека за пять минут, поэтому они чрезвычайно удобны для использования. Идея конструкции состоит в создании личного пространства для временного размещения в крупном большепролетном помещении (например, в спортивном зале). Конструкция модульная, можно добавлять элементы по необходимости [2].

⁷ URL: https://worldarchitecture.org/architecture-news/ehmec/shigeru_ban_built_paper_partitioning_system_for_flooding_victims_in_japan.html (date of access: 15.03.2024).

В другой раз эта конструкция была использована в Японии во время наводнения в 2018 г. (рис. 11).



Рис. 11. Система Paper Partition System (Ш. Бан), 2018 г. Япония⁸

Шигеру Бан также предоставил свои системы бумажных перегородок (PPS) эвакуационным центрам, чтобы поддержать тех, кто лишился крова в результате землетрясения в 2023 г. в Турции (рис. 12) [12].



Рис. 12. Установка модуля по технологии PPS в Турции, 2023 г. [12]

⁸ <https://www.archdaily.com/898308/shigeru-ban-creates-temporary-shelter-system-for-japanese-flooding-victims> (date of access: 15.03.2024).

Проект-концепция фонда MADWORKSHOP, арх. Джереми Карман и Джейсон Шамплейн

Архитекторы предлагают компактный тканевый модуль: спальные помещения, запираемое хранилище и места для сидения, и все это при том, что модуль занимает около 5 м² (рис. 13, 14).

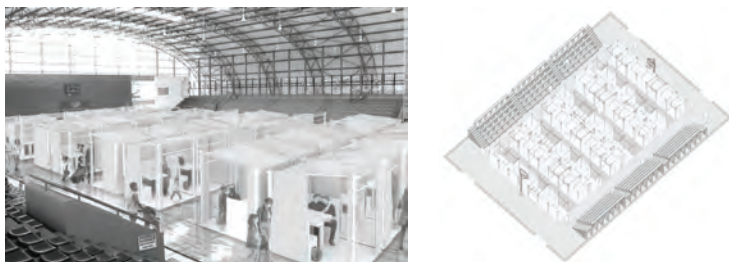


Рис. 13. Концепция модулей. Общий вид. Арх. Дж. Карман и Дж. Шамплейн [8]



Рис. 14. Чертежи модулей, Арх. Дж. Карман и Дж. Шамплейн [8]

Модульные укрытия также могут комбинироваться с соседними модулями, чтобы создать ощущение общности. Легкие модули можно легко штабелировать и хранить на месте, а сборка занимает менее 15 минут. Кроме того, укрытия водонепроницаемы, в них используются застежки-липучки для упрощения сборки (рис. 15).

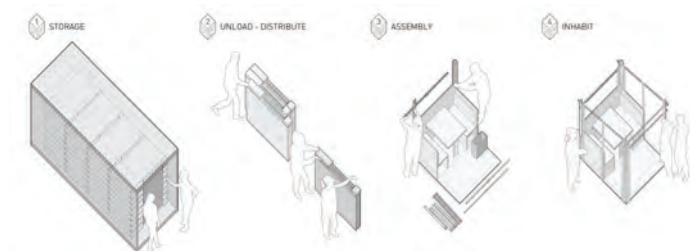


Рис. 15. Сборка модулей. Арх. Дж. Карман и Дж. Шамплейн [8]

Проект стал возможен благодаря фонду Martin Architecture and Design Workshop (MADWORKSHOP), который «поддерживает технологическое мастерство в искусстве и дизайне», стремясь внести «радикальный, устойчивый и долгосрочный вклад в дискурс дизайна и общество в целом» [7].

Концепция дома «Just a Minute», арх. Барбернио Колелла

Спроектированный в рамках конкурса «Just a Minute» дом (рис. 16) может быть построен всего из шести материалов: OSB-панелей (из Китая), бамбука (из Непала), ламинированного бамбука (из Китая/Непала), белого джута (из Бангладеш/Индии), переработанной шерсти (из благотворительных пожертвований) и водонепроницаемой мембраны (из Китая). Ограниченная палитра материалов делает их поиск более простым и экономичным, а также позволяет построить дом без квалифицированной рабочей силы или сложных технологий.



Рис. 16. Концепция дома «Just a Minute», арх. Б. Колелла [7]

Конструкции, рассчитанные на размещение от 4 до 10 человек, предназначены для массового изготовления, а затем отправки в районы, где это необходимо. Чтобы облегчить процесс транспортировки домов, проект предусматривает гибкую связь между вертикальными и поперечными структурными частями бамбука, что позволяет складывать дом размером 4 на 11,7 метра в виде гармошки в коробку размером всего 2,5 на 4 метра. В центре дома панели OSB создают ядро, содержащее функции ванной комнаты и кухни дома. После развертывания создаются две комнаты размером 4 на 4 метра, которые будут использоваться в качестве гостиной и спальни (рис. 17) [8].



Рис. 17. Фасады и планировка дома «Just a Minute», арх. Б. Колелла [7]

Концепция «Weaving A Home», арх. Абир Сейкали

Абир Сейкали получил награду Lexus Design Award за свою концепцию в 2013 году. Складное структурное тканевое укрытие адаптируется к различным климатическим условиям, а также обеспечивает комфорт современной жизни – тепло, водопровод и электричество. Задачей было создать альтернативу образу палаток и навесов – оттолкнуться от природных форм и создать гибкую структуру (рис. 18).



Рис. 18. Визуализация концепции «Weaving A Home», арх. А. Сейкали [5]

Состоящая из высокопрочных пластиковых трубок, отлитых в синусоидальные кривые и вплетенных в растягивающуюся тканевую мембрану, конструкция расширяется, чтобы вместить людей, и сжимается для мобильности и транспортировки. Из-за ячеистой природы конструкции отдельные сегменты системы можно оставить открытыми для создания дверных проемов или для улучшения циркуляции воздуха в теплую погоду, или все сегменты можно держать закрытыми, чтобы сохранить тепло зимой. Система создана по принципу бумажных складчатых конструкций (рис. 19).



Рис. 19. Система складчатых конструкций и их транспортируемость [5]

Полые пластиковые трубы создают каналы для коммуникаций – электричества и воды. Сейкали даже предполагает, что ткань конструкции будет преобразовывать солнечное излучение в электричество и заряжать батарею, которая интегрирована в систему, обеспечивая потребности в электроэнергии для укрытия (рис. 20) [5].

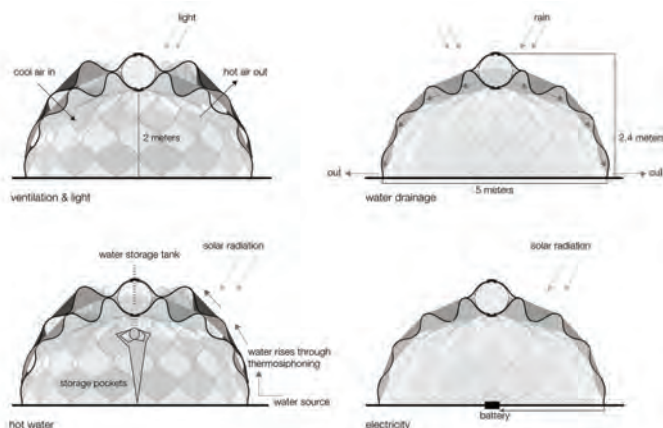


Рис. 20. Укрытие «Weaving A Home» в разрезе, арх. А. Сейкали [5]

Опыт архитекторов показывает, что использование быстровозводимых конструкций позволяет минимизировать время и ресурсы, необходимые для восстановления после катастрофы. Такие конструкции могут быть одновременно простыми в монтаже и демонтаже, но при этом обладать достаточной прочностью и удобством для проживания.

Таким образом, использование быстровозводимых конструкций становится важным компонентом процесса организации временного размещения после катастроф и помогает улучшить эффективность и оперативность реагирования на чрезвычайные ситуации.

Список литературы

1. Бумажные дома Шигеру Бана. URL: <https://archi.ru/press/world/33639/bumazhnye-doma-shigeru-bana/> (дата обращения: 15.03.2024).
2. Временные жилища из картона по проекту Шигеру Бана. URL: <https://mydecor.ru/news/architecture/vremennye-zhilisha-iz-kartona-po-proektu-shigeru-bana/> (date of access: 15.03.2024).
3. Шигеру Бан: архитектура из бумаги. URL: <https://mydecor.ru/heroes/architects/shigeru-ban-id6790287/> (дата обращения: 15.03.2024).

4. Шигеру Бан: модульные перегородки для беженцев. URL: <https://www.interior.ru/architecture/13515-shigeru-ban-modulinie-peregorodki-dlya-bezhentsev.html> (дата обращения: 15.03.2024).
5. Abeer Seikaly's Structural Fabric Shelters Weave Refugees' Lives Back Together // ArchDaily : [official web-site]. URL: <https://www.archdaily.com/778743/abeer-seikalys-structural-fabric-shelters-weave-refugees-lives-back-together> (date of access: 15.03.2024).
6. Ban S., Jacobson H., Bruderlein C., Pollock N., Weizman E. Shigeru Ban: Humanitarian Architecture. Aspen Art Press/D.A.P. 2014.
7. Gallery of Barberio Colella ARC Designs Pop-Up Home to Rebuild // ArchDaily : [official web-site]. URL: https://www.archdaily.com/775698/barberio-colella-arc-designs-pop-up-home-to-rebuild-nepalese-lives-in-just-a-minute?ad_medium=gallery (date of access: 15.03.2024).
8. MADWORKSHOP Foundation: The Latest Architecture and News // ArchDaily : [official web-site]. URL: <https://www.archdaily.com/tag/madworkshop-foundation> (date of access: 15.03.2024).
9. Shigeru Ban architects. Nepal House. URL: <https://shigerubanarchitects.com/works/nepal-house-2/> (date of access: 15.03.2024).
10. Shigeru Ban architects. Paper Log House. URL: <https://shigerubanarchitects.com/works/paper-tubes/paper-log-house-india/> (date of access: 15.03.2024).
11. Shigeru Ban architects. Paper Log House – Kobe. URL: <https://shigerubanarchitects.com/works/paper-tubes/paper-log-house-kobe/> (date of access: 15.03.2024).
12. Shigeru Ban architects. Relief for Turkey and Syria. URL: <https://shigerubanarchitects.com/news/relief-for-turkey-and-syria/> (date of access: 15.03.2024).

**ПОДЗЕМНАЯ УРБАНИСТИКА, КАК АСПЕКТ ЗАЩИТЫ
НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ
ЯВЛЕНИЙ И КАТАСТРОФ ТЕХНОГЕННОГО
И АНТРОПОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

**UNDERGROUND URBANISM AS AN ASPECT OF PROTECTION
OF POPULATION AND TERRITORIES FROM NATURAL HAZARDS
AND CATASTROPHES OF ANTHROPOGENIC
AND ANTHROPOGENIC CHARACTER**

И.А. Миронова, канд. пед. наук, доцент кафедры проектирования городской среды
В.И. Тёкина, студентка 5 курса
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева»,
Орёл, Россия

I.A. Mironova, PhD, associate professor of the Urban Environment Design Department
V.I. Tekina, 5th year student
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia.

Аннотация. В статье рассмотрены возможности использования подземных сооружений в качестве защиты населения и территорий от опасных природных явлений и катастроф техногенного и антропогенного характера. Приведен краткий обзор древних подземных сооружений для убежища и защиты. Проанализированы различные типы подземных сооружений и их возможности для использования в качестве сооружений защитного характера.

Ключевые слова: подземная урбанистика, защитные сооружения, катастрофы природного, техногенного и антропогенного характера.

Abstract. The article examines the possibilities of using underground structures to protect the population and territories from dangerous natural phenomena and man-made and anthropogenic disasters. A brief overview of ancient underground structures for shelter and protection is provided. Various types of underground structures and their potential for use as protective structures are analyzed.

Keywords: underground urbanism, protective structures, natural, technogenic and anthropogenic disasters.

Подземная урбанистика получила начала свое зарождение еще с древнейших времён. Древние люди, борясь за свое существование, использовали пещеры в качестве убежища и защиты от опасностей, связанных с природными явлениями и катастрофами, а также с возможностью нападения враждебных племён и диких животных. Человечество развивалось, однако идеи подземной архитектуры и города под землей продолжали находить свое применение, так как нападения первобытных племен сменялись захватническими, межгосударственными и религиозными войнами. Интерес

к подземной архитектуре не утратил своей актуальности и на сегодняшний день, в том числе аспекте изучения основ планирования подземной урбанистики, как комплексной системы, направленной на сохранение территорий и защиту населения от опасных природных явлений и катастроф техногенного и антропогенного характера. Значимость подземных объектов становится особенно очевидной при угрозе таких бедствий природного, техногенного и антропогенного характера, как землетрясения, торнадо, извержение вулканов, взрывы и возгорания, аварии с выбросом токсичных веществ и т.п. Подземные объекты не только достаточно прочны и могут использоваться, как место для эвакуации и временного пребывания для людей, но могут также быть обеспечены автономными источниками энергии и связи, приспособлены для длительного хранения необходимых для выживания ресурсов: питьевой воды, продовольствия, медицинских препаратов и т.п.

Масштабные подземные объекты люди начали создавать еще до нашей эры. Основными направлениями такого строительства стали: создание систем подземных коммуникаций, прокладка тоннелей, строительство водопроводов, каналов и даже целых подземных городов. В качестве примера можно привести древний набатийский торговый город Петра с античными архитектурными наружными фасадами внутрискальных сооружений, расположенный на территории современной Иордании, который является одним из самых известных археологических памятников в мире (рис. 1).



Рис. 1. Древний набатийский торговый город Петра⁹

Само название города символизирует умение жителей работать с камнем, так как Петра означает «камень» в переводе с греческого (греч. *πέτρα*). Архитекторам удалось создать сложную систему сбора и хранения дожде-

⁹ <https://scfh.ru/files/iblock/2fa/2faac2dfad2dafd3bb39ba9da5552327.jpg>

вой воды, а также разветвленную систему водоснабжения, что позволило жителям Петры не испытывать дефицита в водном ресурсе, несмотря на жаркий засушливый климат. «Природно-градостроительная морфология Петры характеризуется материальной однородностью и максимальным использованием в целях градостроения и инженерного обеспечения природных геоморфологии и гидрографии, режима подземных и поверхностных вод, а также свойств природного геоматериала для его внешней и внутренней архитектурной обработки» [1, с. 23].

Одни из самых крупных подземных городов находятся на территории Турции, в Каппадокии. Подземный город Деринкую протянулся на 19 км и состоял из 8–10 уровней. Самый нижний этаж находится на глубине 54 м. Однако, ученые считают, что пока обнаружено только 15 % всей площади города, который имел ещё много уровней, расположенных ниже под землей. Сложную систему подземных помещений, вмещавшую до 60 тысяч человек, создали первые христиане, которые подвергались римскими язычниками гонениям и жестоким казням и были вынуждены скрываться. Вентиляционные тоннели, обнаруженные археологами, поражают своей совершенством и позволяют не только подавать чистый воздух на глубину, но и контролировать его влажность и температуру. В подземном городе имелись помещения для хранения воды и припасов, для совершения молитвенных обрядов, а на верхних этажах были предусмотрены помещения для приготовления вина и загон для скота [2] (рис. 2).



Рис. 2. Подземный город Деринкую¹⁰

¹⁰<https://cappadociavisit.com/cappadocia-podzemniy-gorod/деринкую/>

Подземные сооружения продолжают выполнять особую роль в обеспечении безопасности, и по сей день могут быть использованы, как укрытия в случае аварийных ситуаций. Например, специально спроектированные убежища и бункеры обеспечивают защиту от ядерных или химических угроз. Объемно-планировочные и конструктивные решения подземных сооружений, используемых в целях гражданской обороны, должны соответствовать требованиям Своду правил СП 88.13330.2022 Защитные сооружения гражданской обороны. Свод правил также устанавливает требования к санитарно-техническим системам, электротехническим устройствам и связи, регламентирует противопожарные требования [3]. В соответствии с СП 88.13330.2022 Защитные сооружения можно использовать в мирное время для хозяйственных нужд и обслуживания населения.

Одним из примеров подземных защитных сооружений может служить бункер Сталина, который был запроектирован как объект стратегического назначения. Его строительство началось в конце февраля 1942 года и велось 9 месяцев очень скрытно и незаметно для жителей соседних домов. На бункер ушло 10 тысяч тонн бетона, и было извлечено 25 тысяч м³ земли. Вес конструкций составлял 5 тысяч тонн. Сам бункер был запроектирован на глубину в 37 м – 12-этажное здание. Жилая площадь убежища была огромной – около 200 м², не включая площадь технического этажа. Для защиты от бомбовых ударов предусмотрена железобетонная плита толщиной 4 м., накрывающая объект сверху. На техническом этаже находились камеры жизнеобеспечения. Состояние объекта на сегодняшний день остается рабочим. В бункере предусмотрена автономная система регенерации воздуха, водоснабжения и электроснабжения. В случае катастрофы или аварии он сможет сохранять автономность не менее 5 дней [4]. Сейчас бункер используется как музей. Однако, в случае возникновения опасности, бывший бункер Сталина может стать эффективной защитой от катастроф природного, техногенного и антропогенного характера.

Линии метрополитена могут служить ещё одним примером подземного сооружения, которое, в случае необходимости, может служить для защиты от действий: воздушной ударной волны, удара и взрыва фугасных боеприпасов, действия отравляющих веществ, радиоактивных веществ и бактериальных средств, действия проникающей радиации [3]. Московский метрополитен, благодаря своей сложной инфраструктуре и современному техническому оснащению, может обеспечить безопасность для миллионов людей. Система вентиляции, установленная в каждом тоннеле и вагоне, обеспечивает отвод и нейтрализацию опасных веществ при чрезвычайных ситуациях. Кроме того, метрополитен оснащен передовыми системами пожарной безопасности, которые позволяют быстро обнаружить и ликвидировать очаги возгорания. Глубина размещения станций и тоннелей московского метрополитена позволит, в случае необходимости, организовать временное пристанище и защитить граждан как от негативных природных факторов (экстремально низкие температуры, тепловые излучения и т.п.), так и масштабных катастроф техногенного и антропогенного характера.

Системы сигнализации и мониторинга позволяют своевременно прогнозировать и оперативно реагировать на возможные наводнения или землетрясения. Высокие технические требования при строительстве гарантируют устойчивость к различного рода негативным воздействиям внешней среды.



Рис. 3. Московский метрополитен. Станция «Маяковская»¹¹

В качестве защитных сооружений могут быть использованы подземные объекты спортивного назначения. Интерес представляет норвежский опыт проектирования и строительства подобных объектов. В городе Олде спортивный центр было предложено разместить в скальных породах. Главный спортивный зал размерами 25×60, предназначенный для игры в ручной мяч, при помощи автоматически опускающихся перегородок легко трансформируется в три гимнастических зала. Галерея вокруг зала рассчитана на размещение 500 человек зрителей. В примыкающем к главному залу тоннеле находится 200 метровая беговая дорожка. Однако основная особенность этого сооружения состоит в том, что используемое в мирное время, как спортивный центр, оно является одновременно убежищем, обеспеченным всем необходимым на случай термоядерного нападения. Вентиляция рассчитана, как на мирные, так и на военные условия. На случай аварийного электроснабжения предусмотрены бензомоторные генераторы. Спортивный зал рассчитан на трехнедельное пребывание людей, а служебные и офисные помещения подходят для размещения военной комендатуры [5].

Рассматривая подземные сооружения в аспекте защиты населения от опасных природных явлений, а также катастроф техногенного и антропогенного характера, нельзя забывать о той роли, которую могут играть расположенные под землей объекты, в сохранении и защите территорий. В частности, интерес представляют подземные энергетические сооружения.

¹¹ https://um.mos.ru/upload/iblock/107/_MG_3160.jpg

Строительство гидроэлектростанции на равнине влечет за собой затопление достаточно больших территорий. Как результат – затопляются плодородные земли, леса, месторождения ископаемых, населенные пункты и памятники культуры. Поэтому еще в начале 20 века там, где позволяли условия рельефа, строили гидроэлектростанции, в которых машинные залы, деривационные тоннели и камеры затворов размещались под землей. Если же говорить о подземных атомных электростанциях, то основное преимущество, по сравнению с наземными, заключается в высокой степени безопасности при различного рода авариях. Такая безопасность обеспечивается, в первую очередь, за счет изоляции реакторов и других радиационных объектов от окружающей среды. Также высокую эффективность демонстрируют подземные АЭС в зонах с высокой сейсмической активности, что обусловлено высокой стойкостью подземных объектов к сейсмическим нагрузкам [4].

Заключение

Подземная урбанистика играет важную роль в формировании современного города, позволяя сделать его не только комфортным, но и безопасным. Человек так и не смог обуздать природу в ее негативных проявлениях. Торнадо, ураганы, пожары, извержения вулканов представляют для людей такую же опасность, как и много веков назад, а развитие науки и техники породило катастрофы индустриального характера – взрывы, утечки токсичных веществ, прорывы трубопроводов и т.п. Системный подход к организации градостроительного проектирования позволит организовать строительство и реконструкцию подземных сооружений с учетом их возможного использования для защиты населения и территорий от опасных природных явлений и катастроф техногенного и антропогенного характера.

Список литературы

1. Кудряшева, А. К. Ландшафтная архитектура античных городов Иордании примере Петры : автореферат дис. ... кандидата архитектуры : 18.00.01. - Москва, 2000. - 26 с.
2. Подземные города Каппадокии в Турции. URL: <https://cappadociavisit.com/cappadocia-podzemniy-gorod/> (дата обращения: 13.03.2024).
3. СП 88.13330.2022 «СНиП II-01-77* Защитные сооружения гражданской обороны».
4. Лысков Б.А., Каплюхин А.А. Использование подземного пространства. Монография. – Донецк: «Норд-Компьютер», 2005. – 390 с.
5. Веретенников, Д. Б. Архитектурное проектирование. Подземная урбанистика : учебное пособие. / Д.Б. Веретенников. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М. 2022. –176 с.

ФУТУРИСТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ

УДК 721:629.7.04:721:629.786

АРХИТЕКТУРА В КОСМОСЕ

ARCHITECTURE IN SPACE

П.К. Данилова, студентка 3 курса

Д.Д. Попова, канд. арх., доцент

канд. архитектуры, доцент

Московский государственный академический художественный институт имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств, Москва, Россия

P.K. Danilova, 3rd year student

D. D. Popova, PhD, associate professor

Moscow State Academy Art Institute named after V.I. Surikov, Russian Academy of Arts, Moscow, Russia

Аннотация. В статье сделан обзор развития представлений человека об устройстве жизни в условиях космоса. Приводятся нереализованные концепции и реальные проекты.

Ключевые слова: архитектура в космосе, космические станции, К. Циолковский, Г. Балашова.

Abstract. The article provides an overview of the development of human ideas about the structure of life in space. Unrealized concepts and real projects are presented.

Keywords: architecture in space, space stations, K. Tsiolkovsky, G. Balashova.

Интерес к небу, наблюдение за небесными телами было свойственно человечеству испокон веков. Люди определяли по ним стороны света, предсказывали природные явления, и использовали их в качестве ориентиров в строительстве. Можно сказать, что мы давно встали на путь покорения звёзд, поэтому предположения и мечты о том, как будут выглядеть поселения будущего, в незнакомых и суровых условиях космического пространства, вполне естественны. Человек всегда стремится к чему-то новому, покорить непокоренное, увидеть невиданное.

Люди науки из самых разных её областей уже давно задумывались о межпланетных путешествиях. Например, Константин Эдуардович Циолковский (05.09.1857 – 19.09.1935), человек, стоящий у истоков российской космонавтики. В книге «Исследования мировых пространств реактивными приборами» (1926 г.) учёный одним из первых предложил идею длительных космических перелётов с помощью устройств ракетного типа. Помимо множественных расчётов для конструирования ракеты, определения траектории её движения, разработки достаточно мощных для этой цели двигате-

лей и подбора подходящих материалов, учёный-самоучка рассказывает, как может человек существовать в невесомости продолжительное время. Конечно, для обеспечения безопасности и удобства космонавтов, Константин Эдуардович разделял ракеты на условные технические и жилые помещения, однако ресурсы одной лишь ракеты ограничены. Она рассматривается исключительно в качестве транспорта, а для проживания в космосе необходимо создать комфортные условия: «Нужны особые жилища – безопасные, светлые, с желаемой температурой, с возобновляемым кислородом, с постоянным притоком пищи, с удобствами для жизни и работы» [8]. Схема космической станции Циолковского представляет собой сеть помещений, соединённых между собою тамбур-шлюзами, необходимыми для изоляции отдела с уткой от остальных для дальнейшего ремонта. Составные части и компоненты для станции предлагается доставлять с Земли. Материал каркаса – никелированная сталь и кварцевое стекло, образующие полузакрытые-полуоткрытые солнцу пространства (рис. 1 а). Внешняя сторона оболочки станции покрыта подвижными ставнями, необходимыми для регулировки температуры и климата внутри каждого помещения.

Несмотря на то, что учёный не считает невесомость затруднительной для человека, для растений необходимо создать небольшую, в 1000 раз меньше Земной, гравитацию для лучшего удержания почвы и воды в одном положении. Добиться этого можно с помощью центробежной силы (рис. 1 б). Таким образом, Циолковский предлагает схему по созданию типовой космической станции с жилыми и аграрными зонами. Такие станции, по задумке, могут располагаться в любом месте Вселенной, черпая ресурсы из поясов астероидов или планет, регулируя климат с помощью черепиц и электричества, выработанного из солнечной энергии.

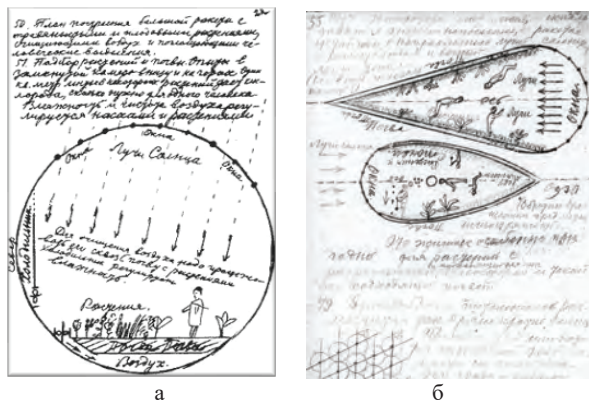


Рис. 1. Иллюстрация К.Э. Циолковского из книги «Альбом космических путешествий»:

- а – устройство жилища в условиях невесомости; б – обустройство космической оранжереи с воздействием на неё малой центробежной силы

Во время консультирования режиссёра фильма «Космический рейс» (1935 г.) Василия Николаевича Журавлева, Константин Эдуардович подробнее описал, какой путь человек проделает от земли до космоса и как во время его полёта будет складываться быт. Особое внимание было уделено устройству ракеты и площадке для её запуска. Его рассуждения и иллюстрации в 1947 году были объединены и выпущены под названием «Альбом космических путешествий» (рис. 2). Помимо изображений различных форм для космической станции, учёный показал своё представление о движении человека в невесомости и его защитном костюме. Последний он описывал как тоже «жилище в эфире», но плотно прилегающее к телу и с заранее запасённым, невозобновляемым запасом воздуха.

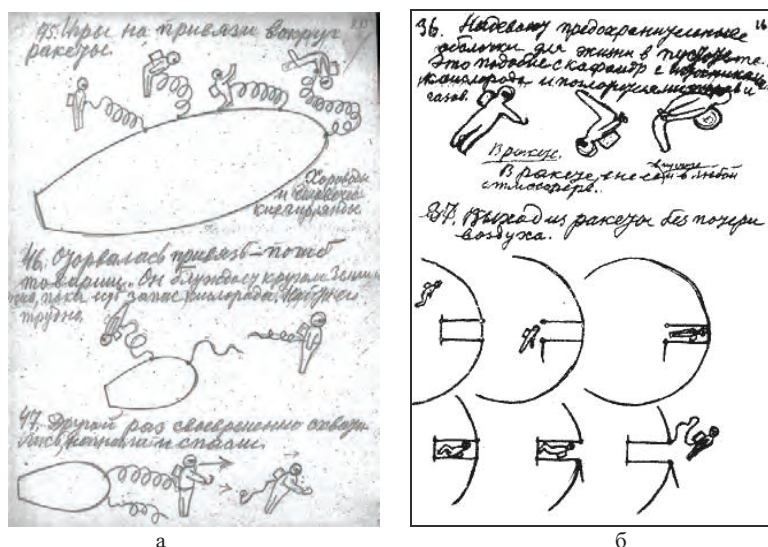


Рис. 2. Иллюстрация К.Э. Циолковского из книги «Альбом космических путешествий»:

а – передвижение космонавтов вне ракеты; б – процесс выхода в открытый космос через шлюзовую камеру

Научные труды Константина Эдуардовича Циолковского, представленные не только в письменной форме, но и в виде макетов и кинофильмов, оказали значительное влияние на развитие научно-фантастической литературы и стимулировали исследовательскую деятельность нескольких поколений учёных и мыслителей.

В XX в. параллельно с научным освоением космоса, продолжали создаваться фантастические художественные произведения на эту тему.

В работах Ивана Антоновича Ефремова (10.04.1908 – 05.10.1972) советского палеонтолога, писателя-фантаста и социального мыслителя, опи-

сано далёкое будущее. В книге «Туманность Андромеды» (1957 г.) человечество объединило свои силы и ресурсы, направив их на изучение Земли и её переустройства, а также на изучение космоса. В этом обществе были созданы пирамидальные и спирально-винтовые города (рис. 3), располагающиеся вблизи водоёмов и окружённые чередующимися кольцами засеянных пищевыми культурами лугов и рощ. Иван Антонович писал, что материал для стен – пластмасса, опоры же и конструкции выполнены из плавленого камня, облицованные полированным металлом. Все нежилые помещения, вроде складов, парковок, мастерских и кухонь располагаются по внутренним сторонам зданий, улицы исключительно пешеходные, транспортные цепи находятся в продольных нишах.



Рис. 3. Иллюстрация П. Даниловой к книге И.А. Ефремова «Туманность Андромеды». Спирально-винтовой город

Также в работах писателя встречается описание множества видов космических кораблей, варьирующихся по объёмам, наполнению и форме, в зависимости от их задач. Для освоения дальних уголков Вселенной у космонавтов на борту, помимо технических помещений, обязательно имеются медицинские отсеки, досуговые центры для занятий всеми известными видами культурного отдыха, залы с ячейками для продолжительного кибернетического сна, каюты общих собраний. Подобные корабли – это целые поселения, дрейфующие по открытому космосу. Однако стоит заметить,

что Иван Антонович, как и многие другие фантасты, создаёт для людей искусственную гравитацию, так что большинство удобств спроектированы им с «Земной» логикой: космические корабли как подводные лодки.

Помимо литературных, уместно вспомнить и нереализованные архитектурные проекты. В 1930-х годах некоторые студенты-выпускники ВХУТЕМАСа (Высшие художественно-технические мастерские) представили свои проекты городов и зданий вне земли. Наиболее знаменитый футуристический проект представил Георгий Тихонович Крутиков (04.04.1899 – 03.03.1958) в своей дипломной работе 1928 года. Он предложил перенести быт человека с земли на воздух. Архитектор создал несколько типов парящих с помощью атомной энергии зданий, представляющих собой цилиндрические параболоиды, на которых ярусами расположены жилые ячейки, оборудованные трансформируемой мебелью (рис. 4а). Коммуникации находятся в шаровидных или кольцеобразных нижних частях зданий.

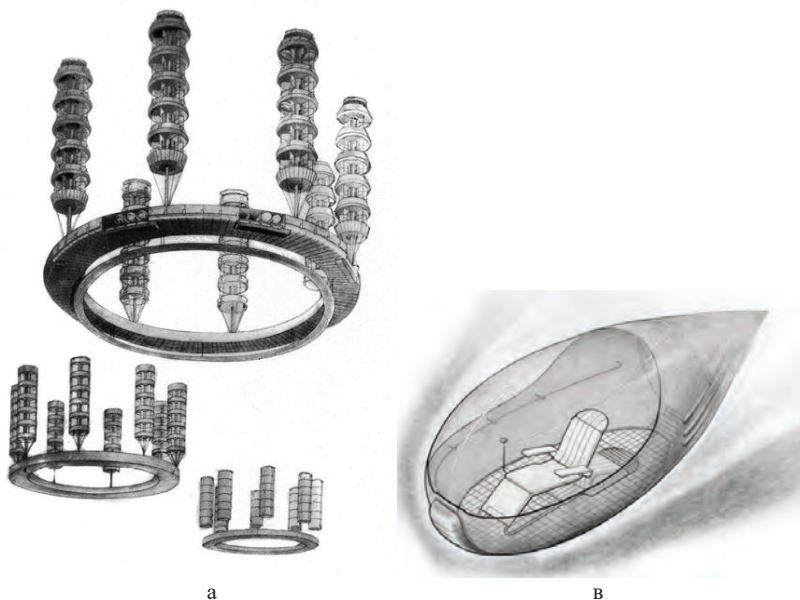


Рис. 4. Фрагмент дипломной работы Г. Крутикова [6]:
а – парящие города; б – машина-капсула

По задумке Георгия Тихоновича, города статично бы парили над рабочими центрами, заводами, мануфактурами, оставляя всё остальное пространство внизу для проведения досуга. Перемещаться между небом и землёй архитектор предложил с помощью самих жилых ячеек. Они имели бы трансформируемые стены и при желании жильца, отстыковывались бы с помощью магнита от каркаса города и отправлялись в другое место. С

Земли в город можно было бы добраться на специальной машине-капсуле (рис. 4 б). Работу Георгия Тихоновича раскритиковали в своё время за не-реалистичные технологии, однако прогресс не стоит на месте, и сама архитектурная идея надолго запомнилась в профессиональном сообществе.

В 1964 году уже опытные архитекторы Б. Зайончковский, Л. Лавренов и В. Тарасевич в журнале «Наука и жизнь» поделились своим взглядом на проблему организации пространства в невесомости. Их статья «Мечты инженеров. Архитектура в космосе» повествует о нескольких вариантах жилья: на космической станции и в колонии на поверхности планеты или планетоида. Архитекторы сразу устанавливают, что для человека и с точки зрения физиологии, и с точки зрения психологии, гравитация при длительных перелётах, которые будут, в теории, занимать не один десяток лет, просто необходима. В зависимости от её наличия или отсутствия кардинально меняется логика, с которой стоит подходить к организации пространства. В пространстве без гравитации нет самого понятия плана, ведь не существует пола или потолка, человек перемещается во всех трёх измерениях.

Но Б. Зайончковский, Л. Лавренов и В. Тарасевич предлагают способ создать искусственное притяжение, не изобретая при этом новых технологий: с помощью центробежной силы. Подобный вариант предлагал ещё Циолковский, однако три архитектора пошли дальше и подробнее описали формы космических станций и какие трудности возникнут у их жителей с таким притяжением. Во-первых, ввиду особенности действия центробежной силы, зависящей от радиуса вращения, космонавты будут ощущать её в собственном теле неравномерно. Во-вторых, при любом перемещении внутри станции по её дуге на человека будет действовать так же кориолисово ускорение, меняющееся в зависимости от направления движения. В-третьих, при перемещении в радиальном направлении к центру сила тяжести будет непрерывно убывать до нуля, а после начнёт возрастать в обратном направлении (рис. 5). Ввиду искривления, лестницы в таких помещениях потеряют равномерность шага, а также предсказуемую траекторию: для идущего будет казаться, будто он поднимается на потолок (рис. 5 б). Следующей задачей выступает искривленный «пол» станции. Так как космонавты ходят, устремив головы к оси вращения, под их ногами находится не ровная, а слегка искривлённая поверхность. Архитекторы предложили «скосить» торовидную станцию и разделить её на сегменты. В таком случае лишь на стыках поверхностей будут возникать вестибулярные нарушения.

Более подробные рассуждения касаются организации жилых пространств Б. Зайончковский, Л. Лавренов и В. Тарасевич представляют в работе «Лунный посёлок». Сила тяжести на луне в 6 раз меньше земной и колонисты нуждаются в постоянной защите от излучений и метеоритов, с которыми обычно справлялась земная атмосфера. Для каркаса поселений архитекторы предлагают использовать сталь и стекловолокно. В вакууме конструкции не будут испытывать вызванные притяжением усилия, а это

позволит построить оболочки, работающие только на растяжение и передавать усилия на внутренние растянутые элементы. Это позволит использовать материалы с максимальной эффективностью, что невозможно в земных условиях.

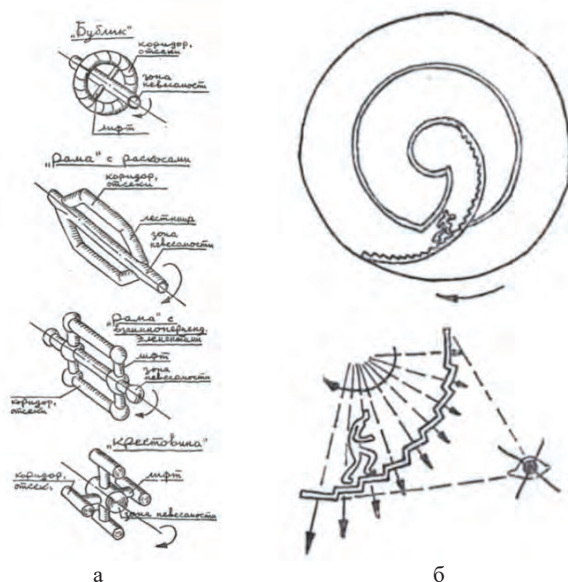


Рис. 5. Рисунки Б. Зайончковского, Л.Лавренова и В. Тарасевича [2]:
а – несколько вариантов схем космических станций; б – спиралевидная лестница.

Касаемо планировок, архитекторы заключают, что непосредственно на поверхности лучше всего располагать общественные постройки временного пребывания человека, а жилые помещения стоит уберечь под лунным грунтом, чтобы обеспечить полную безопасность (рис. 6 а).

Внутри жилых ячеек, несмотря на твёрдую поверхность под ногами, не стоит ожидать знакомых ситуаций и форм. В вакууме превалируют сферические формы. Исходя из этого, архитекторы предлагают создавать научно-исследовательские станции по типу общежитий – по человеку по комнате и общее пространство. С помощью света и цвета можно давать иллюзию большего пространства внутри (рис. 6 б).

Работа Б. Зайончковского, Л. Лавренова и В. Тарасевича 1964 года во многом вдохновлена не только теоретическими работами прошлых лет, но и первым полётом человека в космос 12 апреля 1961 года. Со времён Юрия Алексеевича Гагарина, чья кабина походила на кабину пилота самолёта-истребителя (пилот зафиксирован в кресле без свободного перемещения), возможности и технические способности конструкторов шагнули вперёд и

теперь уже наяву люди столкнулись с проблемой организации пространства в невесомости.

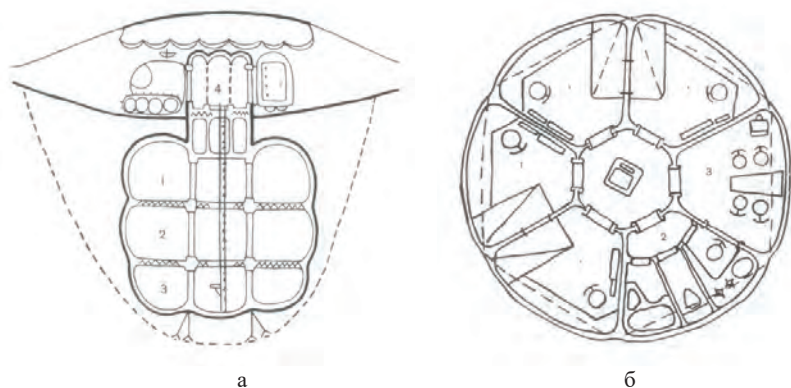


Рис. 6. Научно-исследовательская база на Луне. Рисунки Б. Зайончковского, Л.Лавренова и В. Тарасевича [2]:

а – Разрез: 1. Жилой этаж 2. Рабочий этаж 3. Технический этаж.

4. Шлюзовые устройства;

б – План: 1. Жилая ячейка 2. Кухонно-санитарный блок 3. Кают-компания

В 1963 году, во время проектирования космического корабля «Союз», проектировщики и конструкторы столкнулись с проблемой размещения необходимой аппаратуры в новом, бытовом отсеке корабля. Сергея Павловича Королёва (30.12.1906 – 14.01.1966), главного конструктора особого конструкторского бюро №1, совершенно не устраивали предложенные варианты планировок. Чисто технически, все было в порядке: первый вариант отсека представлял собой сферу с цилиндрической вставкой посередине, входным люком сбоку, необходимой аппаратурой и оборудованием в «нижней» части полусферы в ящиках рядом с люком-лазом в спускаемый аппарат. Однако находиться в таком помещении было крайне некомфортно. «Голая» аппаратура создавала ощущение нахождения в машинном отсеке, а не в новом, продвинутом космическом корабле. Так, Константин Петрович Феоктистов (07.02.1926 – 21.11.2009, лётчик-космонавт), который руководил проектными работами, обратился к Галине Андреевне Балашовой, впоследствии ставшей первым космическим архитектором. Грубые ящики превратились в её работе в сервант и диванчик с нишей, напротив располагался АСУ (ассенизационно-санитарное устройство), замаскированное под кресло, на стенах появились резиночки для книг (рис. 7). При разработке интерьеров она предлагала свои решения для каждой, казалось бы, незначительной детали вроде вентиляционных решеток, рукояток, обрамления иллюминаторов и т.д.

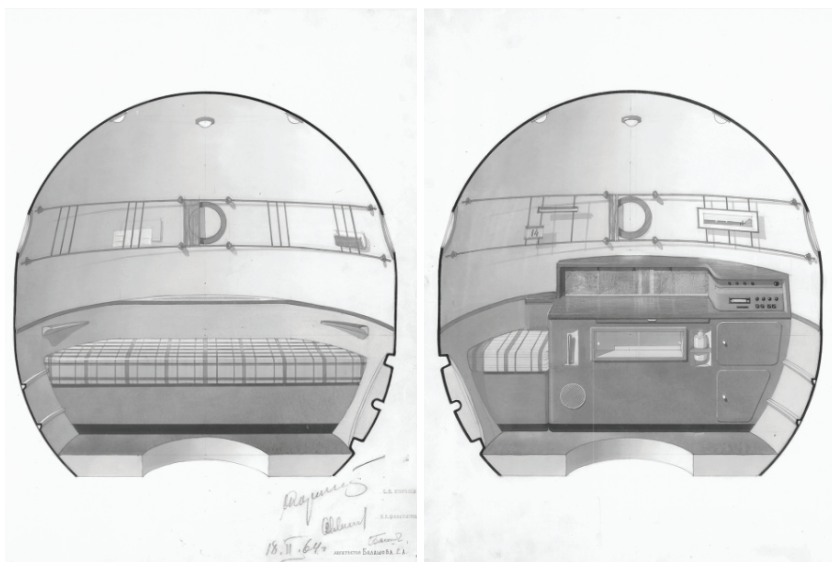


Рис. 7. Интерьер орбитального отсека корабля «Союз» (1964), проект Г.А. Балашовой [5]: левый и правый борт

Следующими работами Галины Андреевны стали проект Лунного орбитального корабля, так и не введённого в эксплуатацию, «Союз-М», «Союз-Т», «Союз-19» и главная работа – орбитальная станция «Мир».

Логика расположения инженерных систем не подразумевает удобство человека – один технический узел переходит в следующий и так они, как пазл, складываются в общую картину. Архитектура же создана, чтобы упорядочивать пространство под нужды человека и именно это и сделала Г.А. Балашова. Однако пространство на этом нельзя было считать окончательно организованным. В процессе обустройства и организации пространства Балашова Г.А. прислушивалась и к комментариям космонавтов (рис. 8). С каждым новым кораблём и станцией интерьеры пополнялись деталями, отвечающими особенностям конструкций конкретных аппаратов: стены обивались капроновой ворсовой тканью «П56П» светло-жёлтой для условного верха, зелёной для низа, голубой обивалась мебель, на стенах так же разрабатывались специальные крючки для мелких предметов и инструментов. На спальнях и рабочих местах предусматривались крепления к поверхностям самих космонавтов с помощью ремней (рис. 9).

Балашова Г.А. была особенно внимательна к деталям, создавая земной уют, ведь помимо удобной мебели и даже зелёного цвета обивки, выбранного специально, чтобы условный низ напоминал космонавтам о траве, в сферическом пространстве, на стенах космических кораблей висели акварели пейзажей, за авторством самого архитектора. Эта деталь особенно

обрадовала в своё время С.П. Королёва, когда он искал, кому поручить разрабатывать космические интерьеры.

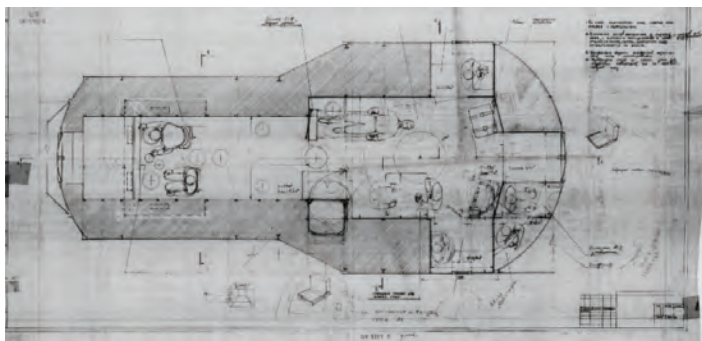


Рис. 8. Проект Г.А. Балашовой. Компоновка интерьеров космической станции «Мир», вариант 2 (1976-1986 гг.) [5]



Рис. 9. Проект Г.А. Балашовой. Интерьер космической станции «Мир», окончательный вариант (1980) [5]

Подводя итоги, хочется отметить, что задача архитектора – организовывать пространство для деятельности человека, обеспечивать удобство и доступность. Непривычно суровые условия космического вакуума – это очередная ступень на пути освоения, задача, которую архитекторам, как и инженерам, конструкторам и множеству других людей предстоит преодолеть. И размышлять, фантазировать о невозможных, пока что, поселениях вне Земли нужно, ведь: «Нет такого понятия, как фантастика. Всё, о чём мы подумали, рано или поздно осуществляется» (Чарльз де Линт, из книги «Покинутые Небеса»).

Список литературы

1. Баранов, М. И. Антология выдающихся достижений в науке и технике часть 18: ракетная техника и покорение ближнего космоса / М. И. Баранов. – Харьков: Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2014 // cyberlenika. – URL: <https://cyberlenika.ru/article/n/antologiya-vydayushihhsya-dostizheniy-v-nauke-i-tehnike-chast-18-raketnaya-tehnika-i-pokorenie-blizhnego-kosmosa/viewer> (дата обращения: 15.03.2024).
2. Зайончковский, Б. Мечты инженеров. Архитектура в космосе / Б. Зайончковский, Л. Лавренов, В. Тарасевич // «Наука и жизнь». – 1964. – №10. – URL: https://www.nkj.ru/archive/articles/28636/index.php?PAGEN_1=2&ELEMENT_ID=28636#nav_start (дата обращения: 15.03.2024).
3. Захарченко В. Наперегонки со временем или мир принципиально возможных чудес / В. Захарченко. – Москва: Детская литература, 1982.
4. Ефремов И. А. Туманность Андромеды/ И.А. Ефремов. – Москва: Издательство АСТ, 2023.
5. Иванов. Д. Небесный архитектор. Работы Галины Балашовой, участвовавшей в создании четырёх поколений космических аппаратов / Д. Иванов // N+1 : сайт – Опубликовано 30 мая 2018 г. – URL: <https://nplus1.ru/material/2018/05/30/balashova-designer>.
6. Точилова, Н. Летающий город Георгия Крутикова / Н. Точилова // Архитайм : сайт. – Опубликовано 25 февраля 2017 г. – URL: https://www.architime.ru/specarch/krutikov/flying_city.htm#10.jpg&as_qdr=y15.
7. Циолковский, К.Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами / К.Э. Циолковский. – Омск: 1-я Гостип. ГСНХ, 1926 // ФГБУ «Президентская библиотека имени Е.Н. Ельцина» – URL: <https://www.prlib.ru/item/416365> (дата обращения: 15.03.2024).
8. Циолковский, К.Э. План завоевания межпланетных пространств / К.Э. Циолковский. – URL: <https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/tsiolkovskiy/trudy1947/04.html> (дата обращения: 15.03.2024).

**КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОЛОНИИ НА МАРСЕ**

**CONCEPT OF DESIGN AND DEVELOPMENT
OF A RESEARCH COLONY ON MARS**

С.А. Сантов, студент 5 курса кафедры архитектуры и урбанистики
Т.А. Сизова, старший преподаватель кафедры архитектуры и урбанистики
Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия

S.A. Saitov, 5th year student of the Department of Architecture and Urbanism
T.A. Sizova, senior lecturer of the Department of Architecture and Urbanism
Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

Аннотация. Статья посвящена вопросам формирования архитектурного пространства в экстремальных условиях Марса. Вопрос о колонизации другой планеты является актуальной задачей современности и при этом требует нетривиального мышления архитектора и новых поисков в вопросах формообразования.

Ключевые слова: архитектор, колония, Марс.

Abstract. The article is devoted to the issues of architectural space formation in the extreme conditions of Mars. The question of colonizing another planet is a pressing issue of our time and at the same time requires non-trivial thinking of the architect and new searches in matters of form-making.

Keywords: architect, colony, Mars.

Архитектор – бессмертная профессия, а проектирование зданий и сооружений для комфортной жизнедеятельности человека понадобится на любой из планет Солнечной системы. Создание корректной, рациональной и удобной планировки помещений для колонизаторов, а также комфортных пространств, гармоничных композиций, форм и объектов всё ещё остаётся задачей архитектора, при этом не имеет значения на какой планете придётся реализовать эти задачи. Так, создание колонии на Марсе является неизбежным продолжением исследований и изучений в области космоса и Красной планеты. У этой миссии есть несколько оправданных целей: создание постоянной базы для научных исследований Марса и его спутников, в перспективе – для изучения пояса астероидов и дальних систем планет Солнечной системы, промышленная добыча ценных полезных ископаемых, решение демографических проблем Земли и основная цель – создание «колыбели человечества» на случай глобального катаклизма на Земле.

Однако важно четко понимать, что здесь архитектор столкнется с принципиально иными условиями для определения подходов к формообразованию в архитектурном пространстве Марса. Марс – четвертая планета

от Солнца, известная как Красная планета из-за своего красноватого цвета. Марс и Земля имеют схожие условия, а также – это единственные планеты Солнечной системы, входящие в зону обитаемости. Марс обладает атмосферой, хотя и очень разреженной, однако, можно говорить о процессах в ней, формирующих погоду, а следовательно, и о климате. Предположительно в прошлом климат Марса мог быть более тёплым и влажным, а на поверхности присутствовала жидкая вода.

В настоящее время Красная планета «изменила» свои климатические показатели. Например, атмосфера Марса чрезвычайно разреженная, всего около 1 % от плотности земной атмосферы. В основном она состоит из углекислого газа (95,3 %), азота (2,7 %) и аргона (1,6 %). Средняя температура на Марсе равна $-63,1$ °С. Из-за разреженной атмосферы температура планеты подвержена большим колебаниям в течение суток. Днём, в летнее время года, она может подниматься до $+20$ °С, но уже ночью температура даже на экваторе может опускаться до -80 °С. Зимой же на полюсах она и вовсе падает до -143 °С. Также характерная особенность атмосферы Марса – это постоянное присутствие пыли. Малая сила тяжести позволяет даже разреженным потокам воздуха поднимать огромные облака пыли на высоту до 50 км. А ветры, являющиеся одним из проявлений перепада температур, часто дуют над поверхностью планеты и их скорость достигает до 100 м/с. Ещё одним важным климатическим показателем является радиация. Из-за потери магнитного поля и атмосферы, поверхность Марса подвергается воздействию гораздо более высоких уровней радиации, чем Земля. И в дополнение к постоянному воздействию космических лучей и солнечного ветра, вместе с солнечными вспышками Марс подвергается смертельным дозам стерилизующего излучения. Как и на Земле, на Марсе происходит смена времён года из-за наклона оси вращения к плоскости орбиты, поэтому зимой в северном полушарии полярная шапка растёт, а в южном почти исчезает, а через полгода полушария меняются местами.

Идеальное местоположение колонии на Марсе должно учитывать некоторые критерии, например, доступ к ресурсам, защиту от неблагоприятных погодных условий, возможность проведения научных исследований, а также удобство для жизни и работы людей. Первым и, возможно, самым важным критерием является доступ к ресурсам. Колония должна быть расположена рядом с источниками воды, чьё наличие на Марсе уже было обнаружено в виде подповерхностного льда марсоходом Perseverance в ударном кратере Jezero. Также очень важно наличие материалов для строительства, оборудования и энергии. Это позволит минимизировать затраты на транспортировку и обеспечить колонистов всем необходимым для выживания. Вторым критерий – это защита от неблагоприятных погодных условий. Очень часто на Марсе могут происходить сильные ветры, пылевые бури и радиационное излучение. Поэтому хорошим вариантом местоположение колонии могут стать подземная или полуподземная застройки. Научные открытия – это тоже важная цель исследования космоса и колонизации

Марса. Поэтому станция должна быть расположена вблизи интересных и, желательно, древних объектов, например, каньонов, кратеров и вулканов.

Начнем с того, что у ученых уже есть список перспективных мест куда бы мы могли отправить первых колонизаторов. Во-первых, есть пещеры, которые как бы спрятались от всей радиации и ультрафиолетового излучения. Или вот кратер Gale, открытый в конце 19 века, имеет много льда прямо под поверхностью. Марсоход Curiosity от NASA уже нашел ледяные образования на глубине нескольких сантиметров. Также на Марсе есть большое количество лавовых трубок, особенно у подножья горы Pavonis Mons. Это как большие системы тоннелей, на подобии знаменитых лавовых трубок на Гавайях. Ещё один вариант – это Долина Marineris, огромная система каньонов, которая тянется на тысячи километров. Там, возможно, есть подземные водные источники. Из-за низкой высоты там атмосфера плотнее, а это означает меньший показатель радиации. Ну и, конечно, не стоит забывать про впадину Hellas, самую большую ударную впадину в Солнечной системе, где тоже найден лед.

Главное, что предстоит сделать архитектору в данной миссии – это выбрать самый рациональный метод формирования архитектурных объектов. Адаптация форм, планировок, материалов и технологий строительства к суровым условиям планеты становится формулой успешного проектирования. Один из вариантов – это надувные модули. Это как большие палатки, которые можно надуть. Они легкие и компактные, также они могут выдержать марсианские бури и перепады температур. Проект Mars Ice House, созданный архитектурным бюро Clouds AO – это пример такого дома. Он сделан из особого материала, который защищает от холода и радиации. Но, как и все в этом мире, у надувных модулей есть свои минусы. Они могут быть повреждены метеоритами или другими природными явлениями. Так как структурные блоки имеют ограниченный срок службы, за ними потребуются постоянный мониторинг и обслуживание модулей. Данный метод по-настоящему внушает надежду на успешную колонизацию Красной планеты, и такие дома могут стать настоящим спасением для первых марсианских поселенцев.

Ещё одним, наиболее популярным, вариантом является проектирование купольных сооружений. Купольный метод формообразования помогает справиться с пылью, ветром и бурями, так как округлая форма создаёт минимальное сопротивление и не позволяют пыли оседать на поверхности здания. Главное достоинство этой концепции – это возможность создания замкнутой экосистемы, где жители смогут выращивать собственные продукты питания и создавать комфортные условия для проживания. Так, купольные конструкции могут быть изготовлены из прозрачных материалов, чтобы пропускать солнечный свет. Таким материалом может выступить аэрогель. Согласно расчётам учёных, этот материал позволит строить купола, которые будут удерживать внутри тепло, пропускать сквозь себя солнечный свет для фотосинтеза растений, а также блокировать вредное для человеческой ДНК ультрафиолетовое излучение и радиацию. Такой аспект,

как минимальное воздействие на окружающую среду, тоже можно отнести к плюсам купольных систем. При использовании таких конструкций можно минимизировать воздействие на окружающую среду планеты, так как они позволяют сохранить естественные ландшафты и изучить сохранившиеся или жившие раньше древние микроорганизмы. Существует несколько недостатков данной технологии. Построение купольных структур на Марсе представляет сложности с технической точки зрения, требующие особых инженерных решений. Кроме того, купольные сооружения могут потребовать дополнительных систем для поддержания оптимальной температуры в условиях марсианского климата. Необходимо также учитывать, что при повреждении купольной конструкции возникает риск сбоя в системах жизнеобеспечения и защиты всей колонии от внешних воздействий. В целом, купольные сооружения могут обеспечить эффективное жилье для будущих поселенцев, но они требуют серьезного подхода к инженерным и технологическим аспектам своего создания и эксплуатации.

Но всё же одним из самых правдоподобных вариантов, на сегодняшний день, является использование натуральных пещер и вулканических туннелей на Марсе. Пещеры и лавовые трубки могут предоставлять естественную защиту от вредных радиационных лучей, а также от ударов метеоритов. Также использование естественных формаций поможет в сохранении тепла, что позволит более эффективно регулировать температуру внутри колонии. Ну и, конечно же, использование уже существующих естественных структур позволяет экономить на строительных материалах и ресурсах, необходимых для создания защищенного пространства. Если говорить о недостатках такого метода, то можно выделить несколько. Во-первых, естественные пещеры и туннели могут быть ограничены по размеру, что затрудняет развитие и расширение колонии. Во-вторых, всегда существует риск обвала таких убежищ, поэтому требуются специальные строительные меры для укрепления структуры. И наконец, использование этих пещер может ограничить доступ к солнечному свету, что может отразиться на обеспечении колонии энергией и освещением. Несмотря на минусы, перспективным примером является сферическая герметичная структура, которая в основном находится под землей, но имеет верхушку на поверхности (видимый купол). Сфера, как воздушный шарик, может сдерживать внутреннее давление, а конструкция удерживаться на месте за счет массы, помещенной внутрь этой формы. На данный момент, этот метод кажется самым реальным, но всё же нуждается во внимании к инкрустации объёма в ограниченное пространство.

Другой способ формирования – модульные метаболические структуры. Такой метод напоминает конструктор и, внедрив его, можно будет легко собирать и разбирать модули, добавлять новые блоки, модифицировать и расширять поселение. Также он не создаёт лишней головной боли для конструкторов, так как присоединение частей производится по отработанной схеме, методично, модуль за модулем. Использование модульных кон-

струкций может стать довольно надежным решением для проектирования научной станции.

А теперь о технологии, которую, в наши дни, используют в любом проекте, направленном на освоение Красной планеты. Технологии 3D-печати можно использовать для создания инфраструктуры и модулей колонии. Этот метод производства позволяет уменьшить количество отходов при строительстве, применить уникальные и инновационные архитектурные решения, напечатать объекты из бетона, металла и пластика. Расходы на доставку материалов сокращаются, так как изготовление материала происходит прямо на месте. Так, например, в 2017 году был проведён конкурс на жилую ячейку NASA's 3D-Printed Habitat Competition в рамках которого команда AI. SpaceFactory из Нью-Йорка разработала жилище, напечатанное на 3D-принтере из базальтового волокна, добываемого из марсианских пород, и полимолочной кислоты, полученной из растений, выращенных на Марсе. Но, при всех достоинствах, для защиты от излучения и радиации понадобится 1,5-2 метра марсианского реголита в качестве заполнения пирога стены, либо какой-то новый инновационный материал высокой плотности.

На мой взгляд, проектирования научно-исследовательской колонии на Марсе требует комплексного планирования и использования всех возможных передовых научных технологий. Все рассмотренные варианты имеют свои преимущества, недостатки и потенциал для дальнейших усовершенствований, а основная задача архитектора в этой миссии состоит в выборе оптимального метода формообразования, который учитывает климатические особенности планеты, разработку устойчивых структур, подбор подходящего места для будущего развития колонии, внедрение комплексного планировочного и композиционного подхода.

Список литературы

1. Базз Олдрин и Леонард Дэвид., Миссия на Марс: мое видение освоения космоса: - National Geographic Books, 2013. 258 с.
2. Top Five Teams Win a Share of \$100,000 in Virtual Modeling Stage of NASA's 3D-Printed Habitat Competition // NASA: [official web-site]. URL: <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/marshall/top-five-teams-win-a-share-of-100000-in-virtual-modeling-stage-of-nasas-3d-printed-habitat-competition/>.
3. Википедия [Электронный ресурс] / свободная энциклопедия. 2000-2024 Wikipedia - URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_craters_on_Mars.
4. Как построить дом на Марсе. - Популярная механика. – 2015, Сентябрь // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popmech.ru/design/212971-kak-postroit-dom-na-marse/>.
5. Астрономия. Для тех, кто хочет все успеть / авт.-сост. Н. Сердцева. – Москва: Эксмо, 2015. – 167 с.

**АРХИТЕКТУРНАЯ ФУТУРОЛОГИЯ В КОНТЕКСТЕ
АРХИТЕКТУРЫ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СРЕД
(НА ПРИМЕРЕ ЯПОНИИ)**

**ARCHITECTURAL FUTUROLOGY IN THE CONTEXT
OF EXTREME ENVIRONMENT ARCHITECTURE
(ON THE EXAMPLE OF JAPAN)**

Ф.Я. Шемякин, аспирант

Московский архитектурный институт (государственная академия), кафедра истории архитектуры и градостроительства, Москва, Россия

F.Ya. Shemyakin, graduate student

Moscow Institute of Architecture (State Academy), Department of History of Architecture and Urban Planning, Moscow, Russia

Аннотация. В статье поднимается проблема футурологического знания, его специфике и ограничениях. Подчеркивается роль архитектуры экстремальных сред в создании футурологических проектов. Архитектурная футурология рассматривается на примерах работ японских архитекторов, исследуются истоки и развитие архитектурного метаболизма в Японии. Японская архитектура рассматривается в свете сложных природно-климатических условий, которые стимулируют футурологические исследования и способствуют созданию смелых и инновационных архитектурных проектов.

Ключевые слова: футурология, ретрофутуризм, архитектурная футурология, японская архитектура, архитектурный метаболизм, архитектура экстремальных сред.

Abstract. The article raises the problem of futurological knowledge, its specificity and limitations. The role of extreme environment architecture in the creation of futurological projects is emphasized. Architectural futurology is considered using examples of works by Japanese architects, the origins and development of architectural metabolism in Japan are explored. Japanese architecture is considered in the light of complex natural and climatic conditions that stimulate futurological research and contribute to the creation of bold and innovative architectural projects.

Keywords: futurology, retrofuturism, architectural futurology, Japanese architecture, architectural metabolism, architecture of extreme environments.

Футурология как наука, в центре внимания которой находится формирование образа будущего на основе прогностических исследований, неизбежно сталкивается с объективной критикой – будь то упрощенный методологический аппарат или невыгодное сравнение с другими смежными видами исследований, например, прогнозированием или расчетом вероятности [4, С. 2]. Это общая тенденция, при которой футурология в итоге «не стала ни особой наукой, ни специфической философией, но превратилась в общее движение научной мысли, обращенной к анализу социальной дина-

мики и ее результатов» [3, С. 283], нашла свое отражение в том числе и в архитектуре – в порой абстрактных визуальных образах будущего (чаще всего градостроительных масштабов). Несмотря на эти вполне обоснованные претензии с точки зрения академической науки, футурология обладает важным качеством – гибкостью подхода при конструировании умозрительных представлений о будущем. Именно эта гибкость позволяет оперировать широким спектром выразительных средств, обогащая визуальные образы (что особенно актуально в области архитектуры, как наиболее наглядной сферы представления глобальных и локальных потенциальных футурологических прогнозов).

Представления о грядущем неизбежно обусловлены текущей эпохой. Пожалуй, одну из наиболее ярких иллюстраций заблуждений настоящего о будущем (среди прочих многих) можно увидеть на страницах журнала *Vogue* 1939 года (фотограф Антон Брюль) (рис. 1), на которой показан человек будущего в футуристическом сером комбинезоне и металлической шляпе с антеннами, разработанной Гилбертом Роде [8, С. 74, 138-139]. Этот образ, сегодня периодически встречающийся на просторах информационной сети, олицетворяет собой общую для всех футурологов проблему – своего рода болезнь ретрофутуризма, явления, показывающего завтрашний мир, основывающийся на устаревших представлениях минувших дней. Прогнозируя будущее, футурологи часто ограничены рамками своего текущего восприятия – их представления о грядущем формируются на основе существующего мировоззрения, взглядов на технический прогресс и понимания способов применения технологий.



Рис. 1. Человек XXI века (фотограф Антон Брюль)¹

¹<https://condenastore.com/featured/male-model-wearing-futuristic-gray-jumpsuit-anton-bruehl.html>

Футурологию (которая является продуктом современного мира, сам термин впервые был предложен в 1943) [3, С. 283], можно рассматривать как научно-фантастическую дисциплину, приспособляющую человека к неизбежной реальности грядущих технологических и социальных изменений [6, С. 522]. В.М. Кишинец, раскрывая значение понятия футурология, акцентирует внимание на очень важном аспекте – технологическом. В его интерпретации футурология – это прежде всего прогнозирование глобальных изменений в образе жизни человечества, базирующееся на изучении перспектив внедрения существенно значимых новых технологий [1]. Однако именно этот аспект чаще всего подводит футурологов – достаточно вспомнить, как на волне технооптимизма в середине прошлого века активно предсказывали распространение космического туризма к началу XXI века, но при этом не предусмотрели возможность широкого распространения домашних компьютеров [5, С. 262]. В результате в XXI веке мы снисходительно смотрим на порой нелепые фантазии предыдущих поколений, поражаясь неуклюжести футурологических допущений, изредка отмечая неожиданные удачные догадки.

Все вышеперечисленные проблемы в равной степени находят свое отражение и в архитектуре – ретрофутуризм при формировании концепции и неспособность предсказать будущую «жизнь» объекта становятся частыми спутниками архитектурных проектов. Пожалуй, один из наиболее ярких примеров последнего времени – история знаменитой капсульной башни Накагин архитектора Кисё Курокавы. Задуманный как динамичный объект, способный к трансформации и гибкой адаптации к меняющимся условиям, проект в итоге столкнулся с целым рядом проблем, от выбора материалов до технологических решений, ставших в дальнейшем скорее препятствием для дальнейшей трансформации здания, что привело к демонтажу знаменитого памятника японского архитектурного метаболизма. Эта общая тенденция, как нам кажется, исходит из предпосылок неточности футурологического знания как такового, общей рыхлости смысловых структур логических допущений при формировании образа будущего, в том числе и архитектурного. Один из способов решения этой проблемы, возможно, стоит искать в области, предваряющий архитектурный замысел – в целеполагании и контексте.

Вновь обратимся к футурологии – ключом к пониманию будущего являются верные научно-технические прогнозы (которые, однако, не могут быть полноценно реализованы, так как ловушка ретрофутуризма, как видно из истории прошлого столетия, по-прежнему сохраняется). Возможное уточнение этих прогнозов можно найти на этапе формирования архитектурного задания – какие именно проблемы технологическими и или/архитектурными средствами необходимо решать. В этом свете особую роль может играть опыт архитектуры экстремальных сред – экстремальные условия часто выступают катализатором футурологических поисков, способствуя созданию новаторских проектных концепций.

Экстремальные природные условия и необходимость справляться с их последствиями, как нам кажется, могут подтолкнуть архитекторов к поиску инновационных подходов и концепций в проектировании зданий и сооружений, обуздав свободный полет фантазии автора. Проекты разной степени проработанности, представленные на холодных полюсах, в засушливых пустынях, глубоких океанских подводных впадинах, вулканах, верхних слоях атмосферы, на других планетах и в открытом космосе решают утилитарные задачи при общем футурологическом подходе к формированию архитектурных образов будущего. Однако, эти, несомненно, интересные задачи, вполне обоснованно могут столкнуться с критикой – зачем нужно осваивать крайне неблагоприятные для обитания человека территории, когда количество нерешенных проблем в условно благоприятных областях не уменьшается, и они все также остаются на повестке дня, играя куда более важную роль в жизни общества?

Как нам кажется, здесь стоит уйти от классических категорий экстремальных сред, несколько раздвинув границы определения, перейдя к экстремальным природно-климатическим условиям. Архитектура в экстремальных природно-климатических условиях решает те же проблемы, отвечая на те же вопросы. Особенно в этом свете интересен опыт японской архитектуры – постоянные тайфуны, цунами и землетрясения стимулировали поиск технологических и архитектурных решений. Основной аспект, общий для японской архитектуры и архитектуры экстремальных сред – это процесс постоянной адаптации к выходящим за рамки нормы условиям.

Обратимся к архитектурному метаболизму – знаменитое японское архитектурное движение середины прошлого столетия, представители которого стремились создать систему, где как отдельное здание, так и город могут постоянно расти и развиваться, несмотря на смелые футурологические проекты, также оказались в ловушке ретрофутуризма. Ограниченные существующими средствами архитектурной выразительности они стремились освоить альтернативные пространства – поднять здания в воздух или же охватить морские просторы («Морской город», «Город в воздухе» (рис. 2) и т.д.), предлагая при этом довольно противоречивые на сегодняшний день архитектурные решения, где огромные мегаструктуры из железобетона должны постоянно «размножаться» обеспечивая процесс метаболизма городской ткани. Однако именно концепция адаптивности и гибкости структуры, пусть и в столь нарочитых и массивных архитектурных формах, стала определяющей, выделив основной вектор развития архитектурной мысли в Японии.

Примечательно, что метаболизм, ставший своего рода архитектурным эскапизмом градостроительных масштабов, несмотря на нереализуемость многих проектов, вновь и вновь оказывается с сфере внимания архитектурного сообщества. Рожденный на руинах Японии, пострадавшей от войны, он истоками уходит в японскую архитектурную традицию – Киёнори Кикутакэ, один из основателей движения, писал, что его первой работой после начала собственной практики стали проекты деревянных зданий, в которых

все основные строительные материалы были переработаны из уже существующих. Опыт работы по расширению и перестройке зданий способствовал появлению интереса Кикутакэ к традиционной деревянной архитектуре Японии – интерпретацией идеи традиционной архитектуры стала «теория замещения» или теория «обеспечения гибкости» – замены и сохранения элементов в системе. Эту теорию Кикутакэ перенес на стальные и бетонные конструкции, стремясь наделить архитектуру способностью свободно меняться в зависимости от потребностей использования или условий нового времени (теория нашла свое отражение в концепции архитектурного метаболизма и проекте собственного дома Кикутакэ «Небесный дом»). Реновация рассматривалась им как эффективная стратегия, способствующая возникновению идей и возможностей, которые будут определять архитектуру XXI века [7, С. 12-17].



Рис. 2. «Город в воздухе» Арата Исодзакэ (1962 г.)²

Такая архитектурная футурология, родившаяся из ограниченности ресурсов и решающая утилитарные проблемы продемонстрировала удивительную жизнестойкость, в дальнейшем получив свое развитие в концепции «смирения» в архитектуре Кэнго Кумы. После Великого восточно-японского землетрясения 2011 года, имевшего катастрофические последствия, в среде японских архитекторов произошел очередной этап переосмысления роли архитектурной профессии и конечной цели, создаваемой ими архитектуры – Кэнго Кума подчеркивал ограниченность сил архитектора, призывая к скромности в своем творчестве, считая, что одной из главных задач, определяющих вектор развития архитектуры в XXI веке станет создание «смиренной архитектуры» [2, С. 21]. Примечательно, что современная японская архитектура стала своего рода парадоксом – развиваясь, с одной стороны, в русле технооптимизма, она стремится путем технологических новаций решить многие проблемы, порождая причудливые формы и предлагая необычные конструктивные решения, с другой, стре-

² <https://www.archdaily.com/912738/the-city-in-the-air-by-arata-isozaki>

мится к простоте архитектурных форм и конструктивных решений, минимализму и утилитаризму.

Остается открытым вопрос, какой именно из этих двух векторов станет в итоге преобладающим, однако, как нам кажется, одно можно утверждать точно – архитектура экстремальных сред (природно-климатических условий), способствует более полной реализации творческого потенциала архитектора, позволяя ему частично избежать ограничений ретрофутуризма. Стихийные бедствия, разрушая окружающую среду, одновременно служат мощным стимулом для инноваций, подталкивая архитекторов к поиску новых решений и технологий.

Список литературы

1. Кишинев В. Что такое футурология и почему не каждый прогноз к ней относится. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/603e88d09a7947707eb6485c?from>.
2. Коновалова, Н.А. Стратегии устойчивости современной архитектуры: "смирение" vs "амбициозность" // Современная архитектура мира. 2022. № 2(19). С. 11-26.
3. Кравченко И.И. Футурология // Новая философская энциклопедия. Т. 4: Т - Я. Москва: Мысль, 2010. С. 283-284.
4. Сапрыкина Н. А., Сапрыкин И. А. Прогнозирование будущего в контексте архитектурной ретрофутурологии // АМІТ. 2015. № 5. С. 1-7.
5. Шмырина, Т. А. Футурология как наука и как предсказание (социально-философский аспект) // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2011. № 9(101). С. 259-263.
6. The Oxford Handbook to Science Fiction. New York: Oxford University Press, 2014. 640 p.
7. Kikutake, K. When Metabolism Was Born of Renovation / Kiyonori Kikutake // The Japan Architect. Tokyo: Shinkenchiku-sha Co., 2009. Vol.73. P. 12-17.
8. Vogue 1939-02-01: Vol 93 Iss. 3.

СОДЕРЖАНИЕ

Архитектура в условиях Крайнего Севера

<i>А.В. Панфилов.</i> Адаптивное и мобильное жилище в условиях Крайнего Севера: синтез традиций, технологий и устойчивого развития.....	9
<i>А.Э. Ерзовский.</i> Пространственные структуры для комфортной жизни в Арктике.....	15
<i>П.С. Семенов, В.А. Сергучева, Д.Ф. Федоров, С.С. Мухомлев, И.А. Докторов, П.Г. Романов.</i> Зависимость энергоэффективности здания от архитектурной формы в условиях экстремально низких температур Якутии.....	29
<i>В.А. Ледовских, В.Р. Орлова, Г.И. Быкова.</i> Специфика возведения архитектурных объектов в северных районах с учетом особенностей экстремальных климатических условий	35
<i>А.В. Денисова, Н.В. Каспер.</i> Концепция научно-образовательного центра с агротехнопарком в условиях Крайнего Севера	41
<i>Д.Ю. Ткачева, С.А. Галеев.</i> Оптимизация фотобиореакторов на основе микроводорослей: современные тенденции и перспективы применения в Арктике	49
<i>А.Д. Ченцова, М.А. Бутузова.</i> Строительство в условиях Заполярья. Необходимость возведения небоскребов в Заполярье	61

Архитектура жаркого климата

<i>А.М. Андреева, Д.Д. Попова.</i> Роль воды в жизни городов Древней Персии	66
<i>А.С. Денисьева, Е.Н. Кузнецова.</i> Основные принципы формирования архитектуры в условиях городской застройки пустыни Сахара	71
<i>А.Ю. Пан, Д.Д. Попова.</i> Масдар: архитектура в условиях жаркого климата	80
<i>О.Р. Турков, Д.Д. Попова.</i> Приемы проектирования зданий для снижения эффекта «теплового острова» в Сингапуре	92
<i>Ю.С. Юрасов, И.Б. Волкодаева.</i> Актуальность применения архитектурных конструкций вантовых покрытий в условиях жаркого климата	99

Архитектура и строительство объектов в особых условиях

<i>Гасанова-Фараджова Кяклик.</i> Архитектура для экстремальных условий: материалы и конструкции для устойчивости.....	102
<i>В.О. Стоянов.</i> Деревянные конструкции в особых условиях эксплуатации.....	107
<i>А.М. Мурашова, Е.Н. Кузнецова.</i> Основные приемы проектирования объектов на подтопляемых территориях	113
<i>А.С. Макарук, Д.Д. Попова.</i> Жилищное строительство на затопляемых территориях.....	123
<i>Л.А. Новиков, Н.В. Ефимова.</i> Сравнительный анализ жилых объектов на воде и под водой.....	133
<i>А.А. Яковлева, В.М. Ключарева, И.В. Соковнина.</i> Венеция – город на воде	145
<i>М.А. Сурнина, Н.Ф. Метленков.</i> Принципы кинетики в архитектуре. Взаимодействие с природными факторами.....	154

Строительство в сейсмоопасных районах

<i>А.С. Ермолинский, Д.А. Гришунов, Н.В. Шешенёв.</i> Конструктивные особенности зданий, возводимых в сейсмоопасных районах	160
<i>А.В. Сидорова, Е.Г. Трибельская.</i> Проектирование высотных зданий в зонах высокой сейсмической активности Мексики и Японии.....	167
<i>Л.П. Грошев, К.И. Колоскова, В.О. Стоянов.</i> Типология сейсмически-устойчивых конструкций в Японии.....	177
<i>Е.А. Стромило, Е.Н. Кузнецова.</i> Влияние сейсмики на архитектуру Китая.....	183
<i>Т.Ж. Турсунбаева.</i> Сейсмостойкое строительство. Современные технологии и опыт мировых практик	192

Архитектура, направленная на ликвидацию природных и техногенных катастроф

<i>Ю.И. Евдокимова, Д.Д. Попова.</i> Общественные пространства и объекты в контексте восстановления после чрезвычайных ситуаций	201
---	-----

Д.В. Федина, Д.Д. Попова. Восстановление среды для жизни после катастроф – использование местных ресурсов 209

А.О. Водозадова, Д.Д. Попова. Быстровозводимые конструкции как решение проблемы организации временного размещения после природных и антропогенных катастроф..... 218

И.А. Миронова, В.И. Тёкина. Подземная урбанистика, как аспект защиты населения и территорий от опасных природных явлений и катастроф техногенного и антропогенного характера 231

Футуристические проекты

П.К. Данилова, Д.Д. Попова. Архитектура в космосе..... 237

С.А. Саитов, Т.А. Сизова. Концепция проектирования и развития научно-исследовательской колонии на Марсе 248

Ф.Я. Шемякин. Архитектурная футурология в контексте архитектуры экстремальных сред (на примере Японии) 253

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 2 ст. 1
----------------	--

Научное издание

АРХИТЕКТУРА ДЛЯ ЖИЗНИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ. МАТЕРИАЛЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Под редакцией *Е.Г. Трибельской*

Компьютерная верстка *Е.В. Орлов*

Дизайн обложки *Д.Д. Попова*

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29
E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 24.07.2025.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Petersburg.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 16,38.
Тираж 500 экз. Заказ № 00000
ТК 862883-2218350-240725

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

Министерство культуры Российской Федерации
Российская академия художеств
Московский государственный академический художественный
институт имени В.И. Сурикова при Российской академии художеств

ФОРМИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

XII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

20-21 марта
2025 года

ISBN: 978-5-16-021234-0



9 785160 212340

