

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

На правах рукописи

ОГОРОДНИКОВ Сергей Николаевич

**ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДУЛЬНЫХ ЖИЛЫХ СИСТЕМ
В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

Научная специальность:

2.1.12 – Архитектура зданий и сооружений.

Творческие концепции архитектурной деятельности

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата архитектуры

Научный руководитель:
Воличенко Ольга Владимировна
доктор архитектуры, доцент

Москва 2026

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ И ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МОДУЛЬНЫХ ЖИЛЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА	18
1.1. Предпосылки формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера.....	18
1.2. Исторический опыт развития модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера.....	26
1.3. Современный опыт развития модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера.....	43
Выводы первой главы.....	62
ГЛАВА II. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДУЛЬНЫХ ЖИЛЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА	67
2.1. Климатические факторы влияющие на формирование архитектуры модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера	70
2.2. Градостроительные принципы проектирования модульных жилых систем.....	77
2.3. Конструктивные принципы, влияющие на разработку модульных жилых систем.....	85
2.4. Влияние логистических факторов на архитектуру модульных жилых систем.....	100
2.5. Современные способы обеспечения автономности модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера	103
2.6. Влияние культурных особенностей Крайнего Севера на современную архитектуру модульных жилых систем	109

2.7. Архитектурно-планировочные принципы проектирования модульных жилых систем	112
Выводы второй главы.....	120
ГЛАВА III. КОНЦЕПЦИЯ МОДУЛЬНОЙ ЖИЛОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	123
3.1. Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера	123
3.2. Проектно-экспериментальное моделирование модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера.....	136
3.3. Рекомендации по проектированию модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера.....	163
Выводы третьей главы	178
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	181
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	186
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	207
Приложение 1. Акт внедрения.....	208
Приложение 2. Сертификаты конференций.....	209
Приложение 3. Патенты.....	213
Приложение 4. Иллюстративные материалы	216

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования представляет несомненный теоретический и практический интерес, так как арктические территории имеют огромное значение для экономики страны и всего мира не только благодаря запасам природных ресурсов, но и как стратегически важная транспортно-коммуникационная система, включающая морские, речные, сухопутные и воздушные пути сообщения и их инфраструктурные объекты. Строительство в северных регионах России имеет большие перспективы, способствуя устойчивому развитию страны, поддержанию энергетической безопасности и улучшению международной конкурентоспособности.

Особый толчок в развитии региона должен дать северный морской путь. Данный проект является флагманом национальной программы «модернизация транспортной инфраструктуры» и подтверждён указом Президента РФ №512 Об утверждении морской доктрины Российской Федерации¹ от 31.06.2022 г.

Помимо Крупного стратегического проекта развития северного морского пути², предусмотрены также национальные проекты направленные на улучшение инфраструктуры региона. В указе Президента РФ от 26.10.2020 о Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года³ регламентируется борьба с депопуляцией, создание благоприятных условий для наращивания человеческого капитала и повсеместного улучшения качества жизни, как в городах так и в сельских и других населенных пунктах, посредством качественного переустройства антропогенной среды, включая развитие транспортной и социальной инфраструктур, реновацию жилищного фонда и наращивание темпов его строительства, реализацию проектов благоустройства.

¹ Об утверждении морской доктрины Российской Федерации: Указ Президента РФ от 31.06.2022 г. №512
КонсультантПлюс: справочно-правовая система. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_423278/;

² Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года в части федерального проекта «Северный морской путь»: Распоряжение Правительства РФ от 30.09.2018 г. № 2101-п // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_308743/ (дата обращения: 09.02.2025 г.)

³ О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 26.10.2020 г. № 645 // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_366065/ (дата обращения: 15.01.2024 г.)

Данные задачи формируют особые вызовы для слаборазвитых регионов, формируя запрос на переосмысление логистических цепочек и методов строительства.

Развитие инфраструктуры и промышленности на этих территориях является стратегическим приоритетом для национальной экономики, что подтверждается указом Президента № 164 об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года⁴ от 05.03.2020 г. Модульные жилые системы могут сыграть ключевую роль в обеспечении быстрого и экономичного освоения этих ресурсов, сокращая затраты и временные рамки строительства.

Освоение северных территорий связано не только с экономическими интересами, но и с улучшением условий жизни для населения, проживающего в этих регионах, причем особое внимание уделяется вопросам экологии, что также подчеркивает актуальность поднимаемых проблем. Благодаря национальной программе «Экология», включающей 10 федеральных проектов, срок реализации, которых с 2019 по 2030 г., в нашей стране были организованы 24 новые особо охраняемые природные территории, а на уже действующих 236 проходит работа по защите окружающей среды и сохранению биоразнообразия. Регион Крайнего Севера является перспективным и приоритетным направлением развития Российской Федерации, что подкрепляется многочисленными государственными и национальными программами, с этой точки зрения актуальность исследования в области жилой архитектуры не вызывает сомнения. Модульные системы могут стать одним из ведущих способов освоения данной территории и способствовать развитию туризма.

Государственный национальный проект, направленный на развитие внутреннего туризма «Туризм и индустрия гостеприимства» (2021–2024 г.) стимулируют развитие объектов туристической инфраструктуры. В 2024 г. Правительство РФ приняло решение продолжить программу по поддержке строительства быстровозводимых

⁴ Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года: Указ Президента 05.03.2020 г. № 164 // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_347129/ (дата обращения: 10.01. 2025 г.).

модульных отелей: увеличить объемы финансирования и размер субсидии, а также расширить географию реализации. Всего по итогам конкурсных отборов поддержана реализация 636 инвестиционных проектов в 61 регионе на 14,5 тыс. номеров. Не смотря на интерес государственных и частных лиц в данном направлении, существует ряд сложностей с адаптацией существующих модульных жилых систем к условиям Крайнего Севера.

Модульные жилые системы могут создавать комфортные, экологически устойчивые жилые и производственные пространства. Повышение уровня комфорта и условий проживания на Крайнем Севере будет способствовать снижению миграции населения из региона. Но в противовес большим перспективам развития северных регионов актуальность исследования подкрепляется существующими проблемами. В первую очередь это маятниковая миграция населения, связанная с большим количеством вахтовых сотрудников, что влияет на качество жилого фонда. Низкая развитость инфраструктуры так же затрудняет развитие региона и сказывается на доступных материалах и качестве финального продукта. Отсутствие строительных практик приводит к низкому уровню усадебного и дачного домостроения несмотря на высокий спрос со стороны местного населения.

Актуальность данной проблемы определяется необходимостью: усовершенствования качества архитектурно-строительных конструкций; решения логистических и экономических трудностей; повышением туристической и инвестиционной привлекательности региона; решения вопросов расселения в результате маятниковой миграции; повышения уровня жилой среды и комфорта возводимого жилья.

Несмотря на востребованность жилых модулей на Крайнем Севере, сложные логистические цепочки делают экономически нецелесообразным использование образцов, разработанных для средней полосы России, не приспособленных к суровому северному климату. Даже качественные модели не отражают национальной идентичности коренного населения севера, уникальные исторические и культурные характеристики территории не включаются в систему формирования среды застройки

населенных мест, снижая тем самым степень туристической привлекательности. В свете этих факторов, разработка и применение модульных жилых систем для Крайнего Севера представляет собой актуальную и востребованную область исследований.

Степень разработанности темы по освоению и проектированию модульных систем для Крайнего Севера охватывает несколько научных направлений, таких как климатология, география, экология, социология, строительство и архитектура. В существующей литературе подробно исследованы как исторические подходы, так и современные технологии строительства зданий в условиях сурового климата.

Экстремальные климатические условия Крайнего Севера, характеризующиеся низкими температурами, высокой относительной влажностью, сложным аэродинамическим режимом, вечной мерзлотой грунта и т.д. освещены в работах отечественных и зарубежных ученых. *Физико-механические свойства мерзлых грунтов* и их влияние на устойчивость строительных объектов описаны в трудах П. П. Мельникова, М. И. Сумгина, В. И. Гребенеца, Сабитова Л. С. *Общие вопросы влияния суровых условий Севера на среду обитания рассматривали* такие известных географы, как И. С. Гурвич, Г. М. Лаппо, Е. В. Перцик, Ф. П. Литке, В. А. Русанов, Г. Я. Седов, О. Ю. Шмидт, И. Д. Папанин, А. П. Карпинский, М. М. Сомов, А. Н. Чилингаров, Н. Н. Урванцев, Р. Л. Самойлович и др. Проблемам освоения ресурсов Северных земель посвящены труды советских и российских географов: Г. А. Агранат, изучал экономические, климатические и культурные составляющие региона; С. В. Славин установил критерии определения границ Крайнего Севера; О. П. Литовка, Ж. А. Зайончковская анализировали социально–экономические вопросы; П. А. Горшков ресурсный потенциал. *Вопросы энергоэффективности освещали:* Ю.А. Табунщиков, А. Ловинс, В. Файст, К. Янг, Х. А. Бенаи и др.

С начала XX века активное исследование территорий Крайнего Севера велось в двух противоположных направлениях. Первая группа учёных продвигала идеи капитального строительства и постоянного пребывания человека в северных регионах, в то время как их оппоненты были сторонниками вахтового освоения Севера. *К сторонникам капитального освоения Крайнего Севера можно отнести известного*

градостроителя Э. П. Путинцева, внёсшего особый вклад не только в научные и теоретические исследования, но и в практическое применение своих исследований; экономиста Г. П. Лузина который одним из первых стал продвигать идею северного морского пути как источник благосостояния Крайнего Севера; свой вклад также внесли: С. В. Апарин, А. Г. Аганбегян, В. А. Агранат, Н. В. Суханов, И. Л. Криницкая, Е. А. Калеменева, М. Е. Славин, Н. Н. Кристанов и др. *Сторонникам вахтового метода были* Н. Г. Хайруллина, Э. Я. Фейгина, В. М. Агапкин, Н. Ю. Гаврилова, С. Г. Симонов и др. А. Д. Хайтун, П. С. Сапожников, А. Д. Чудновский опираясь на специфику освоения северных территорий России разработали концепцию вахтового метода освоения природных ресурсов Севера; А. Н. Силин исследовал эффективность вахтово-экспедиционной схемы организации работ; С. Г. Симонов изучал особенности ритмов жизнедеятельности северян, работающих вахтовым методом, и их влияние на социальную структуру регионов.

Проблемы строительства поселений в экстремальных условиях привлекали пристальное внимание архитекторов и градостроителей. М. Г. Ганопольский анализировал модели расселения, организацию труда и взаимодействие между вахтовыми рабочими и местным населением, предлагая концептуальные подходы к устойчивому развитию северных территорий; С. П. Литенкова исследовала процессы формирования социальной и культурной среды в условиях индустриального освоения севера, А. П. Борисов изучал культурные аспекты северных поселений, Ю. Д. Брусникин, Л. Г. Назарова, С. Д. Митягин занимались градостроительными принципами, также общими вопросами освоения северных регионов занимались: Л. К. Панов, М. Е. Вайтенс, А. В. Махровская, Т. И. Алексеева, Т. М. Паланова, В. М. Пивкин, В. М. Мякиненков, З. Г. Новотельнова, К. И. Морозова, Б. М. Полуй, П. П. Поздняков, И. Т. Дендерин, В. А. Пунтус, Ю. И. Блинов, Г. В. Куликов, К. Г. Туралысов, Э. А. Миленина, Ю. Б. Хромов, Р. И. Хамецкий, А. И. Шипков, Т. Н. Чистяков, И. Г. Лежава, К. К. Карташова, Н. Н. Алексеев и др. *Среди наших современников данную тему исследуют:* К. А. Лыткин, который акцентирует внимание на взаимосвязи архитектуры и природы, С. А. Галеев занимается формообразованием и исследованием новых

материалов, Н. А. Сапрыкина исследует модульные и мобильные конструкции, также данные вопросы изучают: О. М. Благодетелева, М. Джул, П. Дикенсон, Г. Локкен, Н. Прессман, А. Уилсон, М. Уайт, О. Фрей, М. Сафди и др.

В исследованиях модульных жилых систем начиная со второй половины XX века особое внимание уделяется энергоэффективности зданий и использованию инновационных материалов для утепления. Исследуются архитектурные формы, которые помогают уменьшить теплопотери и повысить энергосбережение. *Вопросы логистики и компактности были исследованы Ю. П. Афанасьевым, который был одним из основоположников блочного домостроения в СССР, Н. В. Сухановым, изучающим автоматизацию и управление технологическими процессами, Т. С. Моргуновой и др. В зарубежной практике наиболее интересные разработки можно выделить у Р. Б. Фуллера, К. Танге, Д. Стирлинга, Х. Бенедетти и др.*

Вопросы модульного домостроения исследовали: В. Г. Шухов чьи инженерные разработки дали толчок блочным элементам, А.И. Лешкевич, его разработки позволили создать здания которые собирались из стандартных модулей, Ю.Н. Кедровский занимался временными модульными зданиями, схожие исследования проводили: А. И. Кузнецов, М. В. Посохин, Н. А. Лазарев, А. В. Боков, Н. А. Сапрыкина, А. В. Розенберг, С. А. Чобан, А. Н. Комов, В. С. Кузьмин, Е. В. Асс. На международном уровне данной темой занимались: Ле Корбюзье, который вывел на новый уровень проектирование жилых единиц и блочных конструкций, Ж. Пруве, К. Ваксманн, В. Гропиус, М. Сафди, К. Курокава, Ш. Бан, Ф. Отто, Н. Фостер, Б. Ингельс, К. Икеда, А. Аравена, Ф. Старк, К. Морке-Йенсен.

Немаловажную для Крайнего Севера тему *национальной идентичности и исторического наследия исследовали: Н. Н. Воронин, О. В. Воличенко с акцентом на преемственность архитектурных особенностей и этнических мотивов; А. Н. Лаврентьев, Б. А. Рыбаков, Т. В. Вавилонская и др.*

Среди архитектурных бюро и проектных институтов, наибольшую заинтересованность в модульном домостроении проявляет проектное бюро «Моспроект–2» которое разрабатывает проекты, включающие элементы сборного и

индустриального строительства, «Архитектурное бюро АБГ» – занимается проектированием как жилых, так и общественных зданий с использованием сборных конструкций и модульных систем, «ООО Строительный Альянс» – компания, которая разрабатывает проекты модульных и сборных жилых домов, активно внедряя в своей практике принципы индустриального домостроения, «ТехноНИКОЛЬ» компания, разрабатывающая решения для индустриального строительства, включая модульные здания.

Среди зарубежных фирм можно выделить: katerra – одна из крупнейших американских компаний, занимающихся разработкой модульных и сборных зданий, Lendlease – международная компания, которая также активно занимается строительством с использованием модульных и сборных конструкций, Algeco – европейская компания, специализирующаяся на модульных зданиях, Icon – компания, занимающаяся 3D-печатью зданий и модульным строительством, BIG (Bjarke Ingels Group) – международное архитектурное бюро, которое разрабатывает проекты, использующие модульные и сборные технологии, ZEDfactory – архитектурное бюро, которое разрабатывает экологически чистые и энергоэффективные модульные дома с использованием возобновляемых источников энергии.

По количеству исследований и разработок модульных жилых систем можно обратить внимание на растущую актуальность данной темы, применение модульных конструкций в работах вышеперечисленных научных деятелей и архитектурных бюро ограничивается не только труднодоступными регионами на Земле, но и рассматривается как самый оптимальный вариант для колонизации других планет. Однако среди отмеченных работ отсутствуют комплексные исследования совмещающее в себе модульное домостроение и адаптивность к суровым климатическим условиям; слабое внимание уделено логистике в труднодоступные регионы; материалы и конструкции, используемые в перечисленных исследованиях, требуют актуализации и систематизации.

Модульные жилые системы представляют собой совокупность архитектурных и инженерных решений, формирующих жилую среду посредством применения

унифицированных пространственных модулей высокой заводской готовности, интегрирующих климатические, этнические и историко-культурные детерминанты региона строительства в единую систему. Такие модули изготавливаются в контролируемых производственных условиях, транспортируются на строительную площадку и объединяются в единые блоки. Совокупность взаимосвязанных модулей, объединённых в единую пространственную структуру и имеющих общий инженерный узел, образует модульную жилую систему.

Объектом исследования являются модульные жилые системы, предназначенные для эксплуатации в условиях Крайнего Севера, включая их конструктивные особенности, материалы, способы соединения модулей и методы монтажа на местности.

Предмет исследования – принципы объемно–пространственного формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера, обеспечивающих повышение их энергоэффективности и устойчивости.

Цель исследования – выявить принципы формирования модульных жилых систем и методы энергоэффективного строительства, сформулировать практические рекомендации для районов Крайнего Севера.

Поставленная цель исследования обусловила решение следующих **задач**:

1. Проанализировать исторический опыт проектирования и выделить основные периоды освоения Крайнего Севера согласно архитектурно–градостроительным особенностям.

2. Выполнить оценку потенциала модульных жилых систем с точки зрения энергоэффективности, автономности, адаптивности и эффективности строительства и эксплуатации в условиях сурового климата, ограниченной инфраструктуры и труднодоступности территорий.

3. Изучить особенности физико-климатических условий Крайнего Севера и дать оценку их влияния на строительные и эксплуатационные характеристики зданий; минимизировать негативное влияние климатических условий и их последствий.

4. Выявить принципы и методы строительства модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера на основе физико-климатических и исторических особенностей региона.

5. Разработать практические рекомендации по проектированию модульных систем для эффективной реализации принципов энергоэффективности и устойчивости в северных регионах (на примере Норильска).

6. Разработать концептуальную модель модульных жилых систем для Крайнего Севера на основе интеграции данных исследования и методических рекомендаций.

Гипотеза исследования. Внедрение модульных жилых систем способно повысить уровень условий проживания в регионах Крайнего Севера, и в других труднодоступных районах. Принципы формирования модульных систем, предлагаемых для условий Крайнего Севера, разрабатываются на основе комплексного подхода, акцентируя внимание на экологических и историко-культурных факторах региона. Особое внимание при этом уделяется разработке методов устойчивого развития, автономности их функционирования, продуманности логистических решений и использованию этнокультурных особенностей для выявления аутентичности места. Модульные жилые системы в условиях Крайнего Севера могут сформировать новый тип модульных туристических баз и вахтовых поселков. Разработанные архитектурно-планировочные, логистические, объемно-пространственные принципы, можно использовать в практической деятельности, а также как основу для проведения дальнейших научных исследований. Предлагаемая экспериментальная модель будет иметь полную ресурсную автономность, логистическую обоснованность и легкость сборки, уникальный архитектурный облик с учётом местных традиций. Дополнительным преимуществом модуля станет его мобильность и простота транспортировки и сборки.

Границы исследования. Территория Крайнего Севера достаточно обширна, занимая около 70 процентов от всей площади России. Поэтому для более глубокого исследования был выбран участок, расположенный на севере Красноярского края в пригороде города Норильска. Он включен в перечень районов, отнесенных к

территориям Крайнего Севера, и характеризуется суровыми климатическими условиями, низкими температурами, электромагнитными возмущениями и вечной мерзлотой.

Временные рамки исследования ограничиваются современным опытом модульного домостроения начиная с конца XX столетия, когда началось интенсивное освоения северных регионов с применением современных материалов и подходов, вплоть до настоящего времени.

Научная новизна исследования ориентирована на разработку основных принципов модульного домостроения и заключается в следующем:

- предложена периодизация исторического опыта строительства в условиях Крайнего Севера;
- разработаны новые планировочные и конструктивные принципы модульных жилых систем для условий Крайнего Севера;
- изучены логистические особенности региона и их влияние на архитектуру и строительство;
- разработаны принципы адаптации модульных конструкций для транспортировки и быстрой сборки без использования тяжёлой строительной техники в условиях ограниченного доступа к площадке строительства и материалам, что особенно важно для удалённых территорий;
- выработаны принципы вариативности архитектурных решений, позволяющие изменять планировочные и визуальные характеристики модульного жилого комплекса;
- разработана комплексная теоретическая модель модульной жилой системы, интегрирующая климатические, этнические и историко-культурные детерминанты региона строительства в единую систему проектирования, обеспечивающую вариативность пространственных решений за счет полиморфной компоновки стандартизированных модулей.

Таким образом, исследование вносит значительный вклад в модернизацию подходов к строительству в северных регионах, предлагая эффективные и устойчивые решения для освоения Крайнего Севера.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в систематизации существующего опыта модульного домостроения для северных регионов; обобщением современных и исторических архитектурно–композиционных принципов модульного домостроения; разработкой и апробацией комплексного подхода проектирования модульных блоков. Результаты исследования актуализируют представления об объекте изучения в таких областях, как архитектура и градостроительство.

Практическая значимость состоит в потенциале применения результатов исследования для проектирования, строительства и эксплуатации жилых объектов в условиях Крайнего Севера; разработке региональных и государственных программ развития северных территорий; лекционных и методических материалов; дальнейших исследований в области градостроительства и архитектуры северных регионов, а также проведения семинаров и практических занятий.

Методология и методы исследования направлены на системное изучение особенностей строительства в условиях Крайнего Севера, опираясь на комплексный подход, включающий использование различных методов для получения всесторонней и объективной картины. В ходе научного исследования использовались историко-культурные методы, системно-структурный и сравнительный анализ, методы экспертных оценок, методы обобщения и абстрагирования, моделирования и другие.

На основе *системно-структурного метода* раскрывается влияние внешних и внутренних взаимосвязей между природными, социальными, экономическими и техническими факторами, влияющими на проектирование и строительство на Крайнем Севере. С помощью *методов архитектурной климатологии* были определены территориальные особенности, оказывающие влияние на выбор строительных материалов, технологий и архитектурных форм. Проведена оценка логистических проблем, связанных с доставкой материалов в удалённые регионы.

Социо-демографические методы позволили проанализировать влияние специфичных условий северных регионов на население и особенности их социального обустройства. Проведенный анализ, выявил достоинства и недостатки стационарного

и мобильного способов освоения региона и влияние их на качество жизни местного населения. *Историко-культурные методы* анализа позволили изучить накопленный опыт освоения и строительства в северных регионах России и осмыслить влияние культурных и исторических традиций на развитие архитектурных решений.

При оценки технических аспектов строительства в условиях многолетней мерзлоты и экстремальных температур использовались *конструктивно-инженерные методы* анализа, позволяющие разработать решения, направленные на обеспечение устойчивости зданий. С помощью *экологических методов* проводилось изучение воздействия строительных работ на окружающую среду. В условиях арктических регионов, где природа особенно чувствительна к изменениям, необходимо учитывать факторы экологии и разрабатывать решения, минимизирующие вредное влияние на экосистемы. *Архитектурно-планировочные методы* позволили исследовать практическую эффективность проектируемых зданий в условиях Крайнего Севера. Была поставлена задача оценить функциональность и пригодность проектируемых конструкций для повседневного использования.

Применение комплексной методологии позволяет не только детально изучить все аспекты строительства на Крайнем Севере, но и предложить практические рекомендации, направленные на улучшение качества жизни и повышение эффективности использования ресурсов в условиях сурового климата.

Положения, выносимые на защиту:

- архитектурно-планировочные особенности и этапы развития традиционных жилищ в условиях Крайнего Севера;
- особенности современных архитектурно-планировочных решений жилых объектов в условиях Крайнего Севера;
- принципы обеспечения автономности, адаптивности и энергетической независимости модульных жилых систем;
- рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера;

– теоретико-экспериментальная модель проектирования модульных жилых систем.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Материалы диссертационного исследования, общая концепция, результаты и практические рекомендации неоднократно презентовались и обсуждались на научных семинарах и международных научно-практических конференциях, таких как: международная конференция «Культура. Наука. Производство» (Норильск, 24 апреля 2020 г.); III межрегиональная конференция отделений ВООПИК Сибирского федерального округа «Проблемы сохранения историко-культурного наследия и пути их решения в современных условиях» (Томск, 15 мая 2019 г.); VI Международная научно–практическая конференция (Уфа, 19 ноября 2021 г.); Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование (Иваново, 27 марта 2025 г.); Современные проблемы развития Европейского Севера (Ухта, 29 мая 2025 г.); In The World Of Science and Education (Тараз, Казахстан, 20 октября 2024 г.); Science and modernity (Бишкек, Кыргызстан, 7 мая 2025 г.).

Проектные предложения, внедряющие модель модульной жилой системы занимали призовые места в ряде международных конкурсов, таких как: Urban adaptation (Aalto university, Финляндия) конкурсный проект «Зерно» (январь 2020 г.; 2 место); New spatial reality of cities post COVID–19 (Скопье, Северная Македония) конкурсный проект «Панацея» (май 2021 г.; 1 место); Electric Autonomy (Канада) конкурсный проект «VIM» (ноябрь 2021 г.; почётное упоминание).

Результаты исследования широко обсуждались специалистами и учёными научно-исследовательского института физики Земли им. О. Ю. Шмидта, геоэкологии имени Е. М. Сергеева, архитектуры и дизайна Сибирского федерального университета, Московского архитектурного института, Российского научного фонда «Пространственная адаптация жилища к процессам деградации вечной мерзлоты», лаборатории геоэкологии Севера, географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. Представленные автором научные результаты исследования нашли отражение в научных публикациях в соответствии со списком научных трудов.

Предложены наиболее эффективные архитектурные решения модульных жилых систем для условий Крайнего Севера. Предлагаемые модели, проектные предложения, конструктивные схемы и архитектурно – планировочные решения, были зарегистрированы в Федеральном Институте Промышленной Собственности.

Соответствие научной специальности. Тема исследование соответствует следующим направлениям специальности 2.1.12:

1. Особенности формирования архитектурной образности, формообразования и стилеобразования исторической и современной архитектуры России и других стран.
2. Социально-культурные, экологические, экономические и функциональные аспекты исторического развития мирового и российского градостроительства, архитектуры, средового дизайна, ландшафтного искусства.
3. Технические закономерности, конструктивные и планировочные особенности в историческом и современном архитектурно-строительном искусстве.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, библиографического списка и приложений, включающих таблицы и рисунки, упорядоченных согласно логике представления материала в тексте.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ И ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МОДУЛЬНЫХ ЖИЛЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

1.1. Предпосылки формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Значительный туристический потенциал Российской Федерации детерминирован, в первую очередь, её северными регионами. Пространства Крайнего Севера и приравненные к ним территории, совокупно составляющие более половины площади страны, представляют собой крупнейший на планете природно-географический комплекс, обладающий высоким и пока ещё не до конца реализованным туристическим потенциалом.

Ресурсная база и научные станции в северных регионах, стимулируют научно-технический прогресс, являясь значимым фактором развития экономического потенциала России. Инновационные компании стремятся вывести отечественную промышленность на уровень передовых мировых экономик. Реализация этой цели невозможна без использования новейших научных достижений. В настоящий момент в городах Крайнего Севера остается много малоэффективно используемых или заброшенных территорий, часть которых вследствие активной городской застройки оказалась внутри населённых пунктов, порой прямо в центре новых развивающихся районов [75].

Освоение северных территорий становится актуальной задачей для профессионалов из разных сфер деятельности. Архитекторы не меньше других заинтересованы в решении проблем освоения северных территорий – формирования внешнего облика городов и конкретных объектов, создания сценария взаимодействия между людьми.

Освоение северных территорий для специалистов широкого спектра профессий.

Большое влияние на развитие экономики, как в России, так и в мире в последние годы оказывает туризм. Российские путешественники относительно недавно начали открывать для себя северный регион, в отличие от иностранцев, которые и раньше посещали локации с экстремальным климатом. Несмотря на это отставание, Россия с каждым годом повышает популяризацию северного туризма и в 2024 году популярность северных регионов выросла на 7% в сравнении с 2023 годом и достигла 3 миллиона человек [74]. Туризм рассматривается как значимый фактор увеличения национального дохода, особенно для регионов, обладающих благоприятными природно-климатическими условиями, неповторимыми ландшафтами, историко-архитектурным наследием, богатым биоразнообразием или самобытной культурой. Уникальность северных и арктических территорий заключается, во-первых, в многообразии северных народностей, проживающих на ней; во-вторых, здесь расположена треть экологически чистой территории России, почти нетронутой человеком; в-третьих, там сосредоточено около 80 % запасов полезных ископаемых страны.

Туризм может дать весомый импульс для развития экономики российского Севера. С этой целью необходимо изучать и перенимать зарубежный опыт. Например, в Норвегии развитие туристической отрасли стало эффективным инструментом выхода из кризиса прибрежных рыболовецких регионов. Кризис был вызван стремительным сокращением рыбных ресурсов. В этих условиях туризм способствовал не только укреплению экономики, но и поддержке традиционного хозяйства коренных народов, а также продвижению их продукции на рынки Финляндии, Канады и Аляски [182].

Опыт северных регионов зарубежных стран, в которых развитие туризма стало фактором экономического роста, позволяет выявить возможности и перспективы для аналогичных территорий России с близкими природно-климатическими условиями. Это направление способно оказать положительное воздействие на социально-экономическое развитие и обеспечить поддержку малочисленному коренному населению Севера. Наиболее перспективными формами продвижения туристической

области на Крайнем Севере становится экологический, этнографический, экстремальный, спортивный и познавательный туризм.

Основными факторами мешающим развитию туризма по-прежнему остаются: 1) дефицит в квалифицированных кадрах; 2) низкая плотность автомобильных дорог; 3) недостаточное развитие туристической инфраструктуры; 4) высокая стоимость проживания в гостиницах и других услуг; 5) препятствия для привлечения инвестиций.

В XX веке на Севере в основном развивались промышленные отрасли, например, в Норильском промышленном районе (НИР), занимающим большую часть Таймырского национального округа, сосредоточены богатые залежи медно-никелевых руд и газовые ресурсы страны [116].

Северные регионы на данный момент испытывают целый ряд проблем, среди которых самыми очевидными являются: 1) неразвита туристическая инфраструктура; 2) большая удаленность населенных пунктов друг от друга; 3) низкая транспортная доступность; 4) высокая ресурсоемкость обеспечения жизнедеятельности; 5) выраженная сезонность из-за суровых зим; 6) зависимость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от поставок топлива, продовольствия и товаров первой необходимости из центральных регионов; 7) нерациональное использование природных ресурсов Севера.

Вышеизложенные проблемы, следует рассматривать как следствие географической удаленности, климатических условий и слабого развития туризма в северных регионах [109]. Практика показала, что вахтовый метод освоения территорий нередко приводит к их запущению и снижению уровня социально-экономического благополучия региона. В то же время уникальные природные ресурсы и богатства недр становятся важнейшими факторами экономического развития России.

Места, оставшиеся вдали от современных процессов глобализации, обширные территории нетронутые цивилизацией и огромные запасы ресурсов – факторы, открывающие возможность к интенсивному развитию Крайнего Севера.

С конца 1980-х годов жизнь общества претерпела значительные изменения: промышленность и технологии развивались гораздо быстрее и динамичнее, чем туристическая отрасль. Однако развитие туризма способно быстро запустить процессы, направленные на преобразование и улучшение архитектурно-пространственной среды.

В настоящее время одним из ключевых требований к архитектуре является её адаптивность и гибкость. Возможность изменения внутреннего содержания архитектурного объекта при сохранении внешней формы превращается в ключевой фактор его модификационных изменений [45]. Внутренняя структура пространства должна иметь гибкость и быть адаптивной не только к кратковременным задачам, но и к глобальным переменам.

Урбанизация полярных территорий, начавшаяся в XX веке, привела к радикальным изменениям. Известный исследователь Крайнего Севера архитектор Т. В. Римская-Корсакова отмечает, что уже в начале 70-х гг. прошлого века «вахтовый метод освоения территорий сменился принципом постоянных поселений, что на ментальном уровне советских граждан, присоединило северные регионы к основной части страны, приравняв их к неотъемлемым единицам социального и культурного пространства государства» [99].

Освоение Крайнего Севера и проектирование модульных жилых систем, отвечающих внешним условиям и внутренним запросам пользователей, имеет комплексный, междисциплинарный характер, включая такие области как строительство, климатология, архитектура, экономика, социология и т.д. (Рис. 1.1). В существующей научной литературе подробно исследованы как исторические, так и современные способы возведения зданий для северных широт.

СХЕМА СВЯЗЕЙ НАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН И НАПРАВЛЕНИЙ В ОБЛАСТИ МОДУЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

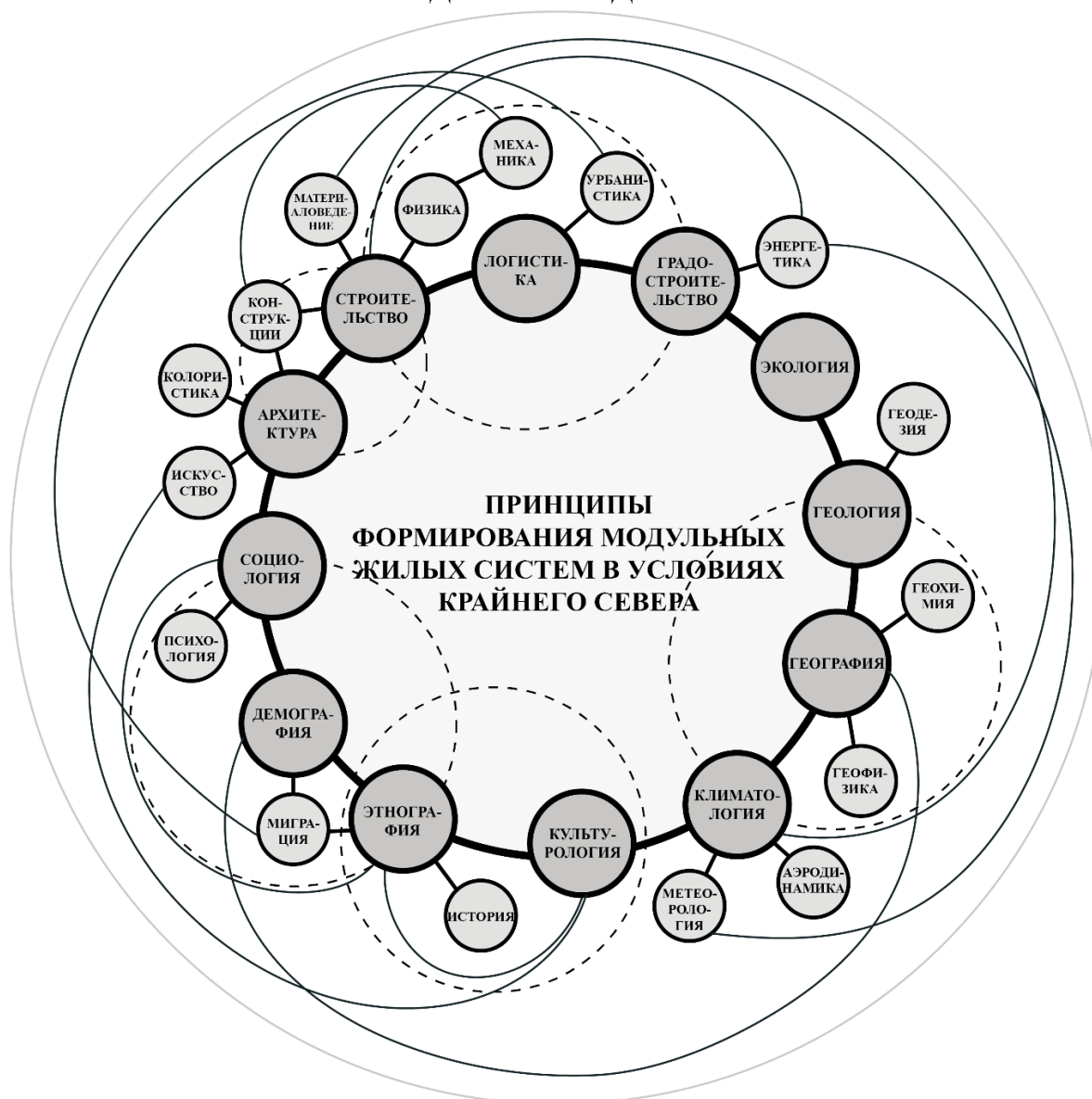


СХЕМА ОБЛАСТЕЙ И ГРАНИЦ ИССЛЕДОВАНИЯ



Рисунок 1.1. Схема связей научных дисциплин и направлений в области изучения модульных жилых систем

Экстремальные климатические условия Крайнего Севера, хорошо освещены в работах отечественных и зарубежных ученых. М. И. Сумгин [128] изучал физико-механические свойства мерзлых грунтов, В. И. Гребенец [27] исследовал их строение на примере грунтов в пригороде Норильска, Д. А. Стрелецкий [125] описал влияние многолетней мерзлоты на устойчивость строительных объектов. Г. А. Агранат [2], внёс весомый вклад в изучение экономических, климатических и культурных составляющих региона, а С. В. Славин установил критерии определения границ Крайнего Севера [115].

Среди наших современников данную тему исследуют: К. А. Лыткин, который акцентирует внимание на взаимосвязи архитектуры и природы, описывает истоки органичности северной архитектуры и предлагает применение традиционных строительных техник в своих футуристичных проектах [69]; С. А. Галеев занимается формообразованием и исследованием новых материалов с акцентом на экстремальную среду Арктики, прорабатывает принципы автономности и адаптивности жилых и многофункциональных зданий [21]. Н. А. Сапрыкина внесла существенный вклад в исследование модульных и мобильных конструкции с адаптацией к условиям Крайнего Севера и описала их в своей работе «Мобильное жилище для Севера» [108]. Перечисленные деятели и исследования подчёркивают актуальность модульного домостроения не только в удалённых регионах Земли, но и для колонизации других планет.

Модульные жилые единицы являются образцом практичного и адаптируемого подхода и получают широкое распространение в отдаленных от цивилизации местах. На основе модульных конструкций строятся туристические поселки, частные жилые комплексы, научные станции и вахтовые поселения. Данная тенденция наблюдается в России, Норвегии, Финляндии, Швеции, Канаде и Аргентине, где северные регионы и провинции являются наиболее перспективным местом для применения модульных жилых систем. Интерес к регионам с суровым северным климатом в значительной степени обусловлен национальным вниманием к развитию отдаленных и богатых ресурсами регионов.

Данный подход поддерживается государственными программами и инвестициями, направленными на то, чтобы сделать эти районы более доступными как для местных жителей, так и для туристов.

География и климат Крайнего Севера создают особые проблемы для традиционных методов строительства, требуя разработки уникальных решений. Вечная мерзлота, сильные ветра и экстремальные температуры требуют устойчивых и технологичных решений. Модульные жилые системы, известные своей быстрой сборкой и мобильностью, являются оптимальным решением для развития северных поселений, соблюдая экологические ограничения свойственные этим хрупким экосистемам.

Актуальность развития северных территорий подкрепляется стратегическими инициативами по развитию Северного морского пути, проектами экологического туризма и планами по экономической экспансии. Подобные проекты требуют современных подходов к инфраструктуре, способной противостоять суровым климатическим условиям с минимальным воздействием на окружающую среду. В этом контексте модульное строительство рассматривается как инструмент ускоренного и эффективного обустройства территорий, способный повысить привлекательность жизни в северных регионах, а также обеспечить условия для диверсификации экономики, в том числе за счёт развития туризма и смежных отраслей.

Формирование модульных жилых систем на Крайнем Севере продиктовано потребностью развития гибких форм расселения, отвечающих особенностям маятниковой миграции, характерной для северных территорий (Рис. 1.2). Такие системы способны создавать временную и сезонную инфраструктуру, необходимую для освоения ресурсных месторождений, позволяя обеспечить работников современными и комфортными условиями проживания. В то же время модульные решения открывают новые возможности для развития сектора частного домостроения, который сегодня в северных регионах развит слабо из-за высокой стоимости строительства и сложностей с логистикой. Модульные жилые системы

способны формировать инфраструктуру для приёма туристов в труднодоступных районах, способствуя развитию экологического и этнокультурного туризма, а также популяризации уникального природного и культурного наследия Крайнего Севера.

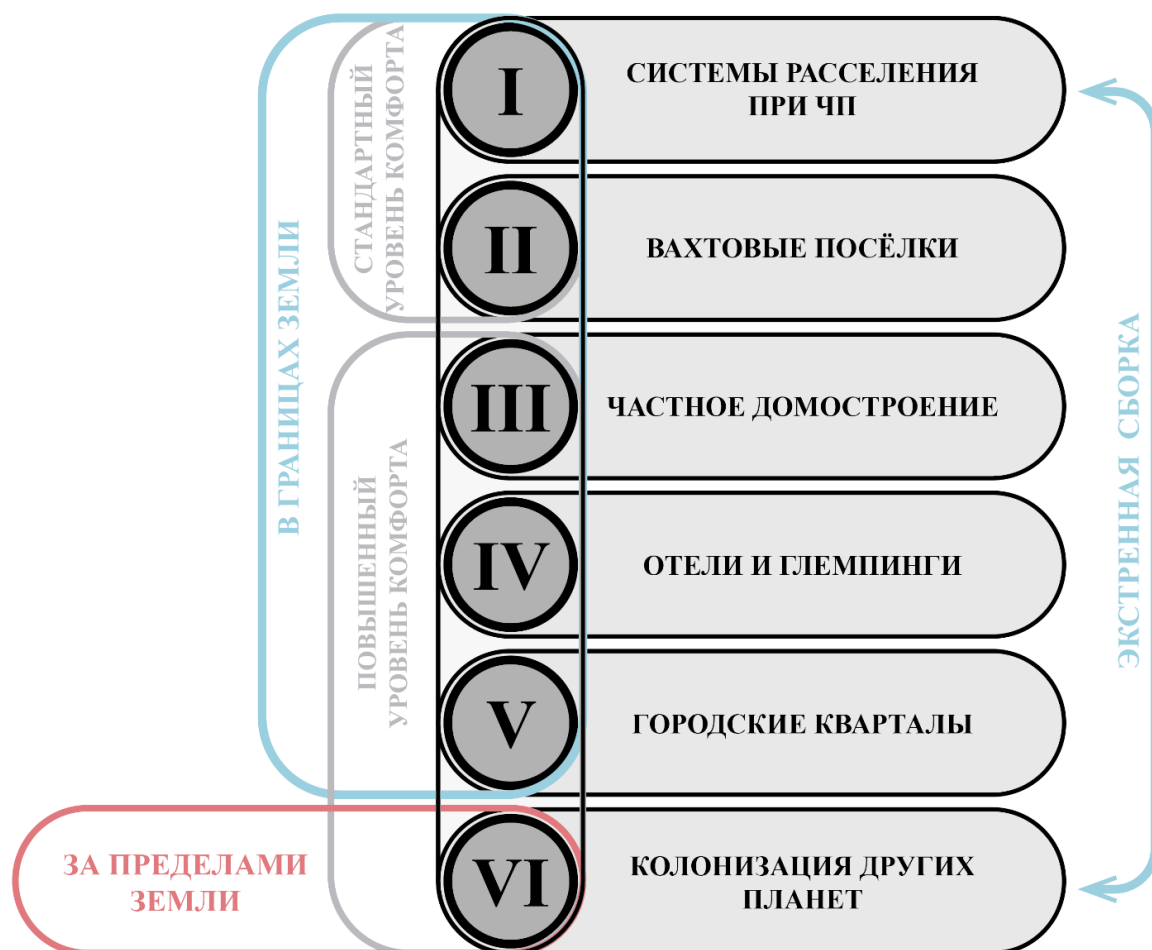


Рисунок 1.2. Схема сфер применения модульных жилых систем

Модульные конструкции, собранные в заводских условиях и легко транспортируемые в отдаленные места, формируют высококачественные жилые блоки, которые могут адаптироваться к конкретной местности и климату Крайнего Севера. Кроме того, эффективность модульного строительства позволяет сократить трудозатраты на строительной площадке, уменьшив сроки строительства, что является важным фактором в регионах с короткими строительными сезонами.

1.2. Исторический опыт развития модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Проектирование любого архитектурного объекта следует начинать с изучения строительного опыта коренных народов соответствующей территории. Традиционные северные жилища изучали такие известные этнографы как Л.В. Хомич [139], А.В. Смоляк [119], А.А. Попов [92], Н.В. Плужников [91], В.Г. Богораз [8], И. С. Гурвич [28] и др. Исследованием организации пространства, конструктивной системы, энергоэффективности и дизайна жилища коренных народов севера занимались Н. В. Тиняева [132], К. А. Лыткин [70] Ю. Б. Симченко [114], С. Н. Смирнова [118], С. Г. Чубаров [140], А. В. Головнёв [23], А. В. Загоруйко [41] и др. Веками проверенные типы жилищ и традиционные технологии строительства наилучшим образом адаптированы к климатическим и географическим условиям региона [132]. Общими чертами традиционных северных жилищ являются простота сборки и возможность транспортировки. Большинство сооружений имеет круглую или близкую к круглой планировку, что обеспечивает, подчеркивает известный якутский архитектор К. А. Лыткин, равномерное распределение тепла внутри помещения, а обтекаемая форма позволяет эффективно противостоять сильным ветрам [70]. Одним из самых распространённых видов жилья у северных народов является конический чум.

Чум – это вид жилья кочевых народов Крайнего Севера, имеющий многовековую историю эксплуатации и по настоящий день остается актуальным представителем истории культуры севера. Изучением устройства чума, его значением в культуре северных народов занимался советский этнограф северовед Гурвич И. С., в своей работе «Этническая история Северо-Востока Сибири» учёный отразил историю этнических процессов коренных жителей районов Крайнего Севера и роль жилища в этих процессах [28]. Опыт сохранения элементов традиционного уклада ведения домашнего хозяйства и особое положение чума как традиционного жилища, также описал Ю. Б. Симченко в своей работе «Основные

черты современных этнических процессов у коренного населения Авамской тундры Таймырского национального округа» [114].

Данное жилище имеет круглую форму в основании конструкции, а объем формируется наклонными шестами, которые затем покрываются оленьими шкурами. Форма конуса является крайне устойчивой благодаря «огибанию» ветровыми потоками объема, что в свою очередь, еще больше прижимает основание конструкции по всему периметру к земле, повышая ветроустойчивость. Чум может быть достаточно просторным и вместительным, при возможном диаметре 8 метров, он может вмещать до 20 человек. Центральное место в помещении занимает очаг, играющий ключевую роль в жизнедеятельности семьи (обогрев, приготовление пищи, ритуальные обряды и т.п.), прямо над ним отверстие для выхода дыма. Вход – располагают с подветренной стороны, а в зимнее время года снаружи чума формируют завалинку для заслона от ветра под названием «токеда». Юго-Восток – приоритетная сторона для ориентации входа в жилище.

Каркас чума состоит из поставленных в виде конуса шестов, их количество варьируется от 25 до 50 штук. Крепятся они к двум основным опорам конструкции, соединительным узлом служит веревочная петля. Шесты располагаются на одинаково удалённом расстоянии друг от друга. Устойчивость чума и его габариты зависят от количества и длины шестов, чем больше шестов, тем более вместительным будет считаться сооружение, с учётом более широкого расстояния между ними. Зимний и летний чум отличаются величиной, зимний обычно превосходит своими размерами.

Такой важный конструктивный элемент чума как шест изготавливается из тонкоствольной ели или сосны и имеет длину от 5 до 7 м. Постепенно утолщаясь от концов к середине, он обретает эллипсовидную форму сечения. В качестве укрывного материала поверх конусной конструкции в летнее время используется береста или брезент, в зимнее – оленьи шкуры. С. Н. Смирнова, изучающая вопросы энергоэффективности в традиционном северном жилище, отмечала, что

многослойность в строении чума позволяла поддерживать определённую температуру, комфортную для жизни [118].

Отличие зимних от летних видов покрытий состоит в материале, в зимнее время года, оленьи шкуры, уложенные в четыре слоя, прекрасно защищают внутреннее помещение чума от морозов и ветров Крайнего Севера. Летний период требует от конструкции чума быть устойчивой к дождю и обеспечивать проветриваемость. Береста является отличным решением в данном случае, но в настоящее время жители чума все больше делают выбор в пользу синтетических готовых укрывных материалов, что в плане обустройства несомненно является менее проблематичным способом [118, 140].

В технологии установки чума есть четко регламентированный порядок, отработанный в процессе многовековой истории эксплуатации сооружения. Место установки чума определяется заранее, часто это определенное место дислокации, в зимние месяцы снежный покров площадки под установку утрамбовывается для формирования плотного и устойчивого покрытия. Конструкции чума устанавливаются по периметру, согласно обозначенному месту в окружности основания [23].

Важным и первым этапом в процессе установки чума является формирование центра, в котором размещается очаг. В центре, согласно плану конструкции, выкладывается железный лист, на который ставится железная печка или очаг. Правильная фиксация очага играет важную роль в процессе функционирования постройки, так как служит источником тепла в чуме, а также местом приготовления пищи. Тепло от очага поднимается по стенкам конусообразной конструкции чума вверх, заполняя собой пространство и обогревая жилище, не давая проникать в помещение холодному воздуху и снегу. Прогревание стенок чума способствует испарению снежных осадков. Вариация стационарного чума – «голомо», широко используется на постоянных стойбищах. Он имеет схожий внешний вид, но его конструктивный каркас собирается из бревен, расколотых пополам.

Яранга является не менее популярным типом жилища северных народов, его особенности подробно описал российский этнограф В. Г. Богораз в своей работе «Материальная культура чукчей» [8]. Это мобильное переносное жилище оленеводов, используемое ими при перекочевке с одного стойбища на другое, в условиях отсутствия лесных ландшафтов. Конструктивно она представляет собой шатер в виде усеченного конуса на круглом или овальном основании. Высота яранги варьируется от 3 до 5 метров, диаметр от 5 до 8 [90]. Внутреннее пространство, организованное вокруг очага, использовалось для приготовления пищи, хранения запасов и общения. Конструктивное устройство зимней и летней яранги оставалось одинаковым, различие заключалось лишь в плотности покрытия, зимой жилище накрывалось новыми, более плотными шкурами, тогда как летом применялись старые, изношенные материалы [26].

Яранга имеет двухкамерное устройство, в противоположной входу части внутреннего пространства устанавливают полог, служащий спальным помещением, который растягивается с помощью двух горизонтальных длинных шестов, пропущенных через веревочные или кожаные петли. Для определения места входа принимается во внимание направление воздушных потоков. Вход всегда устраивается с защищенной стороны – противоположной направлению ветра. Для повышения устойчивости с подветренной стороны внутри жилища устанавливаются подпорки, при сильных ветровых нагрузках вместо двуножных опор ставятся треножные. При постоянном воздействии дыма от очага на деревянные шесты каркаса яранги, они приобретают прочность.

На побережье Чукотки встречаются схожие по конструкции сооружения с применением китовых костей и веток. Более того, кости китов и моржей применялись и как отделочный материал. Российские археологи Днепровский К. А. и Дэвлет Е. Г. писали об этом «полы в жилищах вымощены сланцевыми плитами и костями кита и моржа, поверх которых прослежены шкуры моржа» [35]. Такой подход иллюстрирует изобретательность коренных народов в виду отсутствия широкого разнообразия природных материалов.

Юрта – схожий по конструкции тип жилища, являлась традиционным атрибутом кочевых народов и не теряет свою актуальность по сей день. Российский этнограф, историк и археолог Н. Н. Харузин привёл детальное описание юрты в своей книге «История развития жилища у кочевых и полукочевых тюркских и монгольских народностей России» [136], позже С. И. Ванштейн дополнил ранее проведенные исследования и сравнил различные теории происхождения юрты и ее применения в разных частях земного шара используя не только научные труды, но и народный фольклор в своей работе «Проблемы истории жилища степных кочевников Евразии» [11].

Свое место в быту кочевников юрта заняла не только на территории Крайнего Севера, но и на Алтае, в Монголии, Казахстане, Туркмении, Кыргызстане. Юрта покрывается шкурами или войлоком и имеет круглую форму [51]. Для выхода дыма от очага конструктивно предусмотрено отверстие на вершине купола, конструкция жилища формируется с помощью поставленных в системе решеток деревянных жердей, образующих форму купола и покрывающихся кошмой.

Одно из преимуществ юрты – это лёгкость ее транспортировки на любом виде транспорта. Сохранение тепла внутри жилища достигается благодаря укрывному покрытию из нетканого шерстяного материала – войлока, который обладает такими свойствами как теплоизоляция и сохраняет оптимальную температуру и влажность в помещении как в холодное время, так и в жару. Для естественного освещения предусмотрено отверстие в куполе жилища, оно играет важную роль, для создания микроклимата в помещении, обеспечивая выход дыма от очага и выполняя вентилирующую функцию. Дополнительно, для вентиляции в летнее время возможно поднять часть кошмы, а при необходимости отверстие можно закрыть.

Как показывает анализ конструктивных особенностей временных жилищ – круглая форма является оптимальной, так как зарекомендовала себя как устойчивая для степных ветров, отличающиеся своей силой и сильными порывами [141].

Отдельного внимания заслуживают строения из снега и льда – материалов, которые в избытке имеются на арктических и северных территориях. Коренные народы сумели приспособить их не только для бытовых нужд, но и для строительства, преимущества и истоки такого подхода изучали А. Н. Алексеев, А. А. Сулейманов [5], А. Ю. Ницын [76] и др.

Иглу представляет собой куполообразное сооружение диаметром от 3 до 4 метров и высотой 2–2,5 метра. Основным строительным материалом служат ледяные и снежные блоки. При значительной толщине снежного покрова вход в иглу делают на уровне пола, что вместе с куполообразной формой конструкции и отсутствием прямого ветрового потока способствует эффективному сохранению тепла внутри жилища [76]. При строительстве иглу используется спиральная система, по которой каждый блок, из которого состоит конструкция, имеет три опорные точки в процессе укладывания их по спирали. Для герметичности щели между блоками закладываются снегом и заливаются снаружи водой, что делает их непроницаемыми для ветра и укрепляет конструкцию.

Основные преимущества данной конструкции — это вход, который расположен ниже уровня пола и не имеет дверей. Поддержание оптимальной температуры в помещении происходит за счет физических свойств теплого воздуха. Жители используют тепло, выделяемое от костра или других источников, что способствует поддержанию температуры, влажность также регулируется с помощью вентиляции, предотвращая накопление льда. Форма иглу, напоминающая полусферу, обеспечивает теплоизоляцию. Снег, используемый для постройки, является отличным изолятором, что помогает сохранить тепло внутри даже при экстремальных холодах. Данная конструкция обеспечивает стабильность и защищает от сильных ветров. Толщина стен варьируется и составляет около 10-30 сантиметров, что создает дополнительные преграды для холодного воздуха, а примерный вес одного блока равен от 20 до 60 килограмм.

Балаган – еще один тип северного капитального жилища, предназначенного для проживания в зимнее время. Он представляет собой невысокую, вытянутую в

длину прямоугольную или квадратную постройку из наклонных бревен с плоской земляной кровлей. Утоптаный песок служит полом и является хорошим теплоизолирующим материалом, его температура даже в морозы не опускается ниже минус 5 градусов по Цельсию.

Отличительной особенностью балагана от других жилищ подобного типа, указывает В. П. Ноговицын, является большое количество окон, что в зимнее время значительно повышает риск промерзания жилища. С целью недопущения этого, перед сильными холодами окна закрываются льдом или обмазываются глиной, смешанной с растительными компонентами. Данные решения надежно защищают окна от сильного мороза. В северной половине, в углу располагалась печь из камня без дверцы, обогревающая помещение. Вдоль стен шли нары, которые разделялись между собой дощатой перегородкой [77].

Балок – вид временного жилища получил активное распространение в северных регионах России. Его отличительной особенностью является вид его установки – на полозьях. На сегодняшний день балок активно используется в жизни кочевников, часто в модернизированном варианте в виде вагончиков на шасси [67].

Традиционный балок архитектурно представляет из себя прямоугольный каркас, снаружи обтянутый оленьими шкурами, а изнутри – тканевым материалом, в большинстве своём – ситцем, в конструкции предусмотрены окна и дверь. Балок крепится на сани и перевозится с помощью упряжки из 5-7 оленей. В этом строении имеется используемая для обогрева железная печь, нары и стол.

Исследователь русского севера Е. В. Адаев подробно изучающий вопросы модернизации быта среди тундровых оленеводов, в качестве подтверждения тезиса о постепенной эволюции в качестве примера приводит балок. Мобильное жилище сравнительно нового типа, становится альтернативой традиционным строениям разборного характера [3].

Санний дом имеет довольно большое сходство с балком. С помощью санного дома, благодаря удобству в транспортировке, северные народы

предпочитали перевозить личные вещи. Не смотря на свою визуальную схожесть, население различало балок и санный дом. Первый использовался для жилья, второй – для перевозки и хранения одежды и припасов. Конструктивное различие их состояло не только в размерах, но и в разном наполнении и внутренней отделке. Балок в отличие от санного дома представлял собой конструкцию с мебелью и окнами, в то время как санный дом – это простое каркасное строение на полозьях, обтянутое оленьими шкурами.

На сегодняшний день, данный вид северного жилища подвергается критики на фоне таких сооружений как чум. К недостаткам балка относят тесноту и не возможность поддержания комфортного температурного режима, в связи с отсутствием в строении конструктивных приспособлений для теплорегуляции. Помещение обогревается с помощью железной печи, от которой становится душно, а при проветривании – резко холодно. Эта ситуация влечёт за собой рост простудных заболеваний. Ещё один крупный недостаток балока в сравнении с чумом состоит в том, что при разборе чума все составляющие из материи и шкур перетряхиваются и очищаются, в летнее время шкуры сохнут под лучами солнца, что положительно влияет на их гигиеничность, а в балоке, в связи с особенностями конструкции, наводить порядок с такой периодичностью не предоставляется возможным. Преимущества и недостатки модернизации данных типов жилищ анализировали Ю. Н. Квашин [52], Е. В. Адаев [3] и др.

Долгое время северные кочевые народы придерживались консервативности во взгляде на свои жилища, учитывая факторы удобства и безопасности. На сегодняшний день в быт жителей Крайнего Севера всё активнее входят социальные удобства. Изменения претерпевают конструктивные решения объектов жилой архитектуры, используются новые материалы, в то же время выбор делается в пользу рациональной мобильности и снижения трудозатрат на сборку конструкций [123]. Все эти факторы положительно влияют на социализацию кочующих жителей России, но неумолимо ведут к потере традиционных навыков, полученных на основе векового опыта.

На основе анализа традиционных жилищ народов севера можно выделить следующие особенности (табл. 1.1).

Таблица 1.1. – Особенности северного традиционного жилища

Свойства	Характеристика	Вид жилища
Пространственно-планировочные	– компактность формы, минимизация теплопотерь и ветровой нагрузки за счёт округлых или конических очертаний, аэродинамичность	чум, яранга, иглу
	– мобильность и сборно-разборность, возможность быстрого монтажа и демонтажа	чум, санный дом, балок
	– функциональная гибкость, интуитивное разделение внутреннего пространства на зоны по назначению	чум, иглу, яранга, балок
	– размещение входа со стороны, защищённой от ветра	чум, яранга, иглу
Конструктивные	– использование многослойных оболочек, шкур, снега, дерна для утепления	чум, иглу, яранга, юрта
Социокультурные и антропологические	– очаг как символическая и функциональная доминанта жилища	чум, юрта
	– пространство рассчитано на совместное проживание семьи или рода	чум, иглу, яранга, балок, юрта
	– гибкость традиций, адаптация жилища под кочевой образ жизни	чум, балок, юрта, санный дом

В виду социальных изменений в обществе, антропологические особенности потеряли свою актуальность для современного домостроения, в то время как пространственно-планировочные и конструктивные демонстрируют основу адаптивности жилья к суровым климатическим условиям.

Конструктивные решения жилищ народов крайнего Севера – это выдающийся пример человеческой изобретательности и адаптации к экстремальным условиям, сочетающий в себе глубокое понимание физических свойств материалов и климатических особенностей. Однако, данные конструкции в своем большинстве имеют ограничения, связанные с долговечностью и зависимостью от погодных условий.

Опыт коренных народов иллюстрирует доиндустриальное развитие северных территорий. Когда основу жилищного строительства составляли традиционные формы кочевых и полукочевых сооружений, такие как чумы, яранги, балаганы, а

также землянки и полуземлянки, характерные для оседлого населения. Основным строительным ресурсом выступали местные материалы: дерево, кости животных, шкуры, дерн. Строительство носило сезонный характер, что было связано как с местными обычаями, так и с условиями природного цикла. Данный этап важен тем, что он сформировал культурный фундамент архитектурных решений, многие из которых до сих пор рассматриваются исследователями как примеры рационального приспособления к суровым климатическим условиям. На основе проанализированных материалов можно выделить *первый, доиндустриальный этап* освоения северных территорий, который длился до 1930-х годов XX века.

Окончание первого этапа было обусловлено началом масштабного освоения северных земель, что определялось изменениями в советской и международной политике, а также возрастанием интереса к богатой ресурсной базе Крайнего Севера. В этот период активно развивалась геологоразведка, угледобыча, военная инфраструктура, что требовало быстрого возведения поселков и временных баз.

Основу застройки составили типовые деревянные и щитовые дома для не больших поселений и парадные ансамбли в крупных городах, которые, однако, не учитывали специфики арктических пустынь и тундры. Идея создания благоустроенной городской среды в северных условиях исходила от необходимости демонстрации советских достижений в подчинении суровых природных условий человеку, соответствуя общим идеологическим установкам государства. Архитектура выступала главным инструментом реализации этой концепции, формируя образцовое пространство, призванное визуализировать идеал социалистического образа жизни. Генеральные планы, архитектурный стиль и инфраструктурные решения носили символическую функцию в освоении Арктики, когда город рассматривался как средство закрепления и распространения советских идеалов. Перенос типового строительства в Заполярье имел прагматический характер, позволяя существенно сократить затраты на формирование жилой инфраструктуры. Однако, в условиях Крайнего Севера,

реальность даже в крупнейших центрах региона за пределами парадных пространств оказывалась гораздо менее благополучной.

Самым ярким примером является архитектурно-градостроительное освоение Норильска. Особый вклад в развитие города внесли Витольд Непокойчицкий и Лидия Миненко, которые в 1938 году стали главными архитекторами города [61]. Под их руководством были возведены основные городские ансамбли, прибывшие в Норильск из Ленинграда, архитекторы отстраивали город со свойственным тому времени размахом, с акцентом на неоклассическую архитектуру. В те времена Норильск получил неофициальное звание северного Ленинграда, что отражала подход освоения северных городов по общепринятым лекалам без оглядки на местные климатические вызовы [111].

Следует отметить, что уже к 1950-м годам пришло осознание что Север требует особого подхода, и новый генеральный план Норильска был спроектирован с учётом ветровых потоков для защиты города от стихии. Опыт построенных ранее зданий уже дал понять, что для комфортного проживания в северных условиях требуется пересмотреть общепринятые стандарты и подходы. Строительные конструкции и материалы часто оказывались не приспособленными к вечной мерзлоте, резким перепадам температур и сильным ветрам, что приводило их к быстрой деградации. Архитектура в этот период имела не только утилитарное значение, но и символическую функцию, она служила инструментом утверждения присутствия государства в регионе. Данному этапу характерны следующие особенности (табл. 1.2).

Таблица 1.2. – Особенности строительства Норильска 1930-50 гг.

Факторы	Характеристика	Общий вид
Экономические	– тиражирование типовых решений (экономия времени и средств) – приоритет быстрого возведения перед адаптацией к климату – доставка строительных материалов с более развитых регионов	

Политические	– репрезентативная функция архитектуры, где город как символ присутствия государства – расширение освоенных территорий внутри страны, путём формирования крупных городов на удалённых территориях	
Конструктивные	– отсутствие учёта специфики вечной мерзлоты и экстремального климата – применение типовых узлов и стандартных конструктивных решений – слабое внимание к теплоизоляции и ветрозащите	

Таким образом, этот этап стал временем экспериментов и первых ошибок, выявивших потребность в новых подходах к строительству в условиях Арктики. Окончание *второго этапа* было ознаменовано не только необходимостью пересмотра архитектурных подходов, но и сменой политики партии в конце в 1950-х годов.

Период с 1960-х по 1980-е гг. можно охарактеризовать как период активного научного поиска и попыток устранить недостатки предыдущего этапа. В это время развивались специализированные научные институты, проводились масштабные исследования особенностей вечной мерзлоты, ветровых нагрузок, солнечной радиации и их влияния на архитектуру и градостроительство.

Одним из ключевых направлений было типовое домостроение, были созданы серии крупнопанельных жилых домов, рассчитанных на суровые климатические нагрузки, морозные периоды и короткий строительный сезон. Были переработаны решения фасадов, планировочных решений и узлов, у серий типовых крупнопанельных домов, разработанных Ленинградским отделением института «Горстройпроект» Госстроя СССР, что позволило быстро возводить такие здания в регионах с холодным климатом [56]. Позже в «Норильскпроекте» были разработаны или же заимствованы и адаптированы под северные условия новые серии девятиэтажных домов: 111–84, 11–112 и К–69.

Главной отличительной особенностью становились более компактные планировки позволяющие уменьшить общие габариты здания и сократить теплопотери. Опробованные в предыдущим периоде технологии свайных фундаментов стали повсеместным типовым решением, доказавшем свою эффективность в предотвращении таяния вечной мерзлоты. Помимо этого, были внесены изменения в теплоизоляционные и стыковочные узлы типовых серий.

Начало развития модульного и мобильного домостроения положило поручение Госстроя СССР в начале 1960-х годов для ряда научно-исследовательских и проектных организаций с целью провести унификацию временных зданий и разработать унифицированные типовые секции с типизацией объемно-планировочных и конструктивных решений, для унификации временных зданий и удешевления их строительства. В результате проектными институтами Госстроя СССР, Гипропром-трансстрой и другими проектными и научно-исследовательскими организациями были разработаны типовые проекты унифицированных временных зданий различного назначения. Гипропромтрансстрой создал типовые секции серия 420-20 сборно-разборного и передвижного типа. Одиночный контейнер серии 420-13 создан экспериментально-конструкторским бюро ВНИИмонтаж-спецстроя Министерства монтажных и специальных строительных работ СССР и предназначался для размещения объектов складского, административного и бытового назначения [108].

Отдельный интерес в истории советских разработок для Севера и Антарктики представляют эксперименты Ленморниипроекта. Одним из таких решений стал экспедиционный дом для станции Молодёжная в Антарктиде, рассчитанный на проживание 20 человек. Здание фактически функционировало как общежитие и было адаптировано к экстремальным условиям Антарктики, предусматривались лёгкие в монтаже и транспортировке конструкции, модульность и компактность, что позволяло быстро собирать и демонтировать постройку. Подобные объекты стали прототипами современных вахтовых посёлков и временных станций.

В результате активного строительства к концу 1980-х годов появились первые нормативные документы, регламентирующие строительство в условиях Севера. Были выработаны рекомендации по теплоизоляции зданий, ориентации жилых корпусов относительно розы ветров и инсоляции, а также по устройству свайных фундаментов, минимизирующих тепловое воздействие на грунт. Кроме того, активно разрабатывались новые материалы и технологии, учитывающие специфику арктических территорий, наряду с практическими задачами возникали и масштабные градостроительные концепции, ориентированные на долгосрочное освоение региона. Можно выделить следующие особенности периода (табл. 1.3).

Таблица 1.3. – Особенности строительства Норильска 1960-80 гг.

Факторы	Характеристика	Общий вид
Строительные	– нормативное закрепление проектных и строительных решений для Арктики – массовое индустриальное домостроение с учётом климатических и географических особенностей региона	
Градостроительные	– акцент на системный градостроительный подход, комплексность – формирование ветрозащитного буфера за счёт фасадов зданий – ориентация зданий по сторонам света для улучшения инсоляции	
Конструктивные	– использование свайных фундаментов, исключаящих оттаивание грунта – крупноблочное строительство из заранее изготовленных элементов – внедрение многослойных теплоизоляционных конструкций	

За этот период освоение севера приобрело адаптивный характер в сравнении с предыдущим периодам. Конец *третьего этапа* был обусловлен распадом Советского Союза и сменой политического курса.

После распада СССР освоение Арктики характеризуется значительным спадом, связанным с общим кризисом в стране, свёртыванием государственных программ по развитию Севера и резким сокращением финансирования. Многие промышленные и социальные объекты пришли в упадок, инфраструктура деградировала, а новые комплексные проекты практически не реализовывались [120]. Вместо масштабного домостроения появились отдельные индивидуальные архитектурные решения, направленные лишь на поддержание минимальной жизнедеятельности регионов. Север в этот период оказался в состоянии «выживания». Из архитектурных форм развитие получили только временные вахтовые посёлки, собранные из грузовых контейнеров, приспособленных для проживания человека [78].

Однако, не смотря на стагнацию строительной отрасли, данный период важен с точки зрения смещения курса общественного внимания и появления первых дискуссий о необходимости перехода к устойчивому развитию и поиску альтернативных подходов к строительству. Главными особенностями стали:

1. Экономические:

- ориентация на минимизацию затрат и поддержание базовой жизнедеятельности;
- отказ от комплексного градостроительного освоения;
- использование существующего фонда с незначительными адаптациями;
- адаптация временных и малобюджетных решений к сложившимся условиям.

Износ советской инфраструктуры достиг критических значений и стал острым вопросом для дальнейшего освоения региона, в совокупности со стабилизировавшейся экономической и политической ситуацией в стране, северные регионы вновь вернулись в повестку государственной стратегии. Данный перелом ознаменовал завершение *четвертого этапа* стагнации и упадка Крайнего Севера.

Начиная с 2010-х годов появились государственные инициативы и национальные проекты, связанные с возрождением интереса к Арктике, однако теперь этот интерес носит более прагматичный и сбалансированный характер по сравнению с советскими экспериментами 1960–1980-х годов. Основное внимание уделяется концепциям устойчивого развития, энергоэффективности и адаптивной архитектуры.

Современные проекты всё чаще включают в себя модульные, мобильные и трансформируемые системы, позволяющие в короткие сроки возводить жилые и общественные комплексы, а также легко адаптировать их к изменениям условий. Активно применяются BIM-технологии, методы пассивного и активного энергосбережения, альтернативные источники энергии. В отличие от предыдущих этапов, при проектировании учитываются не только климатические, но и социокультурные факторы, что позволяет создавать более комфортную и устойчивую среду для проживания.

По результатам анализа современного опыта строительства в условиях Крайнего Севера и развития Арктических территорий, можно выделить следующие особенности этого периода (табл. 1.4).

Таблица 1.4. – Особенности строительства Норильска в настоящее время.

Факторы	Характеристика	Общий вид
Экологические	– устойчивое развитие и энергоэффективность как ключевые ориентиры – внедрение модульных, мобильных и трансформируемых систем – использование пассивных и активных систем энергосбережения – интеграция альтернативных источников энергии (ветровые, солнечные) – стремление к балансу между экономикой, экологией и комфортом	

Социальные	– учёт социокультурных факторов в проектировании	
Политические	– репрезентативная функция архитектуры – символ присутствия государства	

Пятый этап можно рассматривать как новый виток в развитии модульных жилых систем, где инновационные технологии сочетаются с учётом опыта прошлого и стремлением к гармонии с природой и культурой Севера. Современные проекты нацелены не только на обеспечение утилитарных функций, но и несут репрезентативный характер, демонстрируя технологии и опыт освоения территорий с экстремальными погодными условиями.

По результатам анализа исторического опыта установлено, что в условиях Крайнего Севера модульные системы имеют глубокие корни, уходящие в традиционный опыт северных народов. Задолго до появления промышленного домостроения, народы севера применяли типологии жилища отвечающие всем базовым принципам модульности: лёгкость конструкций, быстрота сборки, возможность транспортировки и мобильность, адаптивность к климату.

Установлено, что модульные жилые системы в северных регионах – это продолжение и развитие традиционных приемов возведения жилья и поселений коренных народов Севера. Современные технологии лишь индустриализировали и вывели на новый уровень принципы пространственно-конструктивной организации и художественно-образного формирования, присущие исконному жилищу оленеводов.

1.3. Современный опыт развития модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Современный отечественный опыт проектирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера. Свое начало модульное домостроение берет ещё в XIX веке, а в дальнейшем получает широкое распространение в США (первая половина XX в.). Содействовали этому рост потребления, развитие строительных технологий и транспортной инфраструктуры, а также повышенный интерес к компактности и мобильности жилья [72].

В настоящее время модульное строительство в России только набирает популярность и является одним из перспективных видов жилья, в первую очередь благодаря развитию глэмпингов и отельных комплексов, которые возводятся в привлекательных для экотуризма районах страны. Архитектурные бюро «База14», «Мегабудка», «Асадов», «Био-аркитекс» реализуют смелые идеи в новых проектах, опираясь на уже существующий опыт модульных конструкций. Многие конструкторские и функциональные опции мобильных жилищ отработаны в процессе обустройства вахтовых поселков. Отдых на природе в мобильном отеле с удобствами позволяет уделить большее внимание необычным формам и актуальным разработкам в материалах и оформлении объектов [54].

Рассмотрим примеры применения модульных конструкций в различных типах архитектурных объектов: временного проживания (туристические базы и базы отдыха), постоянного проживания (жилые комплексы и частная застройка), совмещающего обе функции (научные станции, военные базы), как в проектном, так и в конкурсном проектировании.

1) Отечественные базы отдыха и туризма:

Эко отель на вершине Эльбруса LEAPrus 3912 является прорывом в обустройстве самой высокой горной вершины России и примером отечественного модульного строительства, подтверждающего факт успеха и возможности работы с необычными, но в тоже время практичными планировочными архитектурными

решениями. Находясь в высокогорье на высоте 3912 метров над уровнем моря, благодаря компактности отель, имеющий две жилые капсулы размещает в себе все необходимые для жизни удобства и вмещает 24 человека для постоянного пребывания [55].

Отель построен из конструктивных модулей цилиндрической формы, с анфиладной планировочной структурой, изготовленных из композитных сэндвич-панелей. Схематичное размещение функциональных зон внутри объекта идентично планировочной структуре самолёта с её расположением посадочных мест вдоль центрального коридора. Функциональные зоны расположены вдоль центральной оси, проходящей по коридору. Пространства четко разделены, нанизываясь на единую центральную ось [104]. Данная планировочная схема позволяет не только компактно разместить все необходимые пространства для пребывания гостей, но и даёт возможность, по мере необходимости, увеличивать площадь отеля, пристраивая новые модули с торцов уже установленных.

Функциональные зоны разделяются при помощи узких дверей и перегородок. Вход в гостиную организован через тамбур, который одновременно объединён с кухонной зоной. В конце модуля находится жилая зона со спальными местами, санузлом и техническими помещениями. Спальня оборудована эргономичными двухуровневыми кроватями с местами для хранения, расположенными в нишах под матрасами [22].

2) Отечественный опыт частного модульного домостроения:

Архитекторы отечественной студии БИО-Архитектс (BIO-architects), разрабатывая планировку *модульного жилья «Тополь 27»*, придерживались принципа большого открытого пространства без чёткого зонирования. Единственной полностью изолированной от общего пространства зоной оставлен санузел. Конструктивной особенностью данного проекта является не только отказ от зонирования помещения, но и отсутствие тамбура. На площади 27 кв. м. в совмещенном пространстве разместились кухня, гостиная, спальня и места для хранения [80].

Современный дизайн сочетается со строжайшей функциональностью и принципом эффективности использования пространства. Выдвижной шкаф может служить перегородкой, положение которого регулируется и даёт потенциал вариативности зонирования пространства при возникновении необходимости.

Внешняя отделка модульного жилого блока «Тополь 27», выполненная из массива дерева, натурального шпон дуба и чёрного металла, гармонично вписывает объект в окружающий природный ландшафт. Натуральность, долговечность, высокое качество и экологичность, используемых материалов являлась приоритетным качеством для команды разработчиков данного проекта в ходе его реализации.

Туризм на сегодняшний день является активно развивающимся направлением, что отражается в тематике архитектурных конкурсов и национальных программах. В рамках развития таких программ стоит уделить внимание результатам конкурса по разработке концепции развития туризма в поселке Оймякон, расположенного в Якутии и являющемся самым холодным населённым пунктом на нашей планете.

3) Отечественный опыт комплексного проектирования:

Архитектурное бюро «Асадов» стало победителем конкурса, представив смелый проект ***туристического кластера «Полюс холода»***, подразумевающий полную реновацию поселка. Сохранение привычных для региона архитектурных форм – один из принципов проекта, заслужившего высокие оценки судей [133]. Проект пропитан образами льда, снега, мифического быка и северного сияния, транслирующиеся в графическом дизайне, архитектурных формах и предметах навигации. Флагманом проекта является гостиничный комплекс, выполненный из природных материалов и удивляющий своим дизайном в виде системы ломанных форм. Также авторами предложены небольшие отдельно стоящие модули, расположенные вокруг центрального ядра.

Второе место в рамках конкурса развития туризма в поселке Оймякон занял ***проект архитекторов якутской студии БАЗА14 (BAZA14)***, где формы и

материалы визуально отсылают к ключевым символам и ценностям традиционного быта региона. Не смотря на свой аутентичный подход, команде проекта удалось сохранить самобытность объектов, представив их в современном прочтении. Номерной фонд представляет собой отдельно стоящие домики, напоминающие традиционные жилища коренных народов Крайнего Севера, приподнятых над землей и имеющих более обтекаемую форму. Применение традиционного опыта жилищного обустройства в сочетании с новыми технологичными материалами, позволяют не только сохранить культурный код в образах зданий, но и существенно повысить уровень их надежности и функциональности. Уличное благоустройство проекта представлено в виде соединенной деревянными настилами свободной сетки улиц.

Возможность реализации проектов, от рождения идеи до создания конечного продукта, в максимально короткие временные сроки производственного цикла является потенциалом для успешного развития инноваций в области строительства и экономики в данной отрасли. Добиваться успехов в этом направлении удастся за счёт слаженной высокоинтеллектуальной работы архитекторов и технологов, модульное жилье является наглядным воплощением данного процесса.

Адаптивность к изменяющимся потребностям человека и соответствие скорости развития технологий – требования, которые мир сегодня диктует современному зданию. Возможность трансформации пространства, как внутреннего, так и внешнего, должна закладываться в проект уже на стадии его разработки. Возможность трансформации является одним из важнейших требований к современным проектам, включающее в себя мобильность и гибкость к изменчивости внешних и внутренних факторов. В мире современного жилого домостроения, где каждый резидент имеет индивидуальные запросы, направленные на повышения уровня комфорта своей жизни, выбор в пользу адаптивных моделей жилья является не только актуальным, но и социально-ориентированным. Соблюдение принципа гибкости структуры здания является лучшим решением, позволяющим изменять объект согласно необходимым требованиям к пространственным изменениям и требуемым от помещения функциям.

Грамотный подход к организации удобного пространства и планирования жизнедеятельности здания с учётом его функций способствует эффективной коммуникации производства и науки. Создание отечественных наработок не только способствует развитию индивидуальных новых технологий в рамках страны, но и даёт импульс к экономическому развитию.

4) Отечественные научные базы:

В ближайшем будущем на Ямале планируется запуск новейшей *международной арктической станции «Снежинка»*, работающей на безуглеродном топливе [43]. На станции предполагается размещение ветрогенераторов, солнечных панелей, а также трёх куполообразных сооружений для производства водорода методом электролиза. Синтезированный водород будет использоваться в качестве источника энергии и позволит компенсировать отсутствие солнечной генерации в период полярной ночи. Реализация проекта должна способствовать развитию туризма и повышению качества жизни в регионе.

Архитектурная концепция станции предусматривает возведение двух жилых и двух лабораторных модулей куполообразной формы, обеспечивающих круглогодичное пребывание персонала. В составе станции запланированы одноместные жилые блоки, библиотека, спортивный зал, смотровая площадка, а также теплица для выращивания сельскохозяйственных культур. Транспортная доступность объекта будет обеспечена снегоходным сообщением с ближайшим аэропортом.

Ещё один пример архитектурных и инженерных достижений из отечественного опыта является *зимовочный комплекс российской арктической станции «Восток»*, введённый в опытно-промышленную эксплуатацию 28 января 2024 г. Из всех государств, работающих сегодня в Антарктиде, у России самое большое представительство – десять станций. Среди них «Восток» – единственная российская внутриконтинентальная антарктическая станция. Комплекс располагается на снежной поверхности ледяного плато Центральной Антарктиды. Площадь станции составляет 25000 кв.м. и состоит из 5 модулей: энергоцентр,

жилые помещения, медицинский блок с операционной, технический блок и модуль, состоящий из резервной станции и гаража.

Работу станции обеспечивают шесть мощных дизель-генераторов, а почти метровый слой утеплителя и герметичный облицовочный контур, покрывающие модули, минимизируют теплопотери и позволяют существенно снизить энергопотребление [101]. Для выполнения слоя утепления отвечающего необходимым требованиям была разработана система, согласно которой каждый отдельный модуль по периметру изнутри утеплялся несколькими слоями минераловатного утеплителя заполняющего все пустоты в конструкции модуля и единого утепления снаружи всех блоков (на боковых стенах и кровле – 4 слоя утепления, на дне 8 слоев минераловатного утеплителя) [33]. Суммарная толщина наружных стен достигает 650 мм, такой существенный объём крепится при помощи шпилек.

Контрольная сборка конструкции осуществлялась предварительно в Гатчине. Комплекс был создан и приведен в рабочее состояние с целью тестирования систем жизнеобеспечения. На месте дислокации, при возведении 3-х метровых опор для установки конструктивных элементов станции, перед строителями встала задача формирования устойчивого фундамента. Было принято решение использовать метод послойного уплотнения снега. При организации данного процесса опирались на методику, разработанную для строительства снежных аэродромов на глубоком снегу, пригодных для приема тяжелых самолетов на колесном шасси.

С. П. Поляков российский ученый и инженер-конструктор описал методологию строительства фундамента данного типа для Антарктиды. Анализ экспериментальных данных и численные оценки позволили применить этот опыт при возведении арктической станции «Восток» [177].

5) Отечественные объекты стратегического назначения:

Опыт арктического строения распространяется не только на объекты научного исследования, но и на объекты стратегического и даже военного назначения. Российская Федерация является лидером в данном направлении после ввода в

эксплуатация в декабре 2020 года военной базы, являющейся единственным капитальным строением на 80-м градусе северной широты, *«Арктический трилистник» («Северный клевер»)*. База рассчитана на полностью автономное функционирование до 150 человек в течении 18 месяцев. «Арктический трилистник» располагается на одном из островов архипелага земля Франца-Иосифа, данное названия связано с формой строения жилищно-административного комплекса [63]. Всё строение представляет собой соединённые внутренними переходами корпуса: административный – центральное сооружение с оригинальной формой плана в виде трехлучевой звезды, в секторах которой между «лучами» центрального корпуса находятся три других здания [130].

С точки зрения функциональной эффективности архитектурный объект имеет ряд особенностей, направленных на решение возможных трудностей таких как пожарная безопасность, теплорегуляция, снегоустойчивость, экономия энергоресурсов, которые могут возникнуть в ходе эксплуатации «Арктического трилистника». На всей территории базы предусмотрена не только строгая противопожарная дисциплина, но и эффективная система пожарного контроля.

Конструкции «Арктического трилистника» возведены с использованием современных несгораемых материалов, а котельная и другие технические помещения расположены в отдельных зданиях [94]. Для сохранения тепла в суровых условиях Арктики планировочная схема разрабатывалась с учётом максимальной минимизации передвижений персонала в открытом пространстве для выполнения рабочих задач, что существенно сокращает потерю тепла в здании. При строительстве «Северного трилистника» применялись сэндвич-панели, тройные стеклопакеты и подогрев полов [49].

Отдельное внимание стоит уделить этапу строительства данного объекта. На ряду со специфическими условиями Арктики с её низкими температурами, большим уровнем снега и коротким строительным сезоном, предписывалось в максимально сжатые сроки завершить строительство. Это требование было

продиктовано стратегической значимостью данного объекта и высоким уровнем комплектацией оборудованием и техникой [62].

При строительстве применяли каркасно-панельную сборную технологию с использованием оцинкованных холодногнутых стальных профилей. Многие элементы конструкций поступали на стройплощадку уже собранными, что позволило максимально оптимизировать время монтажных работ. Инженер-строитель Д. В. Дасев, проводя исследование на тему приоритетности методов строительства в условиях Крайнего Севера, определяет каркасно-панельную сборку с использованием оцинкованных холодногнутых профилей как самую эффективную с учётом специфики климатических условий Арктики [31]. Одной из серьёзных проблем для строителей стали трубы водопровода и канализации. В экстремальных арктических условиях использование металлических труб сопряжено с высоким риском, при сильных морозах они могут лопнуть. Поэтому на объектах с крайне низкими температурами предпочтение отдают полипропиленовым трубам с греющим кабелем. Кабель прокладывается вдоль всей трубы, а вся конструкция дополнительно изолируется слоем пенополиуретана [93].

На основе приведённых примеров можно сделать следующие выводы о развитии модульных жилых систем в отечественной практике: отечественные архитекторы действуют смело и масштабно, что обусловлено обширностью российских территорий и очаговым характером расселения; авторы стремятся к автономности объектов, что носит не столько экспериментальный, сколько практический характер; основной особенностью рассмотренных примеров является высокая компактность, многофункциональность пространств и элементов интерьера; архитектурно-планировочная композиция объектов, как правило, выполнена в анфиладной или секционной форме.

Современный международный опыт проектирования жилых систем в условиях Крайнего Севера. Международный опыт дает множество примеров строительства модульных жилых систем и адаптации их к экстремальным

условиям. Особое развитие данные подходы получили в частном домостроении, глемпингах, отельных комплексах в природных локациях и научных станциях.

Страны северной Европы давно обратили внимание на северный туризм и имеют в данной отрасли значительные наработки. Наиболее интересными проектами по развитию рекреационных услуг в северных регионах в международной практике являются: Фого Айленд (Fogo Island) в Канаде, Какслауттанен (Kakslauttanen) Арктический комплекс отдыха в Финляндии, ИОН Адвенче (ION Adventure) в Исландии, Отель Арктик (Hotel Arctic) в Гренландии, Лофотены Опера (Lofoten Opera) отель, Гостиница Сварт (Svart), ПАН Тритоп Кэбинс (PAN Treetop Cabins) и курортный комплекс Мансхёусен (Manshausen) в Норвегии, гостинице Триотель (Treehotel), Арктик Бас (Arctic Bath Hotel) и Айсотель (ICEHOTEL) в Швеции.

Частное модульное домостроение и отельные комплексы:

Дома ПАН Тритоп Кэбинс, спроектированные архитектором Эспеном Сурневиком в Норвегии, представляют собой наглядный пример сочетания современных технологий с традиционными архитектурными формами. Объект расположен на юге страны, недалеко от шведской границы, в регионе с уникальными северными традициями, сформировавшимися в результате культурного смешения в XVI–XVII веках [181].

Создавая комфортное пространство для современного туриста, автор тщательно проработал архитектурное решение проекта, при этом сохранив ощущение уединённости и гармонично интегрировав гостиницу в суровый природный ландшафт. А-образный объём жилого корпуса до уровня пола был накрыт двускатной крышей, вызывая ассоциации с традиционным жилищем северных народов. Вдохновившись, свойственными данному региону пожарными наблюдательными вышками, архитектор разработал систему металлических опор, на которых располагаются, приподнятые над землёй коттеджи. Данная конструкция, с одной стороны, выполняет практическую функцию, а с другой стороны, создает запоминающийся образ. За счет крепления к скальным

основаниям, дом практически не оставляет следов на земле, его можно легко демонтировать и перенести в новую локацию.

Также в Норвегии, на небольшом заполярном острове Мансхёусен, находится ещё один современный *отельный комплекс Мансхёусен*. Остров, в прошлом веке был известен своими рыболовными промыслами, в настоящее время, чтобы вывести регион из стагнации, правительство инициировало ряд проектов по развитию туристической инфраструктуры.

Разработкой комплекса занималось архитектурное бюро Стинессен Аркитектур (Stinessen Arkitektur), команда бюро умело адаптировала пришедшие в упадок строения для новых нужд. Жилые домики разместились на причалах, старые здания были переоборудованы и реконструированы под хозяйственные и административные объекты, архитекторы сделали упор на бережном отношении к природе и уделили внимание вторичной переработке [137]. Для строительства новых зданий использовали дерево и стекло, оставшееся от постройки других объектов, а сланцевую черепицу взяли из старых развалин. Чтобы не навредить хрупкой северной природе конструкции домов собирались без использования тяжёлой техники.

Ещё одним впечатляющим архитектурным проектом является *гостиница Сварм (Svart)*, расположенная в труднодоступной местности на берегу горного озера. Проект разработан архитектурным бюро Снохетта (Snøhetta) и выполнен в форме кольца, основная часть которого нависает над водой. Авторы позаимствовали опыт и принципы строительства рыбацких хижин «рорбю», используемых коренным населением [131]. Конструкции отеля выполнены из дерева, а доступ к нему возможен исключительно по воде. Одна из главных целей проекта – это развитие туризма в отдалённых регионах с минимальным влиянием на окружающую среду и раскрытие потенциала окружающих рекреационных зон [53].

При проектировании комплекса Сварм применялись принципы «зелёного строительства», направленные на минимизацию или полное устранение

негативного воздействия на окружающую среду как в процессе строительства, так и в ходе эксплуатации. Такие подходы способствуют сохранению ценных природных ресурсов и повышению качества жизни. Благодаря этому проект не только открывает посетителям уникальные природные локации и стимулирует экономическое развитие региона, но и обеспечивает сохранность целостности природного ландшафта.

Не менее важными являются достижения международного сообщества в модульном строительстве. Модульное строительство представляет собой метод, применявшийся в периоды повышенного спроса на быстро возводимое жильё, например, в послевоенные годы в Великобритании и США на фоне дефицита стали и рабочей силы данная потребность многократно возрастает. В международной практике основы модульного строительства были заложены в начале прошлого столетия представителями движения метаболизма и архитектурной группы Архигрэм (Archigram), не малое влияние на него оказали также идеи французского архитектора Ле Корбюзье. Среди наших современников вклад в развитие внесли: Бьорк Ингельс (Bjarke Ingels, Дания), Кишо Курокава (Kisho Kurokawa) и Кенго Кума (Kengo Kuma) (Япония), САМИ Аркитектос (SAMI Arquitectos) (Португалия), Кодасема (Kodasema) (Эстония), Стив Гленн (Steve Glenn) и Рэй Каппи (Ray Kappe) (США).

В настоящее время модульные дома рассматриваются как один из способов смягчения жилищного кризиса в Великобритании и ряде европейских стран. Применение метода строительства вне строительной площадки позволяет сократить время возведения объектов примерно вдвое по сравнению с традиционным строительством и существенно уменьшает затраты. Государственное жилищное агентство Англии, сотрудничая со специализированными фирмами по проектированию модульных домов, проводит исследования и инвестирует в модульное строительство по всей Великобритании [42].

Модульное домостроение получило большую популярность в международном опыте и насчитывает множество удачных примеров, не только в северных регионах, представленных выше, но и в южных, например Бунгало Сакромэнте Шедтерс (Sacromonte Shelters) в Уругвае, модульные дома Модскейп (Modscape) в Австралии или АПХ80 (ÁPH80) в Испании.

Международные научные станции:

Рассуждая о модульном строительстве и адаптации к суровым климатическим условиям Крайнего Севера, особого внимания заслуживают международные научные станции. **Станция «Команданте Феррас»** – научно-исследовательская станция Бразилии состоит из секций, собранных на заводе и транспортированных в Антарктику. «Команданте Феррас», заменила прежний объект в Антарктиде, уничтоженный пожаром в 2012 году [82]. В 17 лабораториях станции могут проводиться исследования широкого спектра, от микробиологии окружающей среды до физиологии человека.

Инженерная система станции предусматривала установку отопительных приборов в каждом помещении станции. Радиаторы подключались индивидуально с датчиками присутствия и термостатами, которые отправляли информацию в систему автоматизации. Нагрев воды на бытовые нужды осуществлялся в котле, дополненном баком-аккумулятором. Процесс рекуперации тепла проходил в генераторах, мусоросжигательных установках, сети сбора горячей воды. Внедрение новых технологий в области энергосбережения, строительных материалов и параметрического моделирование на этапе проектирования станции подробно исследовал А. Г. Выворотнюк [19].

Полярная станция «Принцесса Елизавета», была введена в эксплуатацию в 2009 г. и стала первой базой, работающей на экологически чистой энергии. Она является примером применения экологических строительных материалов, использования чистой и эффективной энергии, оптимизации потребления и разумных методов обращения с отходами. Эффективная теплоизоляция стен почти полностью предотвращает потери тепла, солнечные панели преобразуют

солнечную энергию в электричество, а термальные панели обеспечивают отопление и подогрев воды для бытовых нужд [105]. «Принцесса Елизавета» – единственная в Антарктике база, имеющая нулевой уровень выбросов. Данный показатель достигается исключительностью использования солнечной энергии и энергии ветра (использование микро-смарт-сетки) для функционирования базы. Энергетический бюджет станции состоит из 48% энергии ветра от 9 ветряных турбин, 20% солнечной фотоэлектрической энергии от 380 кв. м солнечных панелей и 12 % солнечной тепловой энергии от 22 кв. м солнечных панелей [112].

Оболочка базы выполнена в виде многослойной конструкции, включающей девять слоев, каждый из которых выполняет специфическую функцию. Наружные панели станции включают следующие слои: листовая сталь толщиной 1,5 мм; пена с закрытыми ячейками 3 мм; слой силиконового герметика 3 мм; деревянные панели 80 мм; полистирол с графитовым наполнением 400 мм; деревянные панели 60 мм; алюминиевый паровой барьер и шерстяной войлок.

Системы вентиляции станции обеспечивают эффективный теплообмен, забирая отработанный воздух с низким содержанием кислорода и заменяя его свежим. О конструкторских решениях здания для эффективного использования ветроэнергетики, позволяющей не только повысить уровень безопасности, снизить затраты на поддержание и строительство здания, но и интегрировать возобновляемые источники энергии подробно описано в статье Родриго Д. С., Ван Биик Д., Бучлин Д. М. [179].

«Конкордия» – французско-итальянская антарктическая станция, открытая в 2005 году, используется в качестве одного из реальных аналогов наземного базирования для длительных полетов в дальний космос. Успех данного проекта критически зависел от надежной экономически эффективной доставки большого количества оборудования, необходимого для строительства и функционирования станции. В январе 2000 года на конференции ИСКОРД2000 (ISCORD2000), Хобарт, Тасмания был представлен доклад «Конкордия: новый постоянный международный исследовательский центр высоко во льдах

Антарктиды», в котором подробно раскрыта используемая при строительстве станции концепция интегрального самоподъемного здания [160].

«Немейер Стейшен 3» (*Neumayer-Station III*) – научно-исследовательская станция Германии в Антарктиде. Станция построена Институтом полярных исследований Альфреда Вегенера и Обществом Гельмгольц. Срок ее службы составляет предположительно от 25 до 30 лет. Станция включает 15 жилых секций, 12 лабораторий и сельскохозяйственные постройки. Комплекс держится на 16 гидравлических опорах и располагается на высоте 6 м. В целях решения проблемы движения льда в океан (150 м в год) было создано уникальное инженерное сооружение, поднимающее всю конструкцию на заданную высоту. При весе конструкции около 2,5 тыс. тонн её площадь составляет почти 4,5 тыс. кв. На Неме́йер Стейшен 3 созданы все условия для комфортной работы ученых. Есть генераторы, снабжающие теплом и светом, аварийный ветрогенератор, уникальная система водоснабжения, преобразующая снег в воду [151]. Кроме жилых предусмотрены помещения общественного и хозяйственного назначения: конференцзал, медицинский кабинет, операционная, сауна, тренажерный зал, прачечная и др. При проектировании станции архитекторы учли необходимость сохранения экосистемы Антарктиды [148].

«Халли 6» (*Halley VI*) — британская полярная станция на шельфовом леднике Бранта в море Уэдделла в Антарктиде [150]. Открытая в 2013 году, она стала первой в мире мобильной арктической станцией. Воду на Халли 6 добывают путём плавки льда с последующим очищением и фильтрацией. Реализация проекта заняла 4 года, такой длительный срок связан с тем, что период строительства составляет 9-летних недель в году. Сложностью являлось и ограничение грузов по массе, нельзя перевозить по льду грузы тяжелее 9,5 т. С целью избежания снежных заносов станция приподнята над уровнем льда на 4 м, кроме того, каждая из ее опор снабжена полозьями, что в случае необходимости, позволяет переместить станцию.

Для повышения теплоизоляции фасады покрыты высокоэффективным стеклопластиком, окна оснащены тройным остеклением, а купол общественного

модуля выполнен с полупрозрачными панелями, заполненными аэрогелевой изоляцией. Крупные оконные проёмы и прозрачные перекрытия коридоров позволяют максимально использовать естественное освещение, сокращая расход электроэнергии в светлое время суток, а отопление обеспечивается почти полностью за счёт тепла, вырабатываемого генераторами [175]. Сточные воды очищаются, чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды.

В отделке использована древесина кедра, запах которой поможет справиться с сенсорной недостаточностью, характерной для северных регионов. Постройка базы с применением архитектурных решений, способствующих адаптации строения к климату Антарктиды, была важным решением с которыми столкнулась Британская антарктическая служба, в ходе организации деятельности в данной местности для исследования жизненно важных систем Земли [154].

«Амундсен – Скотт» – действующая с 1956 года постоянно обитаемая антарктическая станция США, на которой постоянно проживают от 40 до 200 человек – учёных, исследователей и профессиональных полярников. Из-за движения льдов расположение станции сместилось в сторону на 200 метров от первоначального положения [38]. Важным решением в проектирование станции стало ветреная турбина, которая вырабатывает энергию, используемую для нагрева бурового оборудования необходимого для продуктивной жизнедеятельности станции [185].

Исследования на станции охватывают множество сфер науки, включая гляциологию, геофизику, метеорологию, физику верхних слоев атмосферы, астрономию, астрофизику и биомедицинские исследования. База оснащена обширным комплексом развлекательного характера и имеет спортивный зал, кабинет для музыки, комнату разгрузки, компьютерный клуб, библиотеку. На станции функционирует своя оранжерея и парник в которых зимой сотрудники самостоятельно выращивают зелень и овощи.

«Чан Бого» — южнокорейская научно-исследовательская станция, состоящая из 16 объектов, её общая площадь составляет 4458 м².

Аэродинамический корпус защищает конструкцию базы от сильных ветров, которые могут дуть со скоростью 65 км/час. «Чан Бого» спроектирована с учётом организации комфортного пространства для жизни работников базы и проведения исследований. Для максимальной эффективности строительного процесса были использованы предварительные модули, изготовленные из экологически чистых материалов.

«*Тайшань*» – китайская база площадью 710 кв. м. расположенная в Антарктиде. Станция рассчитана на проживание 20 человек, оборудование базы позволяет не только организовать процесс научных наблюдений, но и обеспечить комфортное проживание сотрудников. Для обеспечения энергобезопасности на станции имеются системы производства солнечной и ветровой энергии. Для повышения уровня логистической доступности объекта на территории есть ледяная и снежная взлетно-посадочные полосы для самолетов.

Вспомогательное здание в виде мобильного модуля-контейнера площадью 300 кв. м. оснащено котлами, работающими на жидком топливе, генераторными установками, установками для растапливания снега, системами отопления и очистки сточных вод. На данной станции была внедрена многоэнергетическая микросетевая система, в ходе проектирования которой были впервые изучены и применены достижения в системах защиты от снега и интеллектуальная платформа управления, которая может работать автономно [157].

«*Куньлунь*» – китайская научно-исследовательская станция в Антарктике, конструкция которой состоит из внутренних функциональных помещений, обнесённых внешней морозоустойчивой постройкой. Станция представляет собой 11 внутренних помещений модульного типа и 10 просторных купе. Данные модули были подготовлены заранее и доставлены на базу с целью установки уже готовых конструкций. В 2023 году на станции были проведены исследования о пагубном влиянии гипоксии на жизнедеятельность и работоспособность сотрудников станции [186].

«*Bharati*» (*Bharati*) – постоянная научно-исследовательская станция Индии, рассчитанная на длительное пребывание людей, при экстремальных погодных условиях имеет возможность продолжительное время работать в автономном режиме. Станция представляет собой одиночный, прямоугольный в плане объем, поднятый над землей на опорах. В качестве строительных блоков при возведении полярной станции, площадь помещений которой составляет около 2500 кв. м., были использованы транспортные контейнеры. Благодаря такому конструктивному решению станция, может быть, в любой момент полностью демонтирована, не оставляя после себя никаких следов. На стадии проектирования макет станции прошел испытания в аэродинамической трубе, подтверждая свою способность сопротивляться сильному ветру и снежным заносам.

Благодаря использованию при строительстве готовых модулей (транспортных контейнеров) строительство базы было завершено за 1 месяц. 134 контейнера, приподнятые на сваях, были соединены между собой и покрыты изоляционной оболочкой. Тепло- и электроснабжение станции осуществляется за счет блока, работающего на керосине (предусмотрено два резервных агрегата) [147].

Снабжение питьевой водой производится с помощью системы очистки. Большое внимание при проектировании станции было уделено системе управления сточными водами. Данное направление жизнедеятельности станции является критически важным процессом, который играет значимую роль в защите окружающей среды Антарктиды. Первоначально для удаления твердых частиц из воды, таких как волосы и ворсинки, используется фильтр грубой очистки. На втором этапе отфильтрованная вода закачивается в биокамеру, где аэробные бактерии разлагают органические и питательные вещества, затем очищенная вода проходит дезинфекцию ультрафиолетовым излучением перед хранением в резервуаре для последующего повторного использования. Индийские исследователи Арктики Рахат, Вивек Кумар, Ариз Ахмад, Викас Сингх и др. провели подробный мониторинг эффективности данной системы [170].

На основе анализа зарубежных туристических центров и полярных станций можно выделить следующие характерные особенности: объекты преимущественно размещаются в природных ландшафтах или на реконструируемых заброшенных промышленных территориях; предусмотрены системы вторичного использования воды и других ресурсов; применяются возобновляемые источники энергии; объекты полностью автономны.

Отечественный и зарубежный опыт проектирования и строительства научно-исследовательских станций, жилых объектов и военной инфраструктуры в условиях Крайнего Севера показывает, что для того, чтобы ответить всем вызовам региона, необходимо применение самых современных материалов и инженерных конструкций.

Сравнивая с историческим опытом развития городов в условиях Крайнего Севера, прослеживается тенденция возвращения к адаптивному подходу строительства, являющегося основой традиционных жилищ коренных народов севера, взамен популярного в прошлом столетии колониального подхода (Рис. 1.3). Эта тенденция характерна как отечественному, так и зарубежному опыту (Рис. 1.4).

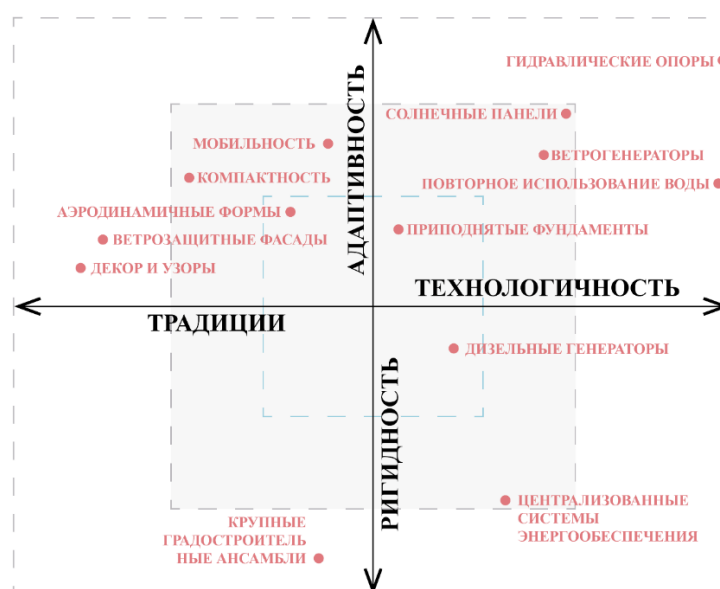


Рисунок 1.3. Схема сравнения уровня адаптивности методов строительства

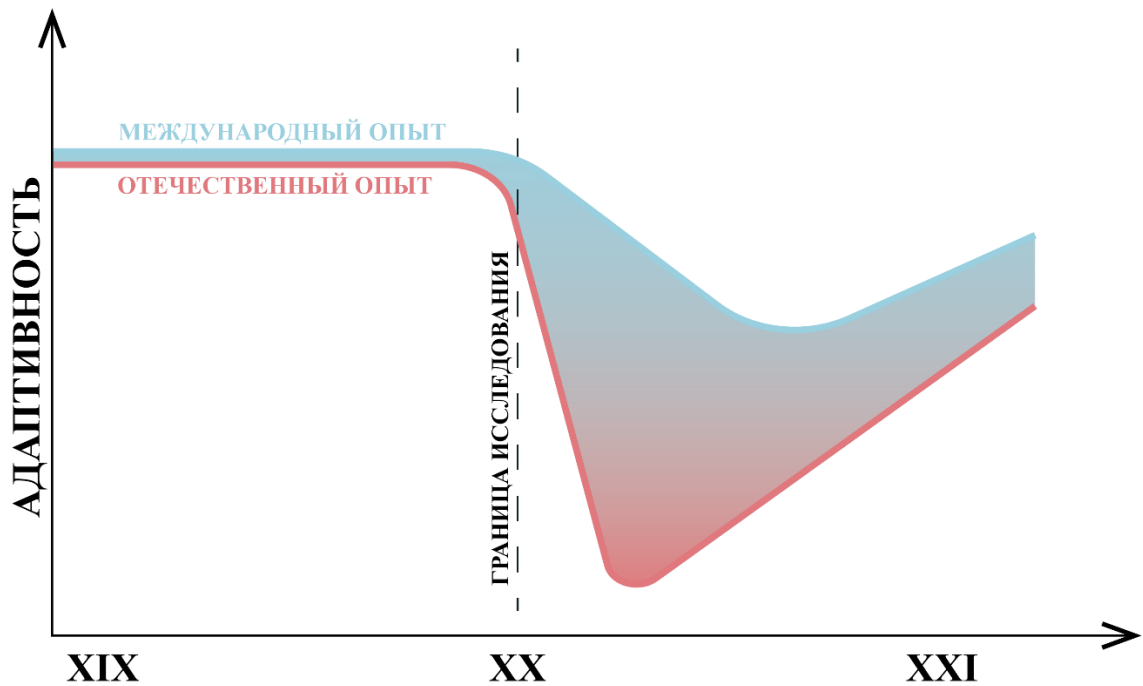


Рисунок 1.4. График адаптивности строительства в условиях севера в историческом контексте

По результатам анализа современного опыта, выявлены следующие подходы к строительству жилых объектов в экстремальных условиях, которые позволяют повысить эффективность модульных жилых систем:

- предварительное изготовление элементов модульных конструкций позволяет упростить сборку объектов на площадке и повысить качество;
- автономность объектов является важным аспектом при проектировании в труднодоступных местах, помимо стандартных источников энергии, таких как генераторы, международный опыт демонстрирует широкое применение альтернативных источников в виде солнечных батарей и ветровых турбин;
- использование простых форм, позволяющих в кратчайшие сроки построить жилой объект и упростить логистику;
- обтекаемые формы здания с учётом ветровых потоков, позволяющие уменьшить ветровую нагрузку, избежать снежных заносов и повысить энергоэффективность.

– приподнятые свайные фундаменты, помогающие предотвратить таяние грунта и повысить энергоэффективность здания за счёт отсутствия прямого контакта с грунтом.

– мобильность и транспортабельность, предусмотренная в международных примерах, обеспечивается за счёт заложенных в конструкции зданий полозьев и специальных опор.

Выводы первой главы

По результатам проведённого анализа выявлено, что развитие жилой среды в Арктике и на Крайнем Севере определяется совокупностью исторических и социально-экономических факторов. Экономическая важность региона определяется его ресурсным потенциалом и развитием Северного морского пути, который выступает ключевой транспортной магистралью, обеспечивающей как международные торговые маршруты, так и внутренние связи между северными территориями.

На уровне государства значение этих земель отражено в национальных стратегиях и программах, ориентированных на социально-экономическое развитие Арктической зоны. Эти документы подчёркивают необходимость создания комфортных условий для жизни и труда, однако специфика Крайнего Севера накладывает существенные ограничения на формы и методы строительства. Модульные жилые системы могут позволить повысить эффективность выполнения поставленных задач.

1. Среди ключевых предпосылок для применения модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера выделены:

– маятниковая миграция и вахтовый характер освоения региона, что требует гибких и адаптивных форм жилища, рассчитанных на быструю сборку, разборку и транспортировку;

– удалённость территорий и сложности доставки строительных материалов преимущественно по морю и воздуху, что обуславливает необходимость в компактных, модульных решениях;

– отсутствие крупных строительных заводов и нехватка квалифицированных строителей стимулирует применение заранее изготовленных конструкций в более развитых регионах;

– отсутствие традиционного частного домостроения, в отличие от других регионов России, индивидуальное жилищное строительство на Севере практически не получило распространения из-за сурового климата, вечной мерзлоты и экономической нецелесообразности в случае использования стандартных строительных подходов;

– вахтовые посёлки и временные формы расселения, проектируются не как стационарные поселения, а как мобильные или условно-временные структуры, что напрямую ведёт к развитию модульных технологий;

– развитие туристического сектора стимулирует строительство гостиничных комплексов в уникальных природных локациях на удалении от крупных центров.

2. Предпосылки формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера обусловлены сочетанием объективных природных и инфраструктурных ограничений и государственных приоритетов освоения региона. Модульные системы выступают как наиболее перспективное направление, позволяющее одновременно решать задачи быстрой организации комфортной жилой среды, сокращая издержки строительства и обеспечивая мобильность населения в условиях экстремального климата.

3. Анализ традиционных жилищ коренных народов Арктики и Крайнего Севера (чум, яранга, балок, иглу, санный дом и др.) позволил выявить ряд особенностей, имеющих значимость для современного архитектурно-строительного проектирования в экстремальных климатических условиях:

– традиционные формы жилища демонстрируют высокую адаптивность к природно-климатическим условиям, используя компактные объёмно-

пространственные решения, способствуют сохранению тепла и снижают теплопотери;

– конструктивные приёмы, от округлых очертаний иглу до шатровой формы чума, обладают выраженными аэродинамическими свойствами, повышающие устойчивость к ветровым нагрузкам;

– мобильность и трансформируемость жилища, чум, яранга и санный дом были рассчитаны на многократную сборку и разборку, что обеспечивало возможность перемещений в условиях кочевого и полукочевого образа жизни, что перекликается с современными задачами создания модульных и мобильных жилых систем для вахтовых посёлков;

4. Традиционные жилища народов Севера являются важным элементом их самоопределения. Использование аутентичных визуальных средств и декоративных элементов позволит не только поддержать культуру малочисленных народов, но и повысить туристический интерес и узнаваемость региона.

5. Выделены следующие архитектурно-градостроительные периоды развития Крайнего Севера:

– первый этап до 1930 г. иллюстрирует доиндустриальное развитие Севера, данный период характеризуется строительством традиционных жилищ (чумы, яранги, балок), использованием местных материалов, отсутствием инженерных систем и сезонным характером строительства;

– второй этап с 1930 по 1950 гг. связан с началом активного освоения северных земель, обозначенного изменениями в советской и международной политике и интересом к ресурсной базе Крайнего Севера. Характеризуется началом массового строительства посёлков для нужд геологоразведки, угледобычи, военной инфраструктуры. Поселки застраивались типовыми деревянными и щитовыми домами, конструкции и материал которых не были рассчитаны на использование их в климате арктических пустынь и тундры. Архитектура служила инструментом для обозначения присутствия государства в регионе;

– третий этап – с 1960 по 1980 гг. характеризуется стремлением устранить ошибки, допущенные на предыдущем этапе. В это время происходило глубокое изучение и исследование особенностей региона, оказывающих прямое воздействие на архитектуру и градостроительство. Были разработаны первые нормативы строительства в условиях вечной мерзлоты, а также рекомендации по теплоизоляции и ориентации зданий с учётом солнечного и ветрового режима;

– четвёртый этап – с 1990 по 2010 гг. характеризуется спадом строительства, свёртыванием программ по развитию севера, снижением финансирования и деградацией инфраструктуры, строительством индивидуальных архитектурных проектов для поддержания жизнедеятельности регионов, отсутствием масштабных и комплексных проектов освоения севера;

– пятый этап – с 2010 г. по настоящее время, определяется возрождением интереса к Арктике, но с более прагматичным и сбалансированным подходом в сравнении с третьим этапом. Для последнего этапа характерен переход к концепции устойчивого развития, энергоэффективности и адаптивной архитектуре, возрождение интереса к модульным, мобильным и трансформируемым системам, использование BIM-технологий, пассивного и активного энергосбережения, применение альтернативных источников энергии, учёт не только климатических факторов, но и социокультурных.

6. Международный опыт (Канада, США, Скандинавские страны) демонстрирует высокий уровень интеграции технологий устойчивого строительства и адаптивной архитектуры. В зарубежных проектах особое внимание уделяется комплексной теплоизоляции, применению модульных каркасных и контейнерных систем, использованию альтернативных источников энергии. Характерной чертой является ориентация на автономность зданий и минимизацию эксплуатационных затрат.

7. Отечественные и зарубежные практики демонстрируют значимость мобильности и сборно-разборного характера жилья. Для вахтовых поселков и временных баз (геологоразведка, добывающая промышленность, научные

станции) модульные системы позволяют обеспечить быстрое развертывание жилой инфраструктуры, её перенос и утилизацию без нанесения ущерба окружающей среде. Выявлены отличия в культурных и социально-экономических подходах, если в международных проектах модульные системы развиваются в логике устойчивого и качественного проживания, то в отечественной практике они чаще рассматриваются как инструмент обеспечения производственных потребностей. Это указывает на необходимость перехода от утилитарного подхода к созданию комфортной и устойчивой среды обитания в российской Арктике.

8. Анализ отечественного и зарубежного опыта модульного строительства в условиях Арктики и Крайнего Севера позволил выявить основные тенденции, проблемы и архитектурно-строительные особенности, формирующие основу для современных решений:

- модульность, мобильность и сборно-разборный характер конструкций;
- энергоэффективность и высокая теплоизоляция ограждающих конструкций;
- адаптивность, учёт климатических факторов (ветровая нагрузка, снежные заносы, солнечная радиация);
- автономность (альтернативная энергетика, локальные инженерные системы);
- компактность пространственных решений.

Полученные выводы подтверждают, что совмещение традиционных наработок и современных решений может стать базой для разработки эффективных модульных жилых систем, отвечающих вызовам освоения Крайнего Севера.

ГЛАВА II. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДУЛЬНЫХ ЖИЛЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Северные территории имеют высокий потенциал благодаря большим запасам нефти, газа, металлических руд и прочих видов ценных ресурсов, но суровый климат и низкая плотность поселений усложняют процесс развития данных территорий, более того основная часть коренных народов севера проживает за пределами крупных поселений [86]. Заселение территорий неразрывно связано с их развитием. Климат, характеризующийся экстремально низкими температурами и большими порывами ветра создает повышенный уровень требований безопасности в вопросах организации быта, проживающего в данной местности населения. Исследованием влияния суровых климатических условий на быт людей занималась целая плеяда известных этнографов, географов и путешественников: Г. М. Лаппо, Е. В. Перцик, Ф. П. Литке, В. А. Русанов, Г. Я. Седов, О. Ю. Шмидт, И. Д. Папанин, А. П. Карпинский, М. М. Сомов, А. Н. Чилингаров, Н. Н. Урванцев, Р. Л. Самойлович, Г. А. Агранат [2], Г. М. Лаппо [65], И. С. Гурвич [28] и др.

В советское время в процессе проработки плана заселения регионов Крайнего Севера возникли разногласия в вопросе подходов к реализации данного процесса. Предлагалось два подхода к освоению северных земель – капитальное или временное строительство (вахтовые поселки). В первом случае проект подразумевал застройку местности капитальными зданиями с учётом постоянного проживания населения на данной территории. Второй, в свою очередь, рассматривал поселения без постоянного проживания с установкой временных мобильных конструкций.

Сторонники метода временных объектов, подразумевающего привлечение рабочих на определенный срок в рамках выполнения конкретных задач, выделяют экономическую эффективность и минимизацию воздействия на окружающую

среду при использовании данного типа освоения. В случае вахтового способа освоения территорий издержки связанные с постоянным обеспечением жизнедеятельности поселения и строительством инфраструктуры в критических климатических условиях севера отсутствуют. Возможность быстрой и легкой транспортировки временных строений отмечается в качестве преимуществ вахтового метода.

Основным и весомым преимуществом метода стационарных поселений является его потенциал воздействия на экономику страны, вследствие создания инфраструктуры в регионах Крайнего Севера. По мнению приверженцев данного подхода, функционирование и развитие таких поселений способно обеспечить устойчивое развитие северных районов, улучшая качество жизни местного населения путем организации рабочих мест, повышения качества медицинской и образовательной инфраструктуры.

Неоспоримым фактом в поддержку метода постоянных поселений является необходимость укрепления присутствия России в арктической зоне, важной как с точки зрения развития государственной безопасности, так и с точки зрения стратегических инициатив, стимулирующих интерес к северным регионам. Н.В. Суханов [129]. являясь сторонником фундаментального подхода к освоению Севера, освещает тему приоритетности и устройства варианта постоянных поселений в своих работах. Принципы строительства постоянных населенных пунктов в районах Крайнего Севера сформулировал в своих исследовательских трудах Э. П. Путинцев [98], не смотря на необходимость, с его точки зрения, ротации жителей северных городов. Анализ и исследование существующего опыта реализации создания постоянных жилых пространств в условиях севера обобщила Е. А. Калеменева [47].

Существует также комбинированный подход, предполагающий строительство мелких постоянных поселений, в месте стратегически важном для развития региона, с совместным использованием временных населенных пунктов для выполнения конкретных задач. Данный метод позволяет использовать все

ранее перечисленные преимущества совмещая в себе экологическую ответственность и интересы государства, закрепляя присутствие России на арктических территориях. Комбинированный способ организации является более адаптивным к изменению экономической, политической и климатической ситуации. На основании исследования города Дудинка, расположенного за полярным кругом, была предложена схема расселения с применением данного подхода [6].

Градостроительная структура города отражает комбинированный тип застройки, размещая на своей территории стандартные многоэтажные жилые дома, которые дополнительно выполняют функцию ветрозащиты, а также мобильное жильё, наличие которого регулирует плотность населения. Именно наличие модульных строений позволяет данной градостроительной структуре быть гибкой и адаптивной, а значит комфортной, с точки зрения потребностей жителей этого населенного пункта, что подчеркивает актуальность поставленной задачи. «Только гибкая, адаптивная система способна на сегодняшний день отвечать постоянно меняющимся условиям региона и обеспечить максимально возможный уровень комфорта для его жителей» [6, с. 127] (табл. 2.1).

Таблица 2.1. – Модели освоения северных территорий

	Мобильный	Стационарный	Комбинированный
Проживание	временное	постоянное	постоянное с внедрением временных жилищ
Эффективность	средняя, подходит для удалённых территорий	высокая, но с большими экономическими издержками	высокая
Экологичность	высокая	низкая, из-за необходимости внедрения крупных производств	средняя
Развитие земель	слабое развитие	высокое развитие с большим стратегическим значением	среднее развитие
Экономичность	высокая, упрощённой логистикой	низкая	средняя

Все три перечисленных подхода, в вопросе реализации объединяет одна проблема, суровый климат и труднодоступность Арктики. Логистические и технологические задачи, стоящие перед организаторами процесса освоения северных пространств, требуют высокого уровня знаний, больших инвестиционных вложений и инновационного подхода. В данной главе проведён анализ сложностей, возникающих в процессе реализации проектов в условиях Крайнего Севера, и предложены принципы и приёмы для развития модульных жилых систем позволяющих повысить их эффективность.

2.1. Климатические факторы влияющие на формирование архитектуры модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Вечная мерзлота. Суровые климатические условия арктической зоны отличаются в первую очередь критически низкими температурами и порывистым ветром, в совокупности с условиями вечной мерзлоты, которые бросают вызов архитекторам и инженерам при разработке строительных объектов на данных территориях [134]. В научном сообществе прошлого столетия была проведена основательная работа по исследованию условий вечной мерзлоты такими учеными как М. И. Сумгиным [128] В. И. Гребенцем [27], Д. А. Стрелецким [125] и др., предоставившими миру свои научные труды, которые стали фундаментом многих решений, позволивших осваивать пространства Севера. Таяние мерзлого грунта, в случае изменения температурного режима, может стать причиной дестабилизации и просадки конструкций, построенных на нём [12].

Для предотвращения этих негативных последствий и обеспечения устойчивости зданий в условиях возможного оттаивания грунта, применяются специальные инженерные решения, одно из которых – использование свайных фундаментов [96]. Сваи в таких условиях не только обеспечивают необходимую

опору для строений, но и создают пространство между зданием и поверхностью грунта, что способствует продуваемости и термической изоляции подземного основания [39]. Подобное решение было подробно изложено в трудах Михаила Ивановича Сумгина, известного российского мерзловеда и геокриолога. Этот подход минимизирует контакт сооружений с грунтом, снижая риск разрушения вследствие изменения его состояния. Данный способ активно применяется при строительстве крупных городов русского севера начиная с XX века.

Современный уровень строительства позволяет проводить детальный мониторинг грунта, который отражает малейшие изменения в его температуре и структуре, эта возможность крайне важна и востребована для сохранения конструктивной устойчивости здания [146]. Высота расположения здания оказывает существенное влияние на температурные процессы в слоях основания [187]. Возможность мониторинга позволяет вовремя определить процесс таяния грунтов и предотвратить его, а с помощью технологии 3D Green BIM существует возможность смоделировать эффект от эксплуатации здания на характеристики грунта, и определить нужное расстояние и положение между ними.

Несмотря на актуальность свайного фундамента, его эффективность может подвергнуться сомнению по причине необратимого процесса глобального потепления, которое с каждым годом становится всё значительнее. Криолитологические исследования констатируют многочисленные примеры повреждения зданий, по причине деформации грунта под воздействием условий неблагоприятных для вечной мерзлоты [73]. Тенденция повышения факторов риска наблюдается во многих Российских городах, в которых проводились данные исследования. Согласно статистическим данным города Норильска, количество повреждений за последние 10 лет превышает суммарный показатель предшествующих 50 лет [162].

Учитывая вышеизложенную статистику, эффективность использования фундамента на винтовых сваях, получивших большую популярность на сегодняшний день, требует пересмотра и модернизации [83]. Альтернативным

вариантом является размещение здания на «подушке», принцип функционирования которой заключается в увеличении площади опоры строения на основание, тем самым удерживая здание на поверхности (Рис. 2.1). Крепление к грунту такого варианта фундамента производится с помощью шпилек и свай, укрепляя устойчивость подушки. Существует вариант опор на скользящих пластинах, не только удерживающих конструкцию, но и позволяющих легко перемещать её, пример данного решения реализован в рамках возведения станции Халли 6 (Halley VI).

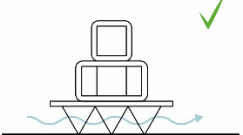
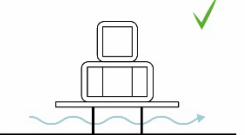
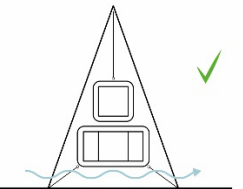
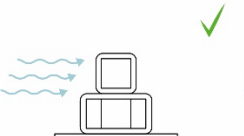
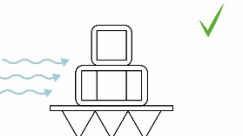
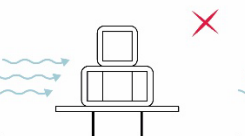
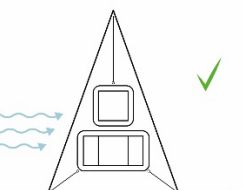
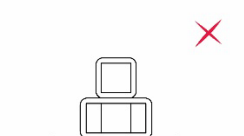
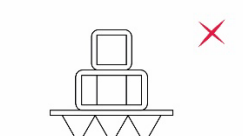
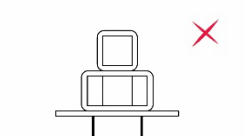
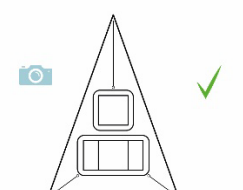
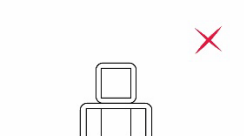
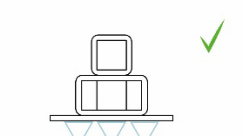
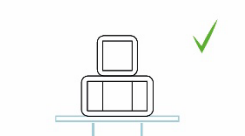
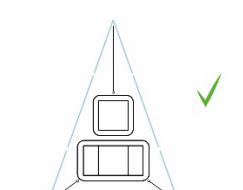
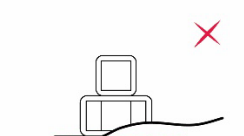
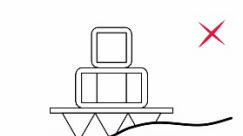
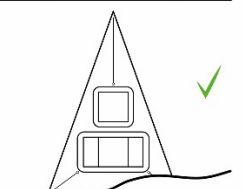
	Плита	Опоры Multipoint	Свайный	Треугольная опора
Продувание грунта				
Ветроустойчивость				
Уникальный дизайн				
Мобильность				
Адаптация к рельефу				

Рисунок 2.1. Анализ фундаментов для установки модульных жилых систем

Низкие температуры. Воздействие критически низких температур в условиях Крайнего Севера является важным фактором, влияющим на эксплуатационные характеристики зданий. При разработке проекта строительного объекта необходимо учитывать не только актуальность, эффективность и применимость строительных материалов, главным качеством которых являются теплоизоляционные свойства, а также необходим детальный подход к разработке формы и геометрии здания.

При расчете энергоэффективности здания, необходимо учесть взаимосвязь между расходом тепла и соотношением общей площади и периметра наружных стен. Влияние данного соотношения доказано экспериментальным путем «При расчетной температуре воздуха минус 30° С. В жилых домах с планировкой, где удельный периметр наружных стен составляет 0,24, удельный расход тепла был принят за 100%, при снижении компактности до 0,35 расход тепла составил уже 121%» [68, с. 157].

Важность геометрии здания для повышения уровня энергоэффективности была доказана с помощью компьютерных технологий финским исследователем Киммо Лулукангасом. С целью выявления наиболее эффективных, с точки зрения эксплуатации, реализации и энергоэффективности, форм зданий для городов северной Европы им были созданы и проанализированы аналитические 3D модели. Данный опыт позволил подтвердить принцип энергоэффективности формы здания [174].

В качестве эксперимента была взята модель с 2-мя показателями:

1) коэффициент A/V (наружная площадь/обогреваемый объем) увеличивается с 0,70 до 1,00;

2) коэффициент A/A (внутренняя площадь/ площадь пола) увеличивается с 2,25 до 3,75.

При расчете коэффициента A/V используется внешний размер слоя изоляции, внутренние размеры строительной оболочки используются при расчёте коэффициента A/A .

Отраженные выше расчёты позволяют констатировать преимущество компактной формы здания, как формы, снижающей уровень теплопотери и минимизирующей площадь необходимого ограждения с целью ветрозащиты. Меньшая площадь влечет за собой экономию на организации отопления помещения, а также повышает уровень экономии тепла, что связано с компактностью внутреннего пространства.

Наиболее эффективной считается компактная форма, с минимальной площадью наружных ограждений по отношению к внутреннему объему. Среди подобных форм стоит выделить сферу, куб и цилиндр как архитектурные формы с максимальной энергоэффективностью. Не меньшее влияние на показатель энергопотерь оказывает форма окон. Предпочтительной является вытянутая по вертикали форма окна, способствующая минимизации площади охлаждения совместно с повышением ресурса освещаемости помещения [68, с. 141].

Ветер. Воздействие сильного ветрового режима требуется учитывать при строительстве в регионах Крайнего Севера. В условиях полярного климата, где зимы суровы, а ветры достигают значительных скоростей, приходится анализировать множество специфических архитектурных решений, направленных на минимизацию давления ветра и снега на здания. Архитектурная форма влияет на устойчивость здания к ветровым нагрузкам.

Обтекаемые формы, например, цилиндрических или купольных конструкций, способствуют снижению ветрового давления на фасады и уменьшают вероятность образования сугробов [79]. Обтекаемость здания также помогает минимизировать сопротивление воздушным потокам, что важно для снижения теплопотерь и поддержания энергетической эффективности строений. Этот подход был опробован уже в начале 70-х гг. XX в. и стал неотъемлемым принципом проектирования в северных регионах [13].

В начале 70-х гг. XX в. впервые данный принцип ветрозащиты был реализован в жилой застройке Мурманска при проектировании микрорайонов 203 и 206. Вместо прямых углов в жилых домах были использованы преимущественно

тупые – 120 и 135 градусов, при которых снижается турбулентность ветровых потоков [68, с. 149]. Хорошо зарекомендовавшие себя приемы ветрозащиты продолжают применять в современном проектировании, например, при разработке «Нового Мурманска» на берегу Кольского залива, более подробно эти подходы описаны в статье О. В. Воличенко и С. Н. Огородникова «Архитектура жилых систем в условиях Крайнего Севера» [15].

Обеспечение устойчивости конструкций в условиях сильного ветра является еще одной важной задачей проектировщика. Здания в северных регионах проектируются с расчетом на большие ветровые нагрузки, что требует применения усиленных конструктивных элементов, таких как укрепленные фундаменты и каркасы. Использование прочных материалов и дополнительных крепежных элементов способствует долговечности зданий в условиях экстремальной ветровой нагрузки. Влияние сильных северных ветров на архитектуру и строительство невозможно игнорировать.

Применение высоких входов, обтекаемых форм и устойчивых конструкций не только обеспечивает защиту зданий от снегозаносов, но и повышает их энергоэффективность и долговечность [100]. Интеграция этих решений в проектирование арктических зданий способствует созданию комфортной и безопасной среды для жителей, несмотря на экстремальные природные условия.

Бури. Ветер является также причиной снежных бурь. Во время бури наряду с устойчивостью здания, возникает необходимость обеспечить его заметность, особенно в условиях ухудшенной видимости. В условиях Арктики, когда метели могут значительно снизить видимость, заметные ориентиры повышают безопасность населения. Одним из способов улучшения заметности является использование ярких и контрастных цветов на фасадах зданий.

Цвет помогает легко идентифицировать здания даже при сложных погодных условиях. Яркие оттенки, такие как оранжевый, красный или желтый, хорошо контрастируют с белыми снежными ландшафтами и могут стать визуальными ориентирами во время вьюги и метели. Кроме того, использование световых

указателей и подсветки на зданиях способствует их легкому обнаружению в условиях тумана или снежной завесы. Световой дизайн актуален не только в период снежных бурь, но и во время полярной ночи, которая продолжается от одного до трёх месяцев в зависимости от конкретного расположения локации.

Колористика. В суровых условиях Крайнего Севера, где большую часть года преобладают холодные оттенки природы – белый снег, серое небо и отсутствие зелени, правильный выбор цветовой гаммы в архитектуре может существенно влиять на настроение и психологическое состояние жителей. Яркие и насыщенные цвета помогают создать ощущение тепла, уюта и живости. Это особенно важно в период долгой зимы и полярной ночи, когда солнечного света почти нет, и серость среды может негативно влиять на психологическое состояние человека.

Влияния цвета на человека, проживающего в северных регионах, изучала М. А. Фролова, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии высшей инженерной школы [135]. Проведенные анализы показали, что чрезмерные информационные, психологические нагрузки и ряд социальных факторов негативно сказываются на состоянии здоровья человека, на которое влияют также сложные природно-климатические условия региона проживания, монотонность ландшафта и однотипность архитектурных форм.

В своих исследованиях автор предлагает придерживаться естественной для северных регионов палитры. С учетом сезонности и природно-климатических особенностей, такими цветами являются оттенки светлых теплых тонов (желтый, оранжевый) в сочетании с оттенками холодных тонов разной насыщенности (серо-белая гамма) [24]. В условиях сурового климата и удаленности северных городов правильное использование цвета становится не только эстетическим инструментом, но и важным функциональным элементом, улучшающим качество жизни и поддерживающим связь между человеком и окружающей средой.

Обилие снега. Большое количество снега в северных регионах оказывает значительное влияние на архитектурное проектирование и конструктивные решения зданий. Высокие снеговые нагрузки требуют использования специальных

форм и материалов, способных противостоять скоплению снега и предотвращать негативное воздействие на несущие конструкции. Одним из классических решений является применение скатных кровель с крутым углом наклона, что позволяет снегу естественным образом скатываться с поверхности, уменьшая нагрузку на крышу и снижая риск её деформации или разрушения. Недостаток этого решения заключается в том, что здание становится более уязвимо для сильных ветров.

Однако, помимо традиционных скатных кровель, особую роль начинают играть обтекаемые формы зданий. Такие формы, вдохновлённые принципами аэродинамики, позволяют ветрам, характерным для северных регионов, не только переносить снежные массы, но и эффективно сдувать снег с поверхностей. Обтекаемые конструкции минимизируют зоны скопления снега и создают условия для его естественного удаления ветровыми потоками, что повышает долговечность и устойчивость здания [108].

Согласно климатическим факторам, модульные жилые системы, расположенные в условиях Крайнего Севера, должны быть: устойчивы к снежным бурям и высоким снеговым нагрузкам; иметь обтекаемые формы и рациональных конструктивные решения для создания эффективной и устойчивой архитектуры; иметь компактные формы для повышения энергоэффективности; иметь контрастные материалы и цвета в отделке для повышения заметности во время снежных бурь.

2.2. Градостроительные принципы проектирования модульных жилых систем

Исторически, градостроительные практики в северных регионах ограничивались исключительно организацией небольших поселений, кочевой образ жизни не предполагал устройство дорожных покрытий или капитальных сооружений [122]. Со временем, коренное население стало тяготеть к оседлому

образу жизни, и уже с начала прошлого века, в Арктике стали формироваться крупные городские поселения. В. А. Савинова, исследуя методы организации архитектурной среды в экстремальных условиях выделяет 4 основных периода развития Арктики: опыт коренных народов Сибири, освоение Арктики европейцами, модернистские проекты прошлого века и современный этап [106]. Но так как архитектура и организация городского пространства имеют неразрывную связь, то градостроительство в северных районах складывалось под влиянием сурового климата региона [60].

Градостроительный опыт стран северного зарубежья демонстрирует стремление к рациональным и экономически обоснованным способам возведения зданий и уменьшению энергозатрат в процессе эксплуатации. Территории распределяются по степени доступности: для общедоступных территорий немаловажно организовать систему основных пешеходных транзитов и пространств; для закрытых пространств, необходимо грамотно отделить и защитить буферными зонами от ветров и бурь [14].

Например, Инувик – город, расположенный на севере Канады, был полностью построен по предварительно разработанному генеральному плану. Проектом в нем предусматривались все современные виды коммунальных услуг. Жилая застройка состоит из отдельно стоящих одно- двухэтажных домов, общественные здания в основном двухэтажные включают 2 школы, гостиницу, библиотеку, кинотеатр, клуб, плавательный бассейн, больницу, бар и ресторан.

Дорожно-транспортная сеть выполнена лабиринтообразно, без длинных прямых участков, что препятствует образованию ветровых коридоров, плотная и нерегулярная застройка защищает город от сильных ветров. При этом масштаб улиц дает возможность спецтехнике эффективно справляться со снежными заносами. В основе структуры города лежит общественно-деловое ядро, вокруг которого группируются одноэтажные жилые дома на частных участках. Складские и промышленные зоны размещены максимально близко к городу, фактически интегрируясь в его структуру.

Во время освоения северных территорий правительство Канады смогло найти грамотный подход к коренному населению севера – инувиалуитам. Они не были вытеснены с родной земли в результате пришествия на их территории нефтяных компаний, совсем наоборот, они получили дополнительные и повышенные права.

Город	Инувик	Воркута	Талнах	Трёмсе	Кируна
Спутниковый снимок					
Описание	Сочетание ветрозащитного дома-стены с плотной застройкой жилых домов с участками и общественного центра, расположенных с учетом рельефа местности	Четкая геометрическая система дорог с длинными прямыми улицами, к которым примыкают блоки многоквартирных жилых домов, высотой от 5 до 9 этажей	Основную часть жилого фонда составляют сборные панельные дома, такое решение объяснимо темпами освоения данных территорий	Из-за островного положения центральной части, город проливом разделён на два берега, которые соединены мостом	Построен на принципах, выведенных шведским архитектором Ральфом Эрскином, учитывающих бытовую уклад и специфику проживания коренного населения Севера
Транспортная схема					
Описание	Дорожно-транспортная сеть выстроена лабиринтообразным способом, без длинных прямых участков, что позволяет избежать ветровых коридоров, масштаб улиц позволяет спецтехнике бороться со снежными заносами	Четкая геометрическая система дорог с длинными прямыми улицами, крупные дворовые территории и слабая степень озеленения городских пространств.	Несмотря на утилитарность застройки, в планировочной структуре города были учтены ветровые потоки, главные улицы города идут перпендикулярно направлению преобладающих ветров	Дорожно-транспортная сеть плотная и развитая, имеет сложную структуру без длинных сквозных улиц. Основным фактором, повлиявшим на расположение дорог является рельеф местности	Дорожная сеть извилиста и вписана в рельеф, без формирования длинных и широких улиц. Озеленение, защищает улицы поселка от ветров и формирует благоприятную городскую среду
Схема капитальных строений					
Описание	Общественно-деловое ядро, находится в центре, вокруг расположены одноэтажные жилые дома. Складские и промышленные зоны расположены близко к городу, интегрируясь в его структуру	В структуре города заложена равнозначность городских пространств, со слабо выделенным центром, и плохо развитой сетью общественных пространств	Жилой сектор формирует фронт, защищающий внутреннюю часть города от порывов ветра и снежных заносов. Высотность жилых массивов, вынуждала градостроителей создавать большие открытые дворы.	Город имеет четкий центр, который представлен многоэтажной застройкой и крупными зданиями, которые несут общественную, административную и развлекательную функцию	Многофункциональное ядро, которое выполняет общественно-административную функцию, вокруг жилая застройка, представленная частными и многоквартирными домами, повышая разнообразие среды
Роза ветров					
Координаты	68°21 с. ш. 133°43 з. д.	67°30 с. ш. 64°02 в. д.	69°29 с. ш. 88°24 в. д.	69°39 с. ш. 18°57 в. д.	67°51 с. ш. 20°13 в. д.
Страна	Канада	Россия	Россия	Норвегия	Швеция
Основан	1954	1936	1960	1794	1900
Численность	3 484	52 292	48 478	76 974	22 906
Площадь	49,76 км ²	29,73 км ²	4,0 км ²	24,34 км ²	16,53 км ²

Рисунок 2.2. Анализ градостроительных особенностей северных городов

Ещё один пример комплексно застроенного города в северных условиях, шведский *город Сваппавара*. Сочетание ветрозащитного дома-стены с плотной частной жилой застройкой и общественного центра, расположенного с учетом рельефа местности формируют комфортный для проживания рабочий городок горнорудного предприятия. Градостроительная структура Сваппавара схожа с Инувиком. Поселок имеет чёткое многофункциональное ядро, которое выполняет общественно-административную функцию, вокруг которого формируется жилая застройка. В отличие от Инувика, жилой фонд здесь представлен не только частными домами, но и многоквартирными, что повышает разнообразие жилой среды и застройки [158].

Дорожная сеть Сваппавара извилиста и вписана в рельеф, без формирования длинных и широких улиц. Отлично сохранено озеленение, которое защищает улицы от ветров и формирует благоприятную городскую среду. Город построен на принципах, выведенных шведским архитектором Ральфом Эрскином, стремившимся максимально учитывать бытовой уклад и специфику проживания коренного населения Севера. На предпроектной стадии разработки генплана он проводит научные исследования и опрос будущих жителей [97].

Тромсё – это главный город Норвежского севера, помимо своего расположения в экстремальных условиях, он известен качеством своей городской среды. Из-за островного положения центральной части, город проливом разделён на два берега. Берега соединены одним мостом, который проходит через центры, расположенные на обеих сторонах. Дорожно-транспортная сеть Тромсё очень плотная и развитая, так же, как и в предыдущих примерах имеет сложную структуру без длинных сквозных улиц. Основным фактором, повлиявшим на систему расположения дорог, является высокий рельеф местности.

Город имеет чётко выделенный центр с многоэтажной застройкой и крупными зданиями общественного, административного и развлекательного назначения. Многоквартирные жилые дома в городе практически отсутствуют, основная часть населения проживает в частных малоэтажных домах.

Обобщая зарубежную практику градостроительства, можно сделать вывод, что планировочные принципы застройки поселений имеют общие характеристики:

- стремление к безотходному жизненному циклу;
- отсутствие сквозных и широких городских улиц и крупных архитектурных ансамблей;
- учёт климатологии, социологии, демографии, экономики, психологии и физиологии человека;
- сохранение традиций коренных народов.

Рассмотрим ряд примеров отечественного градостроительства в северных районах, которое особенно активно стало развиваться, начиная со второй половины XX века. *Талнах*, как и большинство других городов севера Красноярского края был построен по регулярному генплану, основную часть жилого фонда составляют сборные панельные дома, такое решение объяснимо темпами освоения данных территорий и общими архитектурными тенденциями, главенствующими в 60-80х годах на территории всего Советского Союза.

Несмотря на утилитарность застройки, в планировочной структуре города были учтены ветровые потоки. Эти уже апробированные приемы градостроительной планировки были использованы при строительстве расположенного рядом *Норильска*. Главные улицы города протянулись перпендикулярно направлению преобладающих ветров. Жилой сектор формирует фронт, защищающий внутреннюю часть города от порывов ветра и снежных заносов. Из положительных решений городской планировки можно отметить относительную компактность застройки. Но высотность жилых массивов, некоторые из которых выше 10 этажей, вынуждала градостроителей создавать большие открытые дворы, в соответствии с требованиями строительных нормативов. В результате образовались обширные территории, которые не нашли активного применения в суровых северных условиях. Вокруг города удалось сохранить древесную растительность, но вот в самом городе и по сей день растительный покров не восстановлен.

Пренебреженные озеленением северных городов привело к появлению массы градостроительных проблем. Помимо того, что деревья способны защитить участки от сильных порывов ветра и снежных заносов, они формируют благоприятную городскую среду и общественные пространства. Озеленение, значимость которого, особенно в индустриальных городах, каких на севере большинство, имеет очень высокое значение, и было явно недооценено в советский период.

Воркута – ещё один отечественный пример города, расположенного в условиях крайнего севера. Темпы освоения северных регионов в советское время диктовали свои принципы формирования градостроительной среды. Города должны были возводиться быстро и соответствовать уже сложившимся советским стандартам, которые в свою очередь не всегда подходили суровым северным реалиям.

Микрорайонная застройка Воркуты копирует жилые районы множества других советских городов. Четкая геометрическая система дорог с длинными прямыми улицами, к которым примыкают блоки многоквартирных жилых домов, высотой от 5 до 9 этажей. Крупные дворовые территории и слабая степень озеленения городских пространств [129]. В структуре города заложена равнозначность городских пространств, со слабо выделенным центром, и плохо развитой сетью общественных зон. Жилой фонд представлен исключительно многоквартирными домами без каких-либо альтернатив.

Таким образом, отечественный опыт градостроительства характеризуется следующими основными чертами:

- применение типовых проектов, схожих с теми, что были применены на остальной территории страны;
- однообразность жилого фонда и отсутствие альтернатив;
- слабая проработка озеленения и общественных пространств;
- многоэтажность жилой застройки с крупными, открытыми дворовыми пространствами;
- четкая, геометрическая дорожно-транспортная сеть;
- формирование ветрозащитного фронта за счёт жилой застройки.

Сравнительный анализ городских и сельских поселений показал несоответствие старых нормативных требований. Градостроительные теории, рассчитанные на освоение Севера различными методами с помощью опорных городов, экспедиционным и вахтовым способами с развитой системой межселенных связей, себя не оправдали. Ниже приведён сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта строительства в условиях Крайнего Севера (табл. 2.2).

Таблица 2.2. – Сравнительный анализ отечественного и зарубежного градостроительства

	Отечественный опыт	Зарубежный опыт
Адаптивность	– низкая, применение типовых проектов с других климатических зон – использование приподнятых оснований	– стремление к безотходному жизненному циклу – адаптация застройки к рельефу
Экологичность	– не является основным направлением	– применение местных материалов, переработка отходов
Архитектура	– многоэтажная застройка	– малоэтажное частное домостроение
дорожно-транспортная сеть	– формирование градостроительных ансамблей и чёткой дорожно-транспортной сети – формирование ветрозащитного фронта за счёт застройки	– природная, произвольная
Коммуникации	– общегородские системы энергоснабжения	– альтернативные источники энергии и частные системы энергоснабжения
Жилой фонд	– многоквартирные дома по типовым проектам	– преимущественно частное домостроение с внедрением многоквартирных домов
Озеленение	– не является элементом городской среды	– естественное озеленение

В результате анализа отечественного и зарубежного опыта градостроительства на территориях Крайнего Севера можно выявить следующие принципы:

1. Принцип соответствия: отражает географические и природно-климатические особенности территорий Крайнего Севера. Все работы по проектированию и строительству в районах Крайнего Севера должны вестись с учетом географических особенностей северных территорий, отличающихся прежде всего необычайной жесткостью погодных условий, а также климатическими и геологическими характеристиками.

2. Принцип ландшафтно-экологической устойчивости: выражает взаимодействие застройки с окружающей городской средой в условиях жестких природных условий и разнообразия процессов урбанизации. Характеризуется применением системы ветрозащитных домов, высокой плотностью застройки поселений, строительством домов-комплексов, обтекаемым внешним контуром застройки, исключением больших свободных пространств. Исключение отдельно стоящих точечных зданий, вызывающих усиление ветровых потоков.

3. Принцип территориальной интеграции: указывает на характер объединения коммуникаций и обслуживающих функций, отражает степень их пространственной централизации и кооперирования в пределах административных границ территории или поселения. Включает в себя ориентирование основных пешеходных связей перпендикулярно господствующим ветрам с частыми перебивками в направлении, учитывающие возможность изменения направлений ветра, компактность в сочетании с гибкостью, способность к трансформации, максимальное приближение к потребителю всех форм обслуживания, включая транспортное.

4. Принцип ландшафтного буфера: максимальное использование массивов зеленых насаждений и ландшафтных парков в застройке городов и поселков для защиты от северных ветров, создания дворовых территорий, естественных парков.

2.3. Конструктивные принципы, влияющие на разработку модульных жилых систем

Модульные дома создаются преимущественно в заводских условиях, что позволяет возвести их за несколько недель, а не месяцев, и избежать задержек, связанных с погодными условиями [1]. В процессе строительства соблюдаются строгие строительные нормы и стандарты, которые часто превышают требования к традиционным домам, что сказывается на качестве, стоимости и последующем обслуживании объектов [32].

Процесс сборки модульного дома напоминает конструктор из блоков Лего (Lego), где готовые секции, изготовленные в контролируемых условиях, транспортируются на строительную площадку и монтируются с помощью кранов. Преимущества модульного строительства включают экономию на материалах и ускорение монтажа. Поскольку производство и инспекции проводятся на заводе, дома доставляются уже проверенными и готовыми к эксплуатации [66].

Средняя стоимость строительства модульного дома варьируется от 900 до 1200 долларов за квадратный метр, в то время как традиционные дома, возведённые на месте, стоят примерно от 1500 долларов за квадратный метр. Сложный дизайн, индивидуальные планировки и дополнительные инженерные услуги могут повышать итоговую стоимость.

Среди недостатков модульного строительства отмечены сложности в разработке индивидуальных решений из-за стандартизации модулей и компактность планировочных решений. Несмотря на эти недостатки, модульные дома являются эффективным способом строительства жилья с минимальными временными и финансовыми затратами. Процесс как правило проходит быстрее и легче, т.к. дом собирается профессионалами в заводских условиях с многоступенчатым контролем качества изготовления конструктивных элементов и их монтажа.

Развитие жилой среды значительно зависит от природно-климатических условий территории расположения объекта. Крайний Север – среда обитания, где человек в процессе жизнедеятельности должен постоянно бороться с суровостью окружающей среды.

Освоение Арктики, продолжающееся не одно столетие, включает в себя длительную стадию эволюции конструктивных приемов, позволяющих существенно повысить жизнеспособность жилых объектов и превратить Крайний Север в центр мировых исследований и размещения стратегических объектов, в место комфортной жизни и продуктивной деятельности, направленной на создание предметов материальной и духовной культуры, сохранения и совершенствования природы.

1. Принцип надежности. Последние исследования, проводимые в области строительства в условиях вечной мерзлоты показывают, что наиболее эффективным способом является формирование приподнятого фундамента [85]. Конструктивные особенности данного вида фундамента заключаются в совмещении функций охлаждения грунта и несущей опоры, и снижение криогенных процессов при механическом и тепловом взаимодействии. Использование свайных фундаментов или стеллажных конструкций позволяет обеспечить необходимое расстояние между зданием и грунтом [25].

Применение этой технологии помогает:

- минимизировать риск протаивания грунта;
- создать основание необходимой прочности с минимальными деформационными свойствами;
- перераспределить нагрузку конструкции снизив давление, передаваемое фундаментом;
- улучшить фильтрационные свойства материала снизив уровень влажности, минимизировать риск пучения грунта [113].

Большую опасность для застройки населенных пунктов на Крайнем Севере представляют сильные метели, их воздействие не только повышает уровень

теплопотери, но и пагубно влияет на облицовку зданий. Сильные порывы ветра с частицами льда при столкновении способны нарушить целостность и форму конструкции. Создание аэродинамической формы здания позволяет решить данную проблему.

При проектировании зданий в арктических условиях необходимо учитывать, что снежные заносы могут создавать дополнительную нагрузку на конструкции, что может привести к закрытию доступа к постройкам, а также к деформации и нарушению кровли. Для решения данной потенциальной проблемы стоит обратить внимание на следующие факторы:

- система отвода снега с помощью желобов, стоков и других элементов должна направлять снежные потоки в безопасное для объекта место;
- форма крыши должна быть спроектирована с учётом оптимального уклона, способствующего скольжению снега;
- наличие преградительных (заградительных) конструкций.

Для конструкций модульных систем, важна не только разбивка итогового объекта на составные части, о чём подробно описывается в разделе влияния логистики на конструкцию модуля, но и сам каркас. Именно от выбранного каркаса зависит лёгкость модулей и их долговечность.

Наиболее оптимальными считаются деревянные конструкции или лёгкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК). К преимуществам первых можно отнести лёгкость и наименьшую теплопроводность, экологичность и прочность. В то время как каркасы из ЛСТК конструкций являются образцами прочности, долговечности и сравнительно небольшого веса каркаса [58].

Оба варианта применимы для модульного домостроения, выбор стоит делать, отталкиваясь от труднодоступности локации и масштаба сооружения. Для удалённых локаций с небольшими модульными секциями предпочтительнее использовать дерево, для крупных комплексов вблизи городских поселений наиболее оптимальным будет применение ЛСТК конструкций. Несмотря на высокую теплопроводность, при правильной конструктивной системе, этот

недостаток можно нивелировать, более того стальной каркас является более долговечным в сравнении с деревянными аналогами [59].

2. Принцип сохранения тепла. В основе принципе лежит подход снижения теплопроводности теплоизоляционных материалов. Разработка материалов для использования в условиях Крайнего Севера, в настоящее время превратилась в отдельное направление современного материаловедения [138]. Стены, крыша и пол должны быть хорошо утеплены для минимизации потери тепла и обеспечения комфортного проживания при низких температурах. Оптимальным решением является применение многослойных теплоизоляционных материалов (сэндвич панелей), где в качестве прослойки используются современные материалы с высокими теплоизоляционными свойствами, такие как пенополиуретан или минеральная вата [57].

На сегодняшний день активно используются титановые и алюминиевые сплавы, керамика, композиты. Рынок производства материалов для эксплуатации в условиях критического климата, темпы его развития и перспективные направления в области исследования новейшего сырья изучали и анализировали Е. И. Хлусова и О. В. Сыч [138].

В условиях Крайнего Севера, проектирование энергоэффективного дома, начинается уже с планировки района и ландшафтного окружения, помимо трудностей с инфраструктурой и дефицитом необходимых общественных пространств, требуется учитывать климатические факторы [107]. Ввиду сильных ветров и снежных заносов, положение здания в структуре района имеет особое значение, так, например «снижение скорости ветра на 1 метр в секунду при минусовых температурах равнозначно повышению температуры воздуха на 2 градуса по Цельсию» [48, с. 37]. Но главную роль в энергоэффективности здания, несомненно, играют его архитектурные решения.

Таким образом, энергоэффективность зданий в условиях Крайнего Севера обеспечивает внедрение комплексных решений, включающих улучшенную теплоизоляцию, защиту от ветра, эффективные отопительные системы и адаптацию

конструкций к вечной мерзлоте. Эти меры позволяют снизить эксплуатационные затраты и продлить срок службы зданий [37].

Выразительность конструкций и форм, основанных на современных технологиях, и в то же время ориентированные на решение проблем экологии, становится одной из основных задач архитектуры. С этой целью проводится анализ конструкций и материалов с тем, чтобы подобрать наиболее подходящие решения для ограждающих конструкций, позволяющие повысить энергоэффективность здания сократив до минимума теплопотери.

Помимо отделочных материалов, которые несут не только эстетическую функцию, но и препятствуют воздухопроницаемости, главным материалом, отвечающим за сокращение теплопотерь является теплоизоляция. Подробно влияние материалов на конструктивные и планировочные решения были описаны в статье Огородникова С.Н. «Способы повышения энергоэффективности модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера» [81]. Ниже проведён анализ характеристик и преимуществ современных материалов. В первую очередь рассматриваются, получившие широкое распространение и уже хорошо зарекомендовавшие себя материалы, такие как минеральная вата, экструдированный пенополистирол и пенополиуретан.

Минеральная вата (базальтовая вата) – этот материал обладает высокой теплопроводностью ($0.032\text{--}0.040 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) и высокой огнестойкостью. Она хорошо защищает здание от перегрева летом и промерзания зимой, а также обладает отличными звукоизоляционными свойствами. За счёт своей структуры минеральная вата паропроницаема и имеет высокую огнестойкость [144]. Главное преимущество материала – доступность и низкая цена. Однако минеральная вата может впитывать влагу, поэтому требует дополнительной пароизоляции. Более того, высокая плотность минеральной ваты обеспечивает ее большой вес, что может повлиять на логистику. Так же со временем минеральная вата может деформироваться или потерять форму. В северных регионах она часто применяется в вентилируемых фасадах и многослойных стенах.

Экструдированный пенополистирол (XPS) – это влагостойкий утеплитель с хорошими механическими характеристиками и низкой теплопроводностью (0.028–0.034 Вт/(м·°C)) [110]. Материал практически не впитывает влагу и поэтому устойчив к циклам заморозки и оттаивания, что имеет особое значение для строительства в условиях вечной мерзлоты. Из-за своего состава он устойчив к грибкам, плесени и прочим биологическим повреждениям. Преимуществом материала является не только его цена и доступность, но и лёгкость. Из недостатков можно выделить горючесть и деградацию под прямыми солнечными лучами. XPS широко применяется для утепления фундаментов, полов и кровель, так как он способен выдерживать значительные нагрузки.

Пенополиуретан (PUR) обладает теплопроводностью (0.020–0.025 Вт/(м·°C)), что делает его одним из лучших традиционных утеплителей [64]. Он легко наносится методом напыления, что позволяет герметично покрывать сложные конструкции, устойчив к грибкам, гниению и плесени. Недостатками являются горючесть и необходимость защиты от ультрафиолета. В условиях Крайнего Севера пенополиуретан может использоваться для утепления кровли, стен и инженерных коммуникаций.

Данные материалы имеют отличные характеристики, доступные цены и проверены временем. Но не смотря на низкий коэффициент теплопроводности, в условиях Крайнего Севера толщина подобного слоя изоляции будет начинаться от 300 мм и может достигать до 600 мм, что не критично для капитальных строений, но может негативно сказаться на модульном и мобильном жилье, и небольших по объёму объектов.

С целью сокращения толщины теплоизоляционного слоя, без потери в качестве, стоит обратить внимание на новые материалы и современные разработки. За последние годы совместная работа учёных и строительных фирм позволила запустить в производство ряд материалов с низкой теплопроводностью и уникальными характеристиками такие как аэрогель и вакуумная изоляционная панель [71-20].

Вакуумная изоляционная панель (VIP) – панели имеет один из самых низких коэффициентов теплопроводности ($\sim 0.004\text{--}0.008 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) благодаря вакууму внутри конструкции, который предотвращает теплопередачу [7]. Панели крайне тонкие (10–50 мм), что позволяет экономить пространство. Однако панели чувствительны к повреждениям, и даже небольшой прокол приводит к потере изоляционных свойств. В строительстве Крайнего Севера VIP могут использоваться в сочетании с другими материалами для создания сверхэффективных ограждающих конструкций. Но высокая цена и риск повреждения материала при транспортировке и эксплуатации, ставят под большое сомнение его использование в отдалённых локациях со сложными логистическими цепочками.

Аэрогель – это один из самых эффективных теплоизоляционных материалов в мире, с коэффициентом теплопроводности от 0.013 до 0.018 $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ имея среднее значение в 0.015 $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ [71, с. 91]. Он представляет собой пористую структуру, содержащую до 99% воздуха, что делает его исключительным теплоизолятором. Материал легкий, что крайне важно при строительстве в отдалённых районах, негорючий и устойчивый к высоким температурам, подробное описание уникальных характеристик материала приводится в статье «Анализ использования современной теплоизоляции на основе аэрогеля при проектировании энергоэффективных зданий» [46].

Однако, высокая стоимость и сложность производства ограничивают его широкое применение в строительстве. По совокупности характеристик аэрогель является наилучшим материалом для теплоизоляции модульных конструкций, он имеет низкий вес, неприхотлив и позволит значительно снизить толщину теплоизоляционного слоя.

Данный материал находится только в начале своего развития и используется преимущественно в производстве высоких технологий и космических аппаратах [44]. Возможно, в ближайшие 10 лет материал станет более доступен для жилого и

общественного домостроения, и сможет составить серьезную конкуренцию традиционным утеплителям даже не смотря на ценовые характеристики.

В поисках баланса между экономикой и современными технологиями, наиболее оптимальным вариантом для теплоизоляции является **Пенополиизоцианурат (PIR)**. PIR-утеплитель – это усовершенствованный вариант пенополиуретана, обладающий низкой теплопроводностью ($0.022–0.027$ Вт/(м·°C)). Он отличается высокой огнестойкостью, влагостойкостью и механической прочностью. Благодаря закрытой ячеистой структуре PIR минимально впитывает влагу, что делает его идеальным для использования в экстремальных климатических условиях. Этот материал часто применяется в модульном строительстве и утеплении стен, кровель и полов. Доступная цена материала 7000-12000р за метр кубический, самая низкая теплопроводность среди аналогов и легкость, делают его наиболее подходящим для строительства в условиях Крайнего Севера.

Таким образом, для обеспечения устойчивости модульных конструкций и минимизации теплопотерь, что является критическим фактором в экстремальном климате Крайнего Севера, ниже проведён расчёт необходимой толщины утеплителя. В качестве теплоизоляционного материала используется **пенополиизоцианурат (PIR)** благодаря его превосходным теплоизоляционным характеристикам, с коэффициентом теплопроводности (λ) в диапазоне от 0,022 до 0,027 Вт/(м·°C). Этот материал обеспечивает оптимальную теплоизоляцию при низком весе, что делает его особенно подходящим для модульного строительства в суровых условиях.

Ниже определяется необходимая толщина PIR-изоляции для достижения общего термического сопротивления $R_{eq} = 8.0$ м²·°C/Вт для внешней стены. Данное значение рассчитывается с учетом климатических условий Норильска – региона, расположенного на Крайнем Севере и обладающего богатой историей метеонаблюдений, с точными метеорологическими данными. Анализ включает рассмотрение состава материалов и значений их теплопроводности, чтобы

обеспечить соответствие требованиям по теплоэффективности в условиях экстремального холода. Многослойная стена состоит из следующих материалов (табл. 2.3).

Таблица 2.3. – Слои модульной стеновой системы

N п.п.	Материал	Thermal Conductivity λ (Вт/(м·°C))	Толщина материала, м
1	Цементно-песчаная штукатурка	0,76	0,015
2	Гипсокартон	0,36	0,0125
3	PIR (Полиизоцианурат)	0,025	X
4	Замкнутая воздушная полость	$R = 0,15$ (м ² ·°C)/Вт	0,02
5	Композитная алюминиевая панель	0,29	0,004

Дополнительно, коэффициенты конвективной теплоотдачи составляют:

Внутренняя поверхность: $\alpha_i = 8.7$ Вт/(м²·°C)

Внешняя поверхность: $\alpha_o = 23$ Вт/(м²·°C)

Для повышения энергоэффективности изоляция была рассчитана по формуле (1):

$$R_{total} = Ri + \sum R_j + Ro \quad (1)$$

Где:

- $Ri = \frac{1}{\alpha_i}$ (сопротивление внутренней поверхности)
- $Ro = \frac{1}{\alpha_o}$ (сопротивление внешней поверхности)
- $Rj = \frac{d_j}{\lambda_j}$ (термическое сопротивление каждого слоя)

Разбивая на компоненты:

$$Ri = \frac{1}{8.7} = 0.115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

$$R1 = \frac{0.015}{0.76} = 0.0197 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

$$R2 = \frac{0.0125}{0.36} = 0.0347 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

$$R4 = 0.15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

$$R5 = \frac{0.004}{0.29} = 0.0138 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

$$R0 = \frac{1}{23} = 0.0435 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

Требуемое сопротивление теплоизоляции составляет:

$$R3 = R_{req} - (R_i + R1 + R2 + R4 + R5 + R0)$$

$$R3 = 8.0 - (0.115 + 0.0197 + 0.0347 + 0.15 + 0.0138 + 0.0435)$$

$$R3 = 8.0 - 0.377 = 7.623 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

Следовательно, для расчета толщины утеплителя X:

$$X = R3 \times \lambda_3$$

$$X = 7.623 \times 0.025$$

$$X = 0.1906 \text{ м} = 190.6 \text{ мм}$$

Для достижения требуемого термического сопротивления $R_{\text{req}}=8.0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ в условиях Крайнего Севера толщина утеплителя PIR должна составлять не менее 190,6 мм. Этот расчет учитывает тепловое влияние всех слоев стены, включая воздушные зазоры и поверхностные сопротивления. Результаты подчеркивают эффективность PIR-изоляции благодаря ее низкой теплопроводности.

Дальнейшая оптимизация может включать исследование альтернативных изоляционных материалов или гибридных конструкций стен для обеспечения баланса между прочностью и теплоэффективностью. Точность расчетов была подтверждена с помощью построения изотерм в программе AnTherm, что демонстрирует энергетическую эффективность выбранного метода. В перспективе полиизоцианурат может быть заменен аэрогелем для дальнейшего повышения теплоизоляционных характеристик.

3. Принцип возрастающих требований к теплозащитным качествам светопроницаемых конструкций. Помимо стен, за эффективность теплоизоляции отвечают и другие ограждающие конструкции здания, например окна и крыша. Для модульных конструкций, характерно применение сплошной ограждающей поверхности, при которой крыша и стены имеют единую слитную структуру. Однако оконные проемы и прочие светоотражающие конструкции требуют особого подхода, так как именно они являются источником самых больших теплопотерь [20].

Сокращение теплопотерь через окна является важной задачей для повышения энергоэффективности зданий, поскольку их теплопроводность значительно выше, чем у стен. В настоящее время существует множество разработок по улучшению

тепловых характеристик стёкол, из которых наиболее перспективными являются стеклопакеты с заполнением инертными газами или вакуумные стеклопакеты.

Энергосберегающие стеклопакеты с двойными или тройными слоями стекла, с промежуточными воздушными или инертными газовыми слоями, например, аргон или криптон, значительно снижают теплопотери. Каждый дополнительный слой стекла с герметичным воздушным слоем снижает теплопроводность, улучшая теплоизоляцию. Так, например стекло с заполнением из аргона имеет коэффициент теплопередачи $U = 1,1–1,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, в зависимости от толщины стеклопакета и числа камер [4]. Трехслойные стеклопакеты особенно эффективны в холодном климате, где важна максимальная изоляция.

Вакуумные стекла (Vacuum Insulated Glass, VIG) являются более новаторским решением, вакуум – это отличный изолятор, так как он не проводит тепло. Это передовая технология остекления, предназначенная для обеспечения повышенной теплоизоляции за счет использования вакуумного слоя между двумя стеклянными панелями. С чрезвычайно низкими значениями коэффициента теплопередачи (U) от 0,4 до 0,8 $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$, она значительно более энергоэффективна, чем традиционное двойное или тройное остекление, что делает ее одним из самых эффективных решений [40]. Однако их стоимость все еще довольно высока, что ограничивает широкое применение в массовом строительстве.

Окна с теплоотражающими покрытиями, в которых специальные покрытия на стекле, например, низкоэмиссионные (Low-E), могут значительно улучшить теплоизоляцию. Эти покрытия отражают инфракрасное излучение, что позволяет задерживать тепло внутри помещения зимой и препятствует его попаданию внутрь летом. В результате такие окна помогают поддерживать комфортную температуру в помещении в течение всего года, снижая потребность в отоплении и охлаждении. Коэффициент теплопередачи такого окна $U = 1,4–1,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, что значительно выше, чем у вакуумных стеклопакетов [127]. Но основным плюсом данных окон является возможность их комбинации с другими вариантами, например со стеклопакетами с аргоновым заполнением.

С точки зрения энергоэффективности наиболее подходящим вариантом для Крайнего севера является вакуумный стеклопакет, его единственным недостатком является стоимость. В качестве альтернативы можно использовать стеклопакеты с заполнением из инертных газов в комбинации с напылением из низкоэмиссионных покрытий.

Оконный проем – это не только стеклопакет, не меньшего внимания требуют оконные рамы, стыки и узлы крепления. Одним из способов улучшить теплоизоляцию окон является использование рам, сделанных из термопластичных материалов, таких как полиуретан или композиты. Такие рамы обладают низкой теплопроводностью, что помогает значительно уменьшить теплопотери через рамные конструкции. Также они обладают высокой устойчивостью к воздействию внешней среды и могут служить долгие годы без значительного ухудшения своих теплоизоляционных свойств.

Помимо самого стекла, оконные рамы и откосы, также могут быть источником теплопотерь. Использование теплоизоляционных материалов для герметизации рам, а также дополнительное утепление откосов помогает снизить общие теплопотери. Например, можно использовать специальные уплотнители, монтажные материалы с хорошими теплоизоляционными свойствами или наружные декоративные элементы с утеплением.

В помещениях с окнами, которые требуют регулярного проветривания, можно использовать системы с вентиляционными клапанами. Эти клапаны обеспечивают необходимую вентиляцию без необходимости открывать окна, что позволяет минимизировать потерю тепла. В сочетании с энергоэффективными стеклопакетами и термопластичными рамами такая система может существенно сократить теплопотери, обеспечивая комфортный микроклимат в помещении.

Из не самых очевидных способов, можно воспользоваться интерьерными решениями, окна с плотными шторами или жалюзи помогают дополнительно удерживать тепло в помещении. В зимний период шторы можно закрывать ночью, что значительно снижает теплопотери через стекло. Также существуют

специализированные термошторы, которые имеют слои теплоизоляционных материалов и могут еще больше повысить эффективность изоляции.

В совокупности этих факторов формируется здание или жилой модуль с повышенными показателями энергоэффективности. Современные теплоизоляционные материалы позволяют не только сократить теплопотери, но и добиться оптимальных толщин слоев ограждающих конструкций, повышая логистический потенциал объектов. Вакуумные и аргоновые стеклопакеты, позволяют увеличить площадь оконных проемов, наполняя здание дневным светом, без излишних теплопотерь.

Проведенный анализ современных теплоизоляционных материалов и технологий, применяемых в строительстве в условиях Крайнего Севера, подтверждает важность выбора высокоэффективных решений, способных минимизировать теплопотери и обеспечить энергоэффективность зданий. Исследование показывает, что традиционные утеплители, такие как экструдированный пенополистирол (XPS), пенополиуретан (PUR) и пенополиизоцианурат (PIR), остаются востребованными благодаря их доступности и проверенной эффективности. Однако инновационные материалы, такие как вакуумные изоляционные панели (VIP) и аэрогель, обладают значительно более низкой теплопроводностью, позволяя существенно сократить толщину теплоизоляционного слоя при сохранении его свойств.

По результатам проведенного анализа современных теплоизоляционных материалов и способов повышения энергоэффективности здания, можно сделать следующие выводы:

1. Аэрогель и вакуумные панели являются одним из самых инновационных и эффективных материалов по теплопроводности, но в то же время один из самых дорогих и сложных в производстве.
2. Наиболее оптимальным по соотношению доступности к эффективности является Пенополиизоцианурат. Согласно проведенным расчётам, для города

Норильска и схожим климатическим регионам, необходим слой изоляции из пенополиизоцианурата равен 190 мм.

3. Для повышения энергоэффективности здания стоит применять окна с аргоновым наполнителем в комбинации с мелкодисперсными напылениями.

4. Вакуумные стеклопакеты имеют наилучшие показатели теплопроводности, но высокая стоимость и сложность эксплуатации делают их непригодными для массового строительства в настоящий период времени.

Практическое применение конструктивных принципов заключается в повышении энергоэффективности жилых и общественных зданий, сокращении затрат на отопление и улучшении комфорта проживания в арктических регионах. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и строительстве зданий в условиях экстремального климата, а также при разработке новых стандартов и нормативов в области теплоизоляции.

Современные технологии быстро развиваются, становясь доступнее, что приводит к улучшению характеристик строительных материалов и повышает устойчивость строительных объектов. Возможно, в ближайшие годы аэрогель получит большие масштабы распространения и позволит сократить до минимума теплоизоляционные слои даже в объектах массового строительства или появится более инновационный и прорывной материал.

4. Принцип устойчивой и экологичной архитектуры. На повышение энергоэффективности значительное влияние оказывает использование возобновляемых источников энергии. Поэтому при проектировании модульных систем необходимо учитывать не только требования эффективности жизнеобеспечения сооружений, но и требования экологической устойчивости. Для поддержания данного принципа следует внедрять солнечную и ветровую энергию, как на этапе эксплуатации здания, так и на этапе строительства. Одной из первостепенных задач является максимальное снижение потребляемой энергии, достигающееся при помощи энергоэффективных окон, дверей, водоснабжения и т.п.

Для полноценного функционирования инженерных коммуникаций необходимо позаботиться о предохранении труб от замерзания во время работы, обеспечения стабильности трубопровода, простоте строительства и демонтажа данной системы. Использование теплоизолированных труб и систем обогрева является необходимым для территорий с арктическим климатом.

Обеспечение модульного жилья системой воздухообмена является важным условием, отвечающим за создание комфортного микроклимата во внутреннем пространстве. При помощи механических приточных систем с рекуперацией тепла обеспечивается организация эффективной вентиляции. Данная система не только способствует созданию комфортных условий, но одновременно экономит энергию, снижая при этом нагрузку на систему отопления модульных структур.

К зданиям, возводимым на территориях вечной мерзлоты, предъявляется повышенный уровень требований, связанный как с экстремальными климатическими условиями, так и с уровнем значимости этих объектов для экономики, науки и обеспечения территориальной неприкосновенности страны в целом. При проектировании в регионах Крайнего Севера необходимо добиваться высочайшего уровня эксплуатационных способностей сооружений, способствующих выполнению функциональных процессов, в зависимости от их назначения.

5. Принцип энергосбережения. Является одним из наиболее сложных в реализации для северных территорий. Несмотря на развитые технологии и богатый опыт, накопленный в данной сфере за последние годы, нельзя забывать, что Крайний Север – это территория с экстремальными условиями, где не только строительство, но и эксплуатация влекут за собой множество проблем.

Во-первых, низкие температуры являются основным фактором, увеличивающим энергозатраты на обогрев. В зимний период температура может опускаться до -50°C и ниже, что создает существенную разницу температур между внутренним и внешним пространством здания. По этой причине требуются высокоизоляционные материалы. Кроме того, при таких температурах обычные

строительные материалы могут изменять свои свойства – становиться хрупкими, трескаться, что также влияет на долговечность конструкции и ее изолирующие свойства.

Во-вторых, сильные ветра и холодный воздух увеличивают теплопотери через ограждающие конструкции. Ветровая нагрузка может значительно снижать эффективность теплоизоляции за счет инфильтрации холодного воздуха через мельчайшие щели и неплотности в конструкциях. Эти факторы обуславливают необходимость применения герметичных систем, многослойных стен с эффективными утеплителями, а также специальных ветрозащитных экранов, предотвращающих потери тепла.

Также важную роль играет сезонная изменчивость климата и воздействие полярной ночи. В условиях полярной зимы модульные системы на протяжении нескольких месяцев могут не получать солнечного тепла, что будет усиливать нагрузку на системы отопления. Эффективные решения позволяют использовать материалы с высокой теплоаккумулирующей способностью, а также интеграцию альтернативных источников энергии, например, ветрогенераторов или систем рекуперации тепла.

2.4. Влияние логистических факторов на архитектуру модульных жилых систем

Помимо природных факторов большие проблемы для строителей при освоении территорий Крайнего Севера доставляет местоположение региона, слабо развитая инфраструктура и изолированность края от развитых промышленных центров. Профессор, доктор экономических наук Ю. А. Щербанин считает, что использование грузовых контейнеров наиболее доступный с точки зрения экономики и логистики способ доставки грузов на север [142]. Использование

грузовых контейнеров является распространенной мировой практикой, которая обеспечивает эффективность, стандарт и надежность грузоперевозок по всему миру.

Эффективный и стандартизированный метод транспортировки грузов в контейнерах завоевал широкую популярность в мировой логистике по нескольким весомым причинам:

1) грузовые контейнеры имеют общие стандартные размеры и структуру, которая позволяет им легко перемещаться между разными видами транспорта, такими как суда, поезда, грузовые автомобили и вертолеты, значительно упрощая и ускоряя процесс перевозок;

2) прочный материал изготовления – металл, обеспечивает сохранность груза в течение всего транспортного пути;

3) контейнеры обычно оснащены системами безопасности и трекинга, что позволяет отслеживать и контролировать местоположение груза в режиме реального времени, что повышает безопасность и контролируемость транспортировки;

4) в современной практике, грузовые контейнеры используются как бюджетное модульное жильё или под технические нужды [30].

Одним из недостатков контейнерных перевозок являются габаритные ограничения, оказывающие прямое влияние на размеры перевозимых грузов. Грузовые контейнеры в соответствии со стандартами, установленными Международной организацией по стандартизации (ISO), имеют длину 20 и 40 футов. Эта стандартизация обеспечивает совместимость между различными видами транспорта и упрощает глобальные перевозки. Данный фактор должен быть обязательно учтён при разработке модулей и их элементов, упор на габариты был сделан в работе «Мобильная модульная система для труднодоступных регионов» [17].

Разработка модульных систем для регионов с логистическими проблемами (в особенности для отдаленных районов с ограниченной инфраструктурой) при строгом соблюдении определенных норм по размерам, превращается в необходимую и первоочередную задачу. Стандартизированные размеры модулей

оптимизируют транспортировку, позволяя использовать обычные методы доставки, такие как грузовики, поезда и грузовые суда. Например, в условиях Крайнего Севера, где сети дорог могут быть редкими, а маршруты доставки зависят от сезонной доступности, проектирование в установленных пределах размеров – например, в стандартном транспортном контейнере, имеющем размеры 2,5 x 2,5 м по ширине и высоте, с различной длиной – может значительно сократить как время, так и затраты [29].

Соблюдение стандартных размеров не только облегчает более быструю погрузку, разгрузку и транзит, но также сводит к минимуму потребность в специализированных транспортных средствах или оборудовании, которые могут быть недоступны в отдаленных местах. Этот подход помогает поддерживать управляемость логистики, позволяя эффективно транспортировать модули в изолированные районы на стандартных грузовиках, железнодорожных вагонах или судах. В некоторых случаях соблюдение ограничений по размеру может также позволить воздушные перевозки с использованием вертолетов или небольших грузовых самолетов для доставки модулей в места, где наземный транспорт ограничен.

Кроме того, модульные конструкции, которые соответствуют предельным размерам, легче обрабатывать на месте, где трудозатраты и тяжелое оборудование могут быть ограничены. Сегодня, помимо высококачественных стандартов, сборное строительство может также гарантировать уникальный и технологический дизайн, что делает их более популярными во всем мире. Предопределенный, управляемый размер позволяет строительным бригадам перемещать, собирать и устанавливать блоки более эффективно, даже в сложных климатических условиях. Эта согласованность размеров также обеспечивает гибкость конфигурации, поскольку модули стандартного размера могут быть объединены или уложены в различные макеты, адаптируясь к условиям конкретного участка при сохранении простоты транспортной логистики.

2.5. Современные способы обеспечения автономности модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Основной инфраструктурный вызов направлен на обеспечение автономности модульных жилых систем, так как такие системы предоставляет в первую очередь гибкость, и могут рассматриваться как в составе крупного комплекса, так и в качестве единичного строения, были проработаны несколько различных сценариев обеспечения комплекса (Рис. 2.3).

Для загородных посёлков с применением модульных блоков в качестве частного домостроения, наиболее оптимальным будет вариант подключения к городскому водоснабжению и электрообеспечению, с устройством септика для бытовых отходов [146].

В случае вахтовых поселков, расположенных в удаленных местах, должна быть обеспечена полная автономность с собственной системой генерации энергии за счёт ветровых турбин, солнечных панелей или традиционных генераторов. Водоснабжение может обеспечиваться за счёт использования снегоплавильных машин или за счёт фильтрации воды из ближайших водоёмов. Для переработки отходов жизнедеятельности рекомендуется использовать системы фильтрации и биоочистки воды, септики и компостирование [147]. Все процессы могут регулироваться за счёт технических и административных блоков.

Схема обеспечения крупных баз отдыха и станций схожа с обеспечением вахтовых посёлков, но имеет ряд различий, связанный с уменьшением масштабов поселения. В этом случае, основные центры фильтрации воды, аккумуляирования и генерации энергии располагаются в центральном ядре или административном блоке, при этом каждый модуль, может иметь свою независимую систему генерации энергии и водоочистки. Что касается единичных модульных блоков, то здесь ядро энергообеспечения должно находиться внутри модульных единиц, полностью покрывая нужды модульной системы, для отходов может использоваться компостирование, септики и биотуалеты.

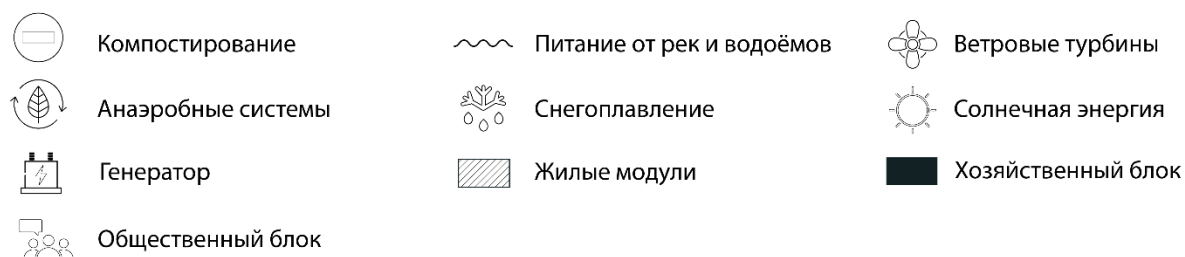
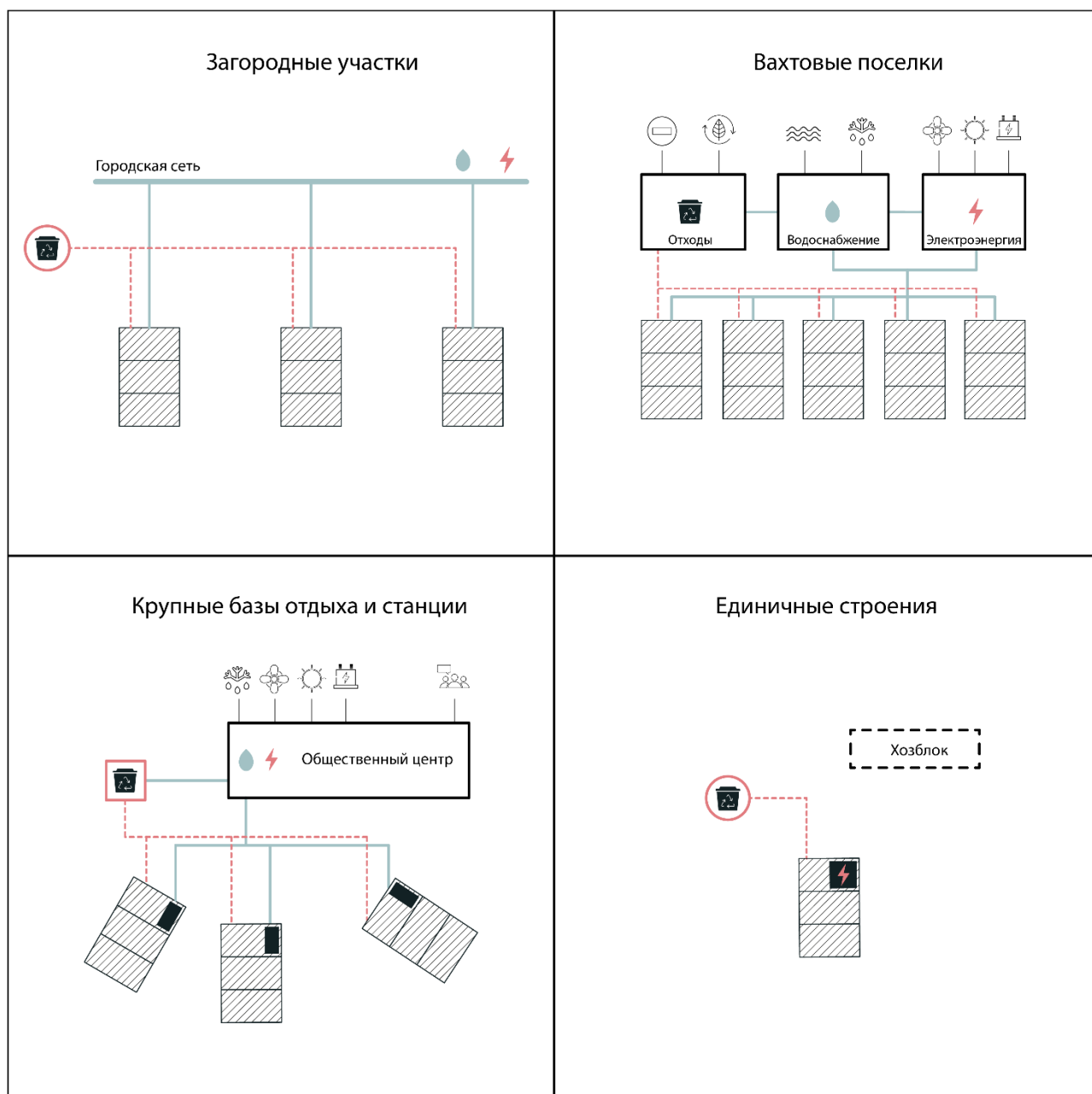


Рисунок 2.3. Способы обеспечения автономности модульных жилых систем

Несмотря на обилие трудностей и ограничений, Крайний Север России обладает значительным потенциалом для использования альтернативных источников энергии, таких как ветряная и солнечная энергия. Суровые климатические условия, характерные для данного региона, отмечает доктор экономических наук И. М. Потравный, создают как вызовы, так и возможности для внедрения возобновляемых источников энергии [95].

Но автономность и устойчивость здания должна начинаться уже с производственной ленты, предварительная сборка может обеспечить огромную экономию углерода как за счет выбросов, так и за счет операционного углерода, который образует энергию, используемую после постройки. Эти факторы жизненно важны для инвесторов, ищущих активы, рассчитанные на будущее, несмотря на ужесточение правил энергоэффективности.

Современные методы точного проектирования и внедрение передовых технологий позволяют изготавливать модульные системы, как минимум на треть более энергоэффективные, чем традиционные здания. Производство модулей в контролируемых заводских условиях обеспечивает возможность возведения домов с нулевым углеродным следом и рейтингом энергоэффективности А. Для достижения целей по нулевому потреблению энергии подобный подход должен стать стандартом, а не исключением.

Цифровые инструменты, включая информационное моделирование зданий (BIM), предоставляют возможность производить точную оценку материалов, необходимых для каждого жилого модуля, с тем чтобы производитель мог сократить количество отходов, и 97% произведенного можно будет переработать. Глобальная задача достижения углеродной нейтральности к 2050 году делает инновационные методы строительства жилья стратегическим приоритетом для инвесторов.

Одним из самых распространённых способов обеспечения электроэнергией в отдалённых локациях являются дизельгенераторы, но учитывая современные реалии и запрос на экологичность, наиболее оптимальным может стать вариант

водородных систем обеспечения. Данную систему возможно использовать, как в виде дополнения к альтернативным источникам энергии, так и в качестве основного или резервного электроснабжения [50].

Территории большинства регионов Арктической зоны России обладают высоким потенциалом солнечной и ветровой энергии, поскольку они имеют длительный световой период и постоянные сильные ветра [10]. Ветер в этих регионах дует с высокой скоростью практически круглый год, что делает **ветровую энергию** одним из наиболее перспективных источников. Установка ветряных электростанций может обеспечить стабильную и возобновляемую подачу электроэнергии, особенно в отдалённых поселениях, которые не связаны с централизованными энергосистемами.

Генерация энергии при помощи ветра является одним из самых перспективных источников возобновляемой энергии для северных регионов, характеризующихся сильными ветрами в течение всех сезонов [36]. Кроме того, последние достижения позволили использовать крупномасштабные турбины со значительно более высокой мощностью, что делает ветровую энергию все более жизнеспособным решением для удовлетворения энергетических потребностей в этих регионах [183].

Размещенные таким образом, чтобы максимально использовать поток ветра, турбины дополняют солнечную энергию, генерируя дополнительную мощность, особенно в периоды низкой солнечной активности или в зимние месяцы, когда эффективность солнечных панелей уменьшается. Эта гибридная энергетическая система обеспечивает надежное и возобновляемое электроснабжение круглый год [102].

Полярный день, характерный для летнего периода в Арктике, предоставляет уникальные возможности для использования солнечной энергии. В течение полярного дня солнце не заходит за горизонт на протяжении многих недель, что позволяет использовать солнечные панели для генерации энергии в условиях обилия света. Даже несмотря на низкие температуры, солнечные панели могут

эффективно функционировать при наличии достаточного уровня солнечного освещения, что компенсирует ограниченное использование солнечных технологий в зимний период [89]. Бельгийская станция Принцесса Елизавета (Princesse Élisabeth) является полностью автономной за счёт использования альтернативных источников энергии.

Таким образом, сочетание ветровой и солнечной энергии может стать основой для развития энергетической независимости северных регионов, снижая их зависимость от традиционных источников энергии, таких как уголь и газ, и уменьшая нагрузку на окружающую среду. Интеграция этих технологий в энергетическую инфраструктуру Крайнего Севера позволит также снизить затраты на доставку топлива и эксплуатацию оборудования.

По существующим оценкам стоимость электроэнергии, которая может быть получена с использованием солнечно-ветровых установок в Арктической зоне, примерно на 40 % дешевле по отношению к электроэнергии, получаемой с использованием ископаемого топлива в центральных регионах России [121]. Использование альтернативных источников энергии в этих регионах, наряду с возможностями по хранению энергии и её распределению, может стать частью стратегии устойчивого развития и освоения Арктики.

Системы подготовки и сбора воды являются основой автономности модульных жилых систем. Механизмы сбора дождевой воды и снега, где осадки собираются через встроенные в структуру модуля каналы и хранятся в изолированных резервуарах, чтобы предотвратить замерзание. Так же может быть внедрена система таяния снега, работающая на солнечной или ветровой энергии в зимние месяцы. Вода фильтруется и очищается через многоступенчатую систему очистки, обеспечивая безопасную питьевую воду для постояльцев.

Переработка серой воды дополнительно усиливает устойчивость, при этом вода из раковин и душевых очищается и используется повторно для непитьевых нужд, таких как смыв туалетов или полив зеленых насаждений, встроенных в ландшафтный дизайн комплекса. Черная вода перерабатывается с помощью

компактных биореакторных систем, что снижает воздействие на окружающую среду и делает систему управления отходами более эффективной.

Совокупность перечисленных способов способна обеспечить полноценную автономность модульных жилых систем (табл. 2.4).

Таблица 2.4. – Способы обеспечения автономности модульных жилых систем

Направление	Способ	Эффективность	Применимость в условиях Крайнего Севера
Отопление	электрические обогреватели	быстрый обогрев, высокая энергоёмкость, простота	надёжны, требуют стабильного энергоснабжения
	тепловой насос	экономичный нагрев, низкие затраты	снижает производительность при низких температурах
	системы рекуперации тепла	возврат тепла вентиляции, снижение энергопотерь	дополнение, а не основной источник, стабильна даже при очень низких температурах
Электроэнергия	ветряная энергия	эффективна при сильных ветрах, требует надёжного крепления	особенно эффективна из-за стабильных сильных ветров, но требует защиты от обледенения
	солнечная энергия	высокая эффективность, но зависит от солнца	малоэффективна зимой из-за полярной ночи, но хорошо работает летом во время полярного дня, в совокупности с аккумулирующими системами, имеет высокую эффективность
	водородные системы	возможно использовать, как в виде дополнения к альтернативным источникам энергии, так и в качестве основного или резервного электроснабжения	наиболее оптимальный вариант в условиях экстремального климата, не зависит от погодных условий
	дизельный генератор	надёжен в мороз, но зависит от топлива и логистики	наиболее надёжный источник резервной энергии, устойчивый к

			морозам, но создаёт экологическую нагрузку
Водообеспечение	снегоплавильные машины	обеспечивают стабильное водоснабжение при отсутствии жидкой воды	высокая эффективность в условиях севера и обилия снега
	фильтрации воды из ближайших водоёмов	чистая вода при минимальных энергозатратах	зависит от расположения
Утилизация отходов	системы фильтрации и биоочистки воды	эффективно очищают стоки при низких ресурсах	требует высокой технологичности и обслуживания
	компостирование	снижает отходы и потребность в вывозе	возможно лишь в закрытых прогреваемых компостерах
	септики	обеспечивают устранение отходов при минимальной инфраструктуре	не требуют специальных условий

Инновационный подход к инфраструктуре гарантирует, что модульное жилье сможет обеспечить комфорт и устойчивость даже в самых удаленных или сложных локациях, прокладывая путь к новой эпохе экологически чистых путешествий.

2.6. Влияние культурных особенностей Крайнего Севера на современную архитектуру модульных жилых систем

В современной архитектуре включение аутентичных деталей и исторических ссылок стало необходимым, особенно в культурно и экологически чувствительных регионах, таких как Крайний Север. Но можно заметить, что эстетика исчезает на фоне, в то время как функция и экономика преобладают. Внешний вид здания играет значительную роль и не должен недооцениваться. Гражулевичюте-Вилениске (Grazuleviciute-Vileniske) подчеркивает тесную связь между эстетикой и устойчивостью, иллюстрируя глубокое влияние, которое могут оказать эти отношения [161].

Устойчивая архитектура выходит за рамки решения климатических и экологических проблем – она также охватывает культурные и социальные аспекты [149]. Этот целостный

подход сочетает в себе уважение к местному наследию с адаптацией к экстремальным условиям окружающей среды, обеспечивая гармонизацию новых разработок с их окружением при сохранении функциональности и культурной значимости. И. Брук подчеркивает важность так называемого духа места, как императива экологической этики [153].

Такие регионы, как Крайний Север, имеют различные культурные традиции, часто уходящие корнями в обычаи и образ жизни коренных народов, сформированные местом и климатом. Интегрируя исторические ссылки и подлинные элементы, архитекторы могут создавать объекты, которые резонируют с историей края, позволяя жителям и посетителям прочитывать тексты, зафиксированные в камне. Эта культурная связь способствует формированию чувства идентичности и гордости у местного населения, поскольку новая архитектура отражает не только современные потребности, но и вековые ценности [163].

Исторические проекты на Крайнем Севере обычно характеризуются практическими решениями для суровых климатических условий, которые в основном ограничиваются использованием изоляционных материалов, конкретных форм конструкций и устоявшихся строительных методов, направленных на нивелирование экстремальных температур и трансформацию построек. Подвижность, модульность и динамичность традиционной северной архитектурой продиктована суровыми условиями и сезонной миграцией, характерной для данных широт.

В архитектуру традиционных жилищ севера заложены механизмы сборно-разборного каркаса или встроенных полозьев, позволяющих перемещать жилище и отвечать запросам кочевого образа жизни. Но даже в современном мире, данные приёмы могут стать эффективным ответом на вызовы северного региона [87].

Адаптация этих аутентичных элементов помогает современным зданиям быть более устойчивыми и энергоэффективными, уменьшая зависимость от искусственного отопления или чрезмерного технического обслуживания. Например, традиционные наклонные крыши помогают предотвратить накопление снега, в то время как приподнятые фундаменты могут защитить от таяния вечной мерзлоты.

Аутентичная архитектура, основанная на региональной истории, может

способствовать формированию чувства общности среди жителей и предоставить посетителям значимый, захватывающий опыт. Включение местных элементов дизайна, таких как мотивы и цветовые схемы, позволяет зданиям служить как функциональным пространством, так и живыми музеями культурного наследия.

Среди отечественных примеров, отражающих культурную идентичность и адаптацию архитектуры к северным условиям, можно выделить комплекс «Земля Олонхо» в Якутии, Дом Арчы и спортивный комплекс «Триумф» в Якутске, Заполярный театр драмы имени В. В. Маяковского в Норильске, а также Этнокультурный центр в Белоярском. В международной практике заслуживают внимания здание парламента Саами в Каррашйоке (Норвегия), Музей Севера на Аляске (США), Исследовательский институт в Кеймбридже-Бее (Canadian High Arctic Reseach Station) в Канаде, Арктический колледж в Нунавуте, центр Айсфьорд в Илуллиссате (Гренландия), здание мэрии Кируны (Швеция) и исследовательская станция в Иглулике (Канада). Эти объекты демонстрируют поиск выразительных архитектурных решений, в которых современная форма сочетается с традиционными мотивами и локальными материалами.

Этнокультурный центр в Белоярском представляет собой важный общественный комплекс, в архитектуре которого отражены мотивы традиционного жилища ханты и манси. Его форма и материалы подчёркивают связь с природой и культурой коренных народов Севера. *Дом Арчы* в Якутске выполнен в виде стилизованного дерева жизни — архы, священного символа якутской культуры. Здание объединяет современные технологии и национальные образы, служит пространством для культурных мероприятий и самобытного самовыражения.

Парламент Саами в Каррашйоке отличается формой, напоминающей традиционный чум — лавву. Он символизирует уважение к корням саамского народа и сочетает этническую идентичность с современной архитектурой из дерева и стекла. *Центр Айсфьорд в Илуллиссате* создан как современное музейное и исследовательское пространство, органично вписанное в ландшафт ледникового фьорда. Его волнообразная форма отражает движение льда и состоит из треугольных конструкций, напоминающих каркас чума, подчеркивая идею гармонии человека с

природой. *Исследовательская станция в Иглулике* проектировалась с учётом экстремальных климатических условий и традиционных принципов инуитского жилища. Её компактность, энергоэффективность и использование локальных технологий делают объект примером адаптивной архитектуры Севера.

А. И. Яковлев в своих трудах подчеркивает важность отсылок к национальным и культурным особенностям региона для поддержания преемственности поколений и поддержки малочисленных коренных народов [143]. О важности преемственности в архитектуре писал П. И. Стась, систематизируя приемы архитектурной выразительности и композиционных приёмов для отражения культурного кода места на примере этнических центров на севере. П. Шривастава поддерживает идею о том, что искусство служит эволюционным функциям человечества и эстетические качества архитектуры могут даже стимулировать дальнейшее развитие гармоничных отношений человека и природы, таким образом, архитектура выходит за пределы физической структуры, соединяя людей с землей и ее историями [180]. Таким образом модульные жилые системы должны учитывать не только архитектурные и инженерные факторы, но и социокультурные.

2.7. Архитектурно-планировочные принципы проектирования модульных жилых систем

Проектируя модульное жильё, опираясь на принципы компактности и логистики, особым вызовом становятся планировочные решения и пространственная организация объекта. Для определения наиболее оптимальных подходов к организации пространства, был проведён анализ планировочных решений модульного и компактного жилья.

Согласно исследованиям Ю. Кнаака модули представляют собой трехмерные независимые блоки или частично полные части, которые при штабелировании или соединении вместе образуют тело модульного здания [168]. «Трёхмерная единица,

которая собирается на заводе и доставляется на строительную площадку в качестве основного конструктивного элемента здания» по Лоусону [171, с. 1].

Уделяя большое внимание развитию потенциала создания функциональных площадей, в условиях ограниченных пространств, направление модульной архитектурны жилищ достигает высоких показателей комфортности за счёт эффективных решений организации пространства. Каждый квадратный метр ограниченных в габаритах пространств, представляет собой баланс между эстетикой и функциональностью.

В истории имеются примеры жилых помещений, построенных по принципу компактности, демонстрируя неиссякаемую изобретательность человека. Одной из ярких моделей, сохранивших и не потерявших актуальность по сегодняшний день является традиционный японский дом. Благодаря таким интерьерным решениям как татами (мат из плетеного тростника и рисовой соломы) и сёдзи (раздвижные двери) достигается оптимизация ограниченного пространства без ущерба для функциональной составляющей, а также возможность перенастройки комнаты согласно целям, меняющимся в течении дня [159].

В конце 20-х годов прошлого века, архитектор Бакминстер Фуллер спроектировал Дом Димаксион, чем ознаменовал важную веху в развитии автономного и компактного домостроения [172]. Данный проект отличали компактные интерьерные решения, инновационный подход к выбору и применению материалов, а также процессу сборки дома, что является основными принципами модульного строительства.

Послевоенная эпоха стала значимым периодом в продвижении компактных жилых пространств. Архитекторы модернисты того времени активно заговорили о модульных пространствах, отличающихся эффективной малогабаритной планировкой, встроенными функциональными интерьерными единицами, гибкостью коммунальных помещений. Выдающийся архитектор 20века – Ле Корбюзье стал не только архитектором жилых компактных пространств, но и провел исследование, направленное на выявление человеко-ориентированных

пропорций, опубликованное в книге «Модуль 2» [156].

Одно из самых глубоких и многогранных исследований на тему модульных зданий для северных регионов провела российский архитектор Сапрыкина Н. [108]. Помимо выделения актуальности модульных зданий, в данной работе были проанализированы и освещены темы принципов блочной архитектуры и растущая актуальность модульного строительства.

Развитие сегмента производства компактных пространств способствовала активному развитию инноваций в области интерьерных решений, продиктованных тенденцией к минимизации, площади жилого пространства. Многофункциональная мебель, трансформируемые пространства, складные обеденные и спальные места – стали продуктом мировой тенденции развития умного жилья.

Японские архитекторы – лидеры во внедрении концепции блочного строительства, вдохновленные традиционным опытом, они представляют миру новейшие разработки в проектировании ограниченных по площади интерьеров. [152].

Продуманная планировка пространства – необходимость для модульных зданий, гарантирующая соответствие функциональным потребностям пользователей данных жилых объектов, сохраняя при этом комфорт. Гибкость архитектурных форм и функциональных решений, интегрированная в дизайн, является гарантией адаптации объекта к меняющимся условиям среды и потребностям пользователей, делая его привлекательным для потребителя, устойчивым для производства и перспективным для экономки [165].

Компактная жизнь на сегодняшний день становится не просто выгодной, но и популярной. Это призывает дизайнеров следовать тенденциям и учитывать максимизацию функциональности жилых пространств в своих проектах. Используя исторический опыт, совмещенный с инновационными разработками, модульные здания стоит рассматривать как потенциал к развитию жилой среды, отражающей динамичное изменение жителей отдельных регионов. Это взаимодействие между практической адаптируемостью и проработанным дизайном служит надежным основанием для процветания модульной концепции в

современной архитектуре. Слияние технологий и народной архитектуры способствует устойчивости строительства с точки зрения культурных и социальных аспектов [164].

Организация пространства в модульном корпусе — это всегда вызов. Принести комфорт на ограниченную жилую территорию требует знаний и навыков не только в сфере проектирования и дизайна, но и инженерии. На сегодняшний день существуют примеры организации крошечных пространств с габаритами 266 x 266 x 266 см [173] а также пространств внутренним объёмом 18,6 м³ [169]. Примеры подобных ограничений распространены не только в сфере жилья, но и на территории космических разработок Космического центра НАСА в Хьюстоне [166].

Адаптивность, устойчивость и акцент на эффективность модульных форм завоевало внимание потребителей во всем мире в качестве альтернативы традиционным методам строительства. Разнообразие подходов к возведению и проектированию за счёт многочисленных примеров использования модульных конструкций по всему миру только подтверждает их жизнеспособность в различных условиях.

Одним из наиболее интересных примеров является КОДА (KODA) – это малогабаритный, перемещаемый дом от эстонской студии Кодасема (Kodasema), который соответствует принципам экологичности и энергоэффективности. Дом выполнен из бетонных панелей и снабжен солнечными батареями, что позволяет ему быть автономным сооружением. Транслируя многофункциональный дизайн, способный использоваться в помещениях как жилой, так и офисной направленности КОДА является не только устойчивым и быстровозводимым, но и адаптивным к разным задачам.

МУДЖИ ХАТ (MUJI HUT), микродом японской компании МУДЖИ, отличается своей натуральностью и эстетичностью. Для его производства использована кедровая древесина и сталь. Имея небольшую площадь и финансовую доступность, здание гармонично вписывается в природный ландшафт и является идеальным решением для возведения в живописной сельской местности.

Британская компания nХаус (nHouse) предлагает быстровозводимое, за счёт предварительной сборки, жилье. Предложение разработано для городских условий и отличается своей экологичностью, энергоэффективностью, а также пространственными решениями, оптимизирующими площадь и естественный свет.

Викельхаус (Wikkellhouse) – модульный экодом, произведенный в Амстердаме выполнен из переработанного многослойного картона. Выбор данного материала представляет собой новаторский подход, отличающийся своей легкостью, настраиваемостью и минимизацией воздействия на окружающую среду.

Лондонский контейнерный город, состоящий из перепрофилированных транспортных контейнеров, демонстрирует высокий уровень адаптивности к окружающей среде модульного типа строений. Не смотря на факт изолированности расположения от центральных частей города на территории контейнерного города существуют и функционируют не только жилые здания, но и офисные помещения, и даже кафе.

Калифорнийская компания Планта Префаб (Plant Prefab) разрабатывает современные сборные дома с улучшенной энергоэффективностью, удостоенные сертификатом ЛИИД (LEED-Leadership in Energy and Environmental Design). Данные предложения являются адаптируемыми к различным климатическим условиям и своим присутствием на рынке стимулируют экологически сознательную жизнь.

Планировочный принцип открытого пространства лежит в основе интерьерных решений отеля Сакрамонте Шелтерс (Sacromonte Shelters), расположенного в Уругвае. Свободная планировка и простота восприятия пространства создают ощущение целостного по функционалу жилища. Зонирование помещения воспринимается визуально посредством функционального наполнения, для санузла и кухни предусмотрены отдельные комнаты, что связано с целевым применением продиктованной данными пространствами.

Главной особенностью является большое витражное остекление и расположенная вдоль противоположной стены техническая зона. Такое расположение способствует повышению функциональности пространства и визуальному увеличению комнаты. Вдоль южной стены расположены: кухня, санузел, зона отдыха, места для хранения. В стыковочных отсеках, находящихся с торцов здания, противоположно друг другу размещены терраса и входная зона.

Следующий пример – гостиница Модус Гонсальвес Хаус (Modhus Gonçalves House), расположенная в горах Серра-да-Мантикейра в Бразилии, представляет собой высокоэффективное модульное строительство. Комплекс состоит из нескольких категорий модулей, характеризующихся различиями по функционалу помещений и предполагаемой целевой аудиторией. Жилые модули, вмещающие в себя всё необходимое для комфортной жизни, состоят из отсеков.

Самый большой модуль, в рамках данного архитектурного проекта, представлен 4 отсеками. Гостиная, совмещённая с кухней, занимает центральные 2 отсека, внутреннее пространство которых оформлено по принципу открытого пространства. Данную зону отличает четкое функциональное распределение участков между кухней и гостиной, не смотря на отсутствие перегородок. В кухонной зоне располагается остров для готовки и принятия пищи, а также вместительная ниша для хранения продуктов и необходимых элементов хозяйства, бытовая техника и раковина. Территория гостиной обустроена стандартным наполнением в виде медиа системы, кресел и дивана.

К двум центральным блокам с торцов, стыкуется два спальных модуля, каждый из которых разделён на 3 комнаты, большая по площади комната – спальня, в которой размещены две односпальные кровати и зоны для хранения, в остальных расположены санузел и душевая. Санузел соединяет жилой модуль и зону кухни, являясь проходным помещением и функционально вмещая в себя только туалет и раковину. Пользуясь особенностями жаркого климата, из душевой предусмотрен выход на улицу. Используя данные планировочные решения в обоих спальнях модулях, есть личный санузел и душевая.

В архитектуре отеля Модус Гонсальвес Хаус существуют модули с идентичной планировкой, но не имеющие проходного санузла и другим мебельным наполнением и расположением. Такие инструменты проектирования как витражное остекление и эффективное использование заданной площади с помощью минималистичного дизайна интерьера нивелирует ограниченное пространство жилых модулей, делая его больше и лаконичнее. Модульность данной архитектурной формы позволяет корректировать площадь жилого пространства исходя из пожеланий заказчика, связанных с дизайном, конфигурацией расположения модулей и зон. Недостатком представленной системы является наличие проходного санузла, что не всегда комфортно для пользователей пространства, остальные решения логичны и существенно повышают не только эстетическую, но и функциональную сторону проекта.

Представленные примеры отражают разнообразие подходов к модульному и устойчивому строительству. КОДА, МУДЖИ ХАТ и nХаус демонстрируют компактные и энергоэффективные решения, ориентированные на мобильность и экологичность. Виккельхаус и Контейнерный город акцентируют внимание на переработке материалов и адаптивности архитектуры к городской среде. Ливин хомс развивает идею модульного дома до уровня высокотехнологичного, сертифицированного по стандарту ЛИИД жилья. Сакроменте шелтерс и Модус Гонсальвес Хаус показывают, как модульность может сочетаться с эстетикой, открытыми планировками и комфортом проживания. Европейские и японские проекты ближе к минимализму и природной интеграции, тогда как американские тяготеют к функциональности и вариативности. Эти решения подтверждают потенциал модульной архитектуры как гибкого и экологичного формата современного жилья (табл. 2.5).

Таблица 2.5. – Планировочные принципы модульных жилых систем

Название	Габариты в метрах	Материал	Возможность увеличения	Устойчивость к морозам	Конструкция
КОДА	7х4х4	бетонные панели	да	нет	заводские модули

МУДЖИ ХАТ	3x3x3	дерево	нет	нет	заводские модули
Викельхаус	1,2x5x3,5	деревянные панели	да	нет	модульные сегменты
Лондонский контейнерный город	12x2,5x2,9	Грузовые контейнеры, металл	нет	нет	контейнеры
Плант Префаб	индивидуальные	дерево	да	нет	сборные панели
Сакрамонте Шелтерс	4x6x3	металл	нет	нет	заводские модули
Модус Гонсальвес Хаус	4x3x2,5	бетон	да	нет	сборные панели

Приведённые примеры, благодаря своей универсальности и инновационности, позволяют рассматривать модульный способ строительства как течение, отчасти формирующее современную архитектуру. Комбинируя экологичные материалы, прогрессивный дизайн и ускоренный процесс сборки, модульное жилье способствует решению важных задач, стоящих на пути сельского и городского развития, способствуя к более адаптируемым и устойчивым формам устройства жилых пространств в будущем. Однако основная проблема такого пути развития заключается в габаритах, влияющих на логистический процесс, снижая потребительскую привлекательность представленного продукта.

Особенностью проанализированных образцов является деликатная обработка стыковочных узлов, что способствует вариативности при выборе архитектурных форм и планировочных решений. В результате анализа мирового и отечественного опыта следует выделить следующие особенности планировочной организации пространства, которые должны быть учтены при проектировании модульных жилых систем:

- создания максимально компактных архитектурных форм;
- высокий уровень проработки стыковочной системы соединения модулей;
- значительный потенциал вариативности пространственных решений, благодаря легкому процессу трансформации архитектурной формы;

- выбор мебели и мест хранения, с учётом современных технологий, используемых для малогабаритных пространств;
- увеличение пространства путем визуальных возможностей витражного остекления и сдержанных интерьерных решений;
- эффективное использование резерва многофункциональности проектируемого пространства.

Выводы второй главы

Зарубежный опыт строительства полезен для внедрения в экстремальных климатических условиях экономических и энергосберегающих проектов, сокращения эксплуатационных расходов на содержание зданий и территорий, а также для изучения практики строительства уникальных объектов с искусственным микроклиматом.

Отечественный опыт показывает, что вахтовый метод освоения территории приводит к ее запущению, важно сохранить уже существующую северную инфраструктуру, модернизировав ее в соответствии с современными реалиями. Переняв опыт иностранных коллег по внедрению модульного строительства в северных поселениях и основываясь на базе советского опыта градостроительства, можно оптимизировать условия проживания в регионах Крайнего Севера, и выработать подход для создания новых поселений. Так как ресурсно-сырьевой и туристический потенциал севера формирует запрос на качественную жилую среду.

Северные условия не самые благоприятные для строительства и эксплуатации жилья, но совокупность наработанного опыта и современных технологий значительно упрощают этот процесс. Наиболее эффективным способом освоения удалённых территорий являются модульные системы, которые могут применяться как для вахтового освоения территорий, так и для постоянного пребывания. Ключевыми выводами являются следующие принципы:

1. Продуваемость грунта: вечная мерзлота диктует необходимость строительства над поверхностью грунта, чтобы избежать таяния нижних слоёв основания под зданиями. Продуваемое пространство под строениями снижает риск повреждения структур. Для решения проблемы могут применяться дома на сваях, подушках или подвешенные конструкции.

2. Компактные формы зданий: для повышения энергоэффективности зданий в условиях низких температур выбираются компактные формы строений, которые минимизируют площадь наружных стен и теплопотери. Наиболее оптимальны формы шара, куба и цилиндр. Важно тщательно контролировать соотношение площади наружных стен и оконных проёмов при проектировании зданий на Севере. Компактные и рациональные формы зданий, использование современных материалов и технологий позволяют достичь наилучших результатов с точки зрения энергосбережения.

3. Устойчивость к ветрам: сильные северные ветры влияют на проектирование зданий, что обуславливает необходимость их аэродинамических форм, высоких входов и других мер защиты от снегозаносов. Устойчивые конструкции помогают выдерживать сильные ветровые нагрузки.

4. Заметность зданий: в условиях снежных бурь важна видимость зданий, что решается применением ярких цветов или световых указателей, чтобы строения было легко обнаружить при ухудшении видимости. Применение ярких цветов и световых указателей помогает ориентироваться в экстремальных погодных условиях, что существенно повышает уровень безопасности и комфорта проживания в этих регионах. Цвет можно использовать не только для повышения заметности здания, но и для разнообразия архитектурной среды, что благоприятно влияет на психологические аспекты взаимодействия человека с объектом.

5. Требования логистики: для повышения экономической привлекательности, минимизации воздействия на экологию и простоты сборки, необходимо учитывать логистику. В качестве решений можно использовать модульные системы,

выполненные с учётом габаритов грузового контейнера, что упростит не только транспортировку, но и сборку.

6. Формообразование зданий: большое количество снега требует проектирования скатных кровель или обтекаемых форм зданий, которые позволяют ветру сметать снег, предотвращая его накопление и повышая устойчивость конструкции.

7. Автономность: самодостаточность здания в условиях слабой развитости региона является большим преимуществом. Ветроэнергетика и солнечная энергия имеют высокий потенциал для эксплуатации на Севере благодаря сильным ветрам и длительному полярному дню.

8. Преемственность: использование традиций северного градостроительства, вырабатывавшийся практикой освоения северных территорий. Бережное отношение к культуре коренных народов региона.

9. Техническая переработка вторсырья и использованных ресурсов для повторного применения: внедрение энергосберегающих технологий, деление объектов на тепловые отсеки, повышенная теплоизоляция. Применения местных сырьевых ресурсов. Создание автономных хозяйственных блоков, разделение поселения на мелкие энергетически и технически независимые друг от друга единицы.

ГЛАВА III. КОНЦЕПЦИЯ МОДУЛЬНОЙ ЖИЛОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

3.1. Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Эффективность модульных конструкций и применимость выработанных принципов была ни раз проиллюстрирована при проектировании конкурсных проектов и разработке патентов направленных на улучшение жилищных условий, развитие туризма и создания мобильной и трансформируемой архитектуры. В процессе проектирования и изучения модульных систем были проверены выявленные во второй главе принципы. Часть принципов была скорректирована или изменена согласно публичным дискуссиям и комментариям от экспертов из разных сфер архитектурного строительства.

Ниже приведены наиболее интересные проектные предложения, с применением модульных систем, которые повлияли на развитие данного исследования и нашли своё отражение в финальной теоретико-экспериментальной модели модульной жилой системы.

Городская адаптация (Urban adaptation). Зерно. Проводимый финским университетом Аалто при поддержке министерства окружающей среды Финляндии и производителя модульных деревянных конструкций МЕТСА (METSA), конкурс был направлен на создание трансформируемой архитектуры. Основное внимание в проектном предложении было уделено поселениям в отдалённых регионах России. Вымирание деревень значительная проблема России с начала XXI века, основные факторы оттока населения связывают с закрытием школ и больниц, что приводит к полной остановке социальной жизни вследствие

отъезда молодых семей и трудоспособного населения.

На первом этапе ядро «Зерна» доставляется в выбранную локацию и устанавливается на заранее подготовленные винтовые сваи. В этот период структура функционирует как туристическая достопримечательность и привлекает внимание к заброшенному месту. Второй этап начинается, когда кто-то из местных жителей или новых поселенцев инициирует процесс развития поселения. На третьем этапе «Зерно» превращается в комплекс с собственной экосистемой и полной автономностью, способный генерировать энергию и перерабатывать сточные воды. Когда конструкции и материалы объектов изнашиваются и придут в негодность, а общество, вероятно, изменит свой образ жизни и потребности, настанет четвёртый этап. Исходя из современных реалий, наиболее прогрессивным и очевидным вариантом является переработка, деревянные конструкции могут быть трансформированы в новые материалы и использоваться повторно.

В данном проекте были подробно рассмотрены логистические принципы, модульные жилые блоки компактно упакованы в палеты, применяется шарнирное крепление для стен и кровли здания с целью упростить процесс сборки. Модульный дом собирается по принципу «Книжки», где за счёт шарнирного крепления крыша «Раскрывается», образуя полноценную жилую ячейку. Особое внимание было уделено автономности комплекса, как энергетической, так и социальной. В основном блоке помимо ветровых турбин для генерации энергии размещаются объекты социального назначения.

В нижней части ядра находятся комплекты для строительства модульных жилых домов. Строительные наборы расположены внутри ствола и постепенно замещаются новыми, когда предыдущие извлекаются. После того как изъят четыре строительных комплекта, очередь доходит до контейнера с деталями первой части ветрогенератора. Когда все строительные комплекты будут использованы, последний контейнер доставит вторую часть турбины. В высвобожденном пространстве в центре ядра, предусмотрены складские помещения и инженерные коммуникации.

В данной работе были применены следующие принципы:

- модульность, предоставляющая возможность стыковки жилых блоков между собой для увеличения жилого пространства;
- логистические принципы, направленные на повышение простоты транспортировки, за счёт хранения жилых единиц в виде сложенных блоков;
- шарнирное крепление ограждающих конструкций модуля, обеспечивающее простоту транспортировки и лёгкость установки;
- обеспечение автономности за счёт применения ветровых турбин и систем фильтрации дождевой воды;
- принципы аутентичности, отражающие культурный код региона в виде двускатных кровель, деревянной отделки и применения национального декора.

Проектное предложение заняло второе место и получило положительную оценку членов жюри: «Этот проект предлагает решение по возрождению заброшенных деревень в России с помощью модульных, компактных, сборных конструкций для самостоятельного строительства» Минна Риска, архитектор и партнер МДН Аркитекче (MDH Arkitektter), Норвегия.

Станция зарядки электромобилей Вим. Проектное предложения было разработано в рамках конкурса «Электрозаправочная станция будущего» проводимое канадским агентством Электрическая Автономность Канады. Задачей конкурса было развитие системы станций заправки автомобилей для привлечения туристического потока в северные регионы Канады. Проектным предложением была разработана модульная структура, которая включает в себя всю необходимую инфраструктуру, жилые и общественные секции, места отдыха и питания, а также магазины с продуктами первой необходимости.

Для реализации проекта была выбрана Британская Колумбия, поскольку этот регион богат природными достопримечательностями. Северная часть региона и Юкон, который граничит с Аляской, являются территориями с экстремальными арктическими условиями, что также было учтено при проектировании проектного предложения.

За основу архитектурного облика были взяты круг и спираль как символы времени и движения. Однако, в отличие от круга, спираль предполагает бесконечное развитие. Таким образом, история и время интерпретируются в форме спирали, объединяющей повторяемость процессов и прогресс. Как уже было отмечено при анализе жилищ коренных народов севера, спиральная конструкция широко используется в традиционной архитектуре, например, эскимосы строят иглу, укладывая снежные блоки по спирали, постепенно сужающейся к вершине.

Автономность станции и адаптация к окружающей среде предусмотрены за счёт модульности, мобильности, и предрасположенности к вторичной переработке используемых материалов значительно продлят срок службы здания в будущем. Основная конструкция проектного предложения выполнена из стали, а ограждающие панели из поликарбоната, заполненного аргоном, что позволяет сохранять тепло зимой и предотвращает перегрев помещений летом. На крыше комплекса установлены солнечные панели, а наклонные и дренажные системы позволяют собирать дождевую воду для бытовых нужд здания.

План зарядной станции представляет собой радиальное открытое пространство, собранное из модульных секций и организованное вокруг круглого в плане внутреннего двора. Функциональные зоны разделены с помощью раздвижных и поворотных перегородок и модульной мебели. Благодаря круглой форме и прозрачным поликарбонатным панелям, внутрь здания проникает много естественного света, что позволяет сэкономить на электроэнергии, для панорамного обзора на окружающие станцию природные ландшафты, предусмотрено ленточное остекление.

Зонирование основано на распределении пространств по уровню шума. У входа в комплекс расположены самые активные зоны: ресепшен, кафе, детское игровое пространство. Далее следуют более тихие зоны, гостиные, лобби и зоны отдыха. В конце здания находится библиотека с панорамными окнами и капсульный отель, где посетители могут отдохнуть, поработать или насладиться окружающими видами.

Проект предусматривает возможность выбора различных секций, модулей и конфигураций, что позволяет адаптировать объект под локальные запросы. Количество и функции модулей могут варьироваться в зависимости от потребностей конкретного региона. Часть здания может быть переоборудована под общественный центр, что делает зарядную станцию не просто утилитарным объектом, а комфортным пространством, способным привлекать как туристов, так и местных жителей, повышая уровень жизни в окрестностях. Концепция зарядной станции объединяет эргономичность, автономность и экологичность, представляя собой не просто инфраструктурный объект, а комфортное и полезное пространство для туристов и жителей региона.

В данной концепции были применены такие принципы как:

- аргоновое заполнение стеклопакетов для уменьшения теплопотерь;
- деление здания на сегменты в зависимости от температурных режимов;
- сбор дождевой воды и использование солнечной энергии;
- проработана система стыковки модулей с разными функциональными зонами, для обеспечения гибкости планировочных решений;

Проект удостоился почётного упоминания в конкурсной программе и был отмечен как современное и качественно проработанное архитектурное решение.

Туристический маршрут Москва-Сочи. Данный проект был разработан архитектурным бюро Базис с целью привлечения внимания к достопримечательностям регионов России. Центральной точкой проекта является транспортный маршрут от Москвы до Сочи. Важную часть в проекте заняли модульные жилые системы для ночлега, при проектировании которых были учтены не только утилитарные особенности, но и эстетические.

Проектом разработаны места ночлега, зоны отдыха, смотровые площадки, точки питания и распределены равномерно по маршруту. В итоге, были продуманы уникальные архитектурные решения, благодаря которым появится возможность привлечь внимание к развитию уникальных мест - природных и рукотворных.

В качестве основной типологии ночлегов выбран глэмпинг – отдых на природе с полноценным отельным обслуживанием. Функциональное разнообразие зон для отдыха позволит данным точкам стать не только ночлегом, но и местом для проведения фестивалей, а также занятия активным отдыхом.

Одной из первых локаций, требующих внимания является рудник в пригороде Воронежа, который в последние годы известен как место проведения фестивалей и центр отдыха. Отличительной особенностью рельефа являются два цилиндрических выступа, расположенных на вершине карьера. На отвесной скале находится прямоугольная опора «скоба» в которой размещаются модульные блоки номеров отеля. Данное решение не только подчёркивает величие окружающих ландшафтов, но и позволяет регулировать номерной фонд за счёт размещения новых модулей или изъятия старых.

Быковские буруны - уникальный для Ростовской области пустынный ландшафт. Песчаные барханы и дюны скорее напоминают африканские пустыни нежели традиционную природу юга России, и только деревья на горизонте напоминают туристу его реальное местонахождение. Среди песчаных дюн расположился глэмпинг, напоминающий одновременно юрты и космический кратер, что делает буруны ещё более инопланетным и загадочным местом.

Александровский лес, лесной массив площадью 5525 га в Азовском районе Ростовской области является памятником природы. В лесу расположились компактные и уютные глэмпы с панорамным остеклением, что делает их идеальным местом для наблюдения за местной фауной.

В живописном месте в тихой долине на берегу Азовского моря расположился Винный павильон. Проектом предлагается представить здесь лучшие вина Кубани и юга России. После дегустации можно остаться на ночь в глэмпях, расположенных на отвесной скале вдоль Азовского моря. Минималистичный дизайн павильона призван напомнить, что главный экспонат здесь природа. Натуральные материалы и естественные цвета позволят посетителям сконцентрировать своё внимание только на природе и отдыхе.

В рамках данного проекта были применены следующие принципы:

- аутентичности, в виде уникальных архитектурных решений, которые позволят пробудить туристический интерес и отразить культурный код локации, в которой расположены;
- компактные планировочные решения, для проекта было разработано шесть непохожих друг на друга модульных жилых комплексов, с уникальными планировочными решениями.

Данный проект был опубликован в юбилейном выпуске популярного архитектурного журнала «Проект Россия» и получил одобрительные рецензии архитекторов и туристических операторов.

Новая реальность градостроительства после пандемии КОВИД 19.

Проектное предложение было разработано для международного конкурса «Новая реальность городов после КОВИД» проводимого союзом архитекторов и инженеров Республики Северная Македония (Republic of North Macedonia chamber of certified architects and certified engineers) и архитектурным факультетом университета Кирилла и Мефодия (ss. Cyril and Methodius university faculty of architecture skopje). Работа удостоилась наивысшей оценки жюри и заняла первое место. Задача конкурса была разработать городской квартал, в котором будут отражены последствия пандемии КОВИД19. Одним из решений проекта стала структура для модульных, мобильных жилых блоков.

Данный исследовательский проект использует подходы на стыке архитектуры и психологии, и демонстрирует гиперболизированные архитектурные решения, основанные на поведенческих моделях, проявившихся в период карантина, но продолживших своё существование и в обычной жизни. Целью проекта было не проектирование крепости или цитадели, для ожидания новых катаклизмов, пандемии или иных катастроф, а создание среды, которые повысит уровень жизни за пределами кризисных ситуаций.

Одним из важных принципов, применённых в проектном предложении, является автономность, которая обеспечивается за счёт ветровых турбин,

солнечных панелей, водоёмов с пресной водой, системами хранения ресурсов и погребам. Доминирующей структурой в зоне отдыха является мемориал жертвам КОВИД19, он представляет собой выразительный металлический каркас, который в случае новых кризисов сможет трансформироваться в полноценный госпиталь путём установки медицинских модулей в структуру мемориала. Наверху находится турбина, генерирующая электричество для нужд микрорайона.

В жилом строительстве предусмотрены двухэтажные квартиры с возможностью изоляции больного на втором этаже. Подъёмник для продуктов, отдельные входы и автономные системы вентиляции делают квартиру безопасной с точки зрения распространения инфекции. Вакуумная система доставки позволяет исключить прямой контакт между курьером и получателем. Панорамные террасы становятся важнейшим элементом каждого дома, обеспечивая возможность для работы и отдыха на свежем воздухе, не выходя из дома.

Особое место в структуре квартала занимает «Дом путешественников» который представляет структуру, состоящую из ячеек для размещения модульных жилых блоков. Данное решение в первую очередь ориентировано на мобильность, владелец модуля может арендовать ячейку и встроить в неё свой жилой блок, в случае необходимости он может переехать со своим модулем в любую другую локацию, где уже установлена подобная структура или отправиться загород.

В проект были внедрены такие принципы как:

- модульность, в виде отдельных жилых единиц;
- мобильность и адаптивность позволяющая перемещать жилой модуль между разными локациями;
- автономность, за счёт внедрения ветровых турбин и альтернативных источников энергии;
- система подвесного крепления модульного блока к опоре, а также возможность комбинации блоков в составе одной структуры.

Данная проектное предложение, заняло первое место в конкурсной программе и удостоилось высокой оценки членов жюри.

Патентные разработки. В ходе проведённого исследования, на основе систематизированных во второй главе принципов проектирования модульных жилых систем для условий Крайнего Севера, была разработана и апробирована комплексная архитектурно-инженерная концепция, включающая конструктивные и планировочные решения. Результатом этой работы стало создание модульной системы, обеспечивающей адаптацию жилой среды к экстремальным климатическим условиям Арктики. Разработанные конструктивные решения включают запатентованную систему опор для использования на вечномёрзлых грунтах, модульный блок с шарнирным креплением и трансформируемые архитектурно-планировочные решения. Полученные патенты подтверждают новизну и практическую значимость предложенных решений, обеспечивая их дальнейшее применение в строительной практике северных регионов.

Строительный трансформируемый модульный блок на шарнирном креплении (Приложение 3) представляет собой универсальную конструкцию, предназначенную для создания жилых ячеек в труднодоступных и отдалённых районах. Спроектированный с учётом стандартных габаритов грузовых контейнеров, модульный блок обеспечивает простоту транспортировки различными видами транспорта (автомобильным, морским, железнодорожным). Данное решение позволяет широко использовать складной жилой модуль в условиях Крайнего Севера или иных труднодоступных регионах.

Изделие состоит из четырёх скреплённых шарнирным креплением панелей с закладными деталями на торцах. Основой конструкции являются шарнирные крепления, обеспечивающие быстрое разворачивание створок модульного блока. В сложенном состоянии створки, которые будут формировать ограждающие конструкции (пол, стены и потолок), компактно укладываются внутрь контейнера, что минимизирует его объем при транспортировке.

После доставки на место назначения модульный блок можно разложить вручную или с помощью минимального технического оснащения. Шарнирные

механизмы позволяют разворачивать створки без использования специализированных инструментов, что значительно ускоряет процесс сборки и делает его доступным даже для неквалифицированного персонала. Разложенные створки надёжно фиксируются в требуемом положении за счёт специальных угловых стяжек, формируя модуль.

Это решение отвечает следующим, отмеченным во второй главе принципам:

- принципу модульности, главная конструктивная особенность блоков, изготовленных в заводских условиях, которые легко транспортируются, собираются и демонтируются;
- простота сборки, использование сухого монтажа и пазового крепления, позволяет сократить сроки строительства, избежать «мокрых» процессов при отрицательных температурах и обеспечить быструю эксплуатационную готовность;
- логистический принцип стандартизации размеров модулей согласно габаритным размерам контейнера (2,5 м* 2,5 м* 12,0 м), что позволяет оптимизировать транспортировку.

Уникальность решения заключается в комбинации компактных форм и шарнирного крепления, которое позволяет разложить собранный для упрощения логистики модуль, без применения специальной техники. Конструкция позволяет собрать модульный блок в кратчайшие сроки, а фиксирующие уголки обеспечивают устойчивость конструкции.

Треугольная опора с модульными блоками (Приложение 3) разработана для обеспечения максимальной устойчивости модульных жилых систем в условиях суровых северных ветров и сложного рельефа. Треугольная форма создает равномерный распор между опорными точками конструкции, что увеличивает её устойчивость и жесткость, особенно при высоких ветровых нагрузках, характерных для полярных регионов. Конструкция также снижает вероятность деформации и сдвига блоков.

Устойчивость треугольной опоры позволяет надежно закрепить каркас на вечномерзлом или неустойчивом грунте. За счет использования металлических треугольных опор конструкция способна противостоять давлению снега, ветра и другим нагрузкам.

К металлическим треугольным опорам фиксируются стальные тросы, к которым крепятся модульные блоки. Тросы обеспечивают возможность регулировки натяжения, что позволяет оперативно адаптировать здание к изменяющимся условиям эксплуатации. За счёт подвешивания блоков на вантовых креплениях удаётся создать продуваемость грунта, что является важным условием для предотвращения таяния вечной мерзлоты. Это решение отвечает следующим принципам:

- применение приподнятых над землёй фундаментов, минимизирующих тепловое воздействие на грунт и обеспечивающих продуваемость основания;
- применение аэродинамичных форм и конструкций для повышения устойчивости и противостояния бурям;
- формирование высоких входов, защищающих от заносов, чтобы не допускать скопления снега.

Использование модульной системы с треугольной опорой позволяет существенно снизить затраты на монтаж и повысить эффективность сборки. Конструкция проста в транспортировке и установке, что делает её пригодной для быстрого возведения жилых и рабочих модулей в удаленных районах.

Модульная жилая система (Приложение 3). Модульные блоки спроектированы с учётом максимальной компактности. Эффективная организация внутреннего пространства достигается за счёт продуманной планировки, обеспечивающей функциональность на минимальной площади. В случае необходимости предусмотрена возможность объединения модулей в более крупные блоки, обеспечивая гибкость и разнообразие конфигураций, что особенно важно для создания жилых или рабочих комплексов.

Компактность и стандартные габариты модульных блоков делают их универсальными, эффективными в использовании для масштабирования под различные задачи и условия эксплуатации. Предлагаемые планировочные решения адаптированы под габариты грузовых контейнеров и соответствуют следующим принципам:

- принцип компактности предполагает рациональное использование площади за счёт оптимизации функциональных зон, такая планировочная структура облегчает отопление и эксплуатацию модулей в условиях сурового климата;
- принцип гибкости и трансформируемости планировочных решений, допускающий изменение конфигурации, монтаж дополнительных модулей или перераспределение функций в зависимости от числа жильцов и сценариев использования;
- принцип эргономичности пространства с учётом антропометрических норм и удобства выполнения бытовых процессов;
- применение тамбура и буферных зон, обеспечивающих снижение теплопотерь, блокировку ветровых потоков и стабилизацию внутреннего микроклимата.

Уникальность решения заключается в универсальности модуля и большого количества вариаций стыковки модулей между собой, что позволит собирать индивидуальные модульные системы из готовых блоков в соответствии с конкретным запросом и поставленной задачей. Все сборные элементы и сами модули спроектированы с учётом габаритов грузового контейнера.

В представленных трудах был проанализирован ряд принципов, которые легли в основу представленных ниже рекомендаций (табл. 3.1).

Таблица 3.1. – Система апробации принципов

Название работы	Тип	Апробированные принципы	Результат
Городская адаптация/ Зерно	архитектурная концепция	модульность	Разработаны сценарии стыковки жилых блоков между собой для увеличения жилого пространства

		логистические	принципы, направленные на повышение простоты транспортировки, за счёт хранения жилых единиц в виде сложенных блоков
		быстрая сборка	шарнирное крепление ограждающих конструкций модуля, обеспечивающее простоту транспортировки и лёгкость установки
		автономность	применение ветровых турбин и систем фильтрации дождевой воды
		аутентичность	Отражение культурного кода региона в виде двускатных кровель, деревянной отделки и применения национального декора
Станция зарядки электромобилей Вим	архитектурная концепция	энергосбережение	аргоновое заполнение стеклопакетов для уменьшения теплопотерь, деление здания на сегменты в зависимости от температурных режимов,
		автономность	сбор дождевой воды и использование солнечной энергии
		гибкость планировочных решений	проработана система стыковки модулей с разными функциональными зонами, для обеспечения гибкости планировочных решений
Туристический маршрут Москва-Сочи	архитектурная концепция	аутентичность	архитектурные решения, которые позволят пробудить туристический интерес и отразить культурный код локации, в которой расположены
		компактные планировочные решения	для проекта было разработано шесть непохожих друг на друга модульных жилых комплексов, с уникальными планировочными решениями
Новая реальность градостроительства после пандемии КОВИД 19	архитектурная концепция	модульность	разработаны отдельные жилые единицы
		мобильность	возможность перемещения модуля
		автономность	внедрение ветровых турбин и альтернативных источников энергии
		приподнятое основание	система подвешного крепления модульного блока к опоре, а также возможность комбинации блоков в составе одной структуры
Строительный трансформируемый модульный блок на шарнирном креплении	патент	модульность	изготовление в заводских условиях, легко транспортируются, собираются и демонтируются
		простота сборки	использование сухого монтажа и пазового крепления, позволяет сократить сроки строительства
		логистика	стандартизации размеров модулей согласно габаритным размерам контейнера (2,5 м* 2,5 м* 12,0 м), что позволяет оптимизировать транспортировку

Треугольная опора с модульным и блоками	патент	приподнятые основания	применение приподнятых над землёй фундаментов, минимизирующих тепловое воздействие на грунт и обеспечивающих продуваемость основания, формирование высоких входов, защищающих от снежных заносов
		аэродинамические формы	применение аэродинамических форм и конструкций для повышения устойчивости и противостояния бурям
Модульная жилая система	патент	принцип компактности	рациональное использование площади за счёт оптимизации функциональных зон, облегчает отопление и эксплуатацию модулей в условиях сурового климата
		принцип гибкости	изменение конфигурации, монтаж дополнительных модулей и перераспределение функций в зависимости от числа жильцов и сценариев использования
		эргономичность	пространство с учётом антропометрических норм и удобства выполнения бытовых процессов
		применение тамбура	применение тамбура и буферных зон, обеспечивающих снижение теплопотерь, блокировку ветровых потоков и стабилизацию внутреннего микроклимата

3.2. Проектно-экспериментальное моделирование модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

На основе сформулированных во второй главе принципов разработана теоретическая модель архитектурной организации модульных жилых систем (Рис. 3.1). В качестве методологической основы модели выступает триада базовых качеств жилой архитектуры – функциональность, устойчивость и эстетика. Эти три категории образуют взаимосвязанную систему, в которой каждое качество раскрывается через совокупность принципов и направлений, конкретизируемых архитектурно-строительными приёмами и техническими решениями. Модель предназначена для систематизации проектных решений и

формирования комплексного подхода к разработке модульных жилых систем, предназначенных для эксплуатации в условиях Крайнего Севера.



Рисунок 3.1. Теоретическая модель архитектурной организации модульных жилых систем

Функциональность рассматривается как ключевое качество, обеспечивающее пригодность модульного жилья к различным сценариям использования, отвечающее соответствию объекта предусмотренной функции, комфорт проживания и эффективности эксплуатации. Это качество включает в себя два направления принципов: демографические и эксплуатационные.

Демографическое направление определяет способность архитектурной системы адаптироваться как к составу и структуре населения, его социальным и культурным особенностям так и к персональным потребностям пользователей. Оно включает принципы, направленные на обеспечение гибкости планировочных решений, масштабируемости жилого фонда, эргономичности пространства, инклюзивности и удобства использования. Включает в себя две группы принципов: социальные и персональные.

1. *Персональные принципы* связаны с созданием условий, обеспечивающих физический и психологический комфорт отдельного человека. В их основе лежит стремление минимизировать стресс, вызванный длительным пребыванием в изолированных и суровых условиях Крайнего Севера. Ключевое значение имеют эргономика и гибкость жилого пространства, позволяющие адаптировать модули под индивидуальные потребности жителей. Состоит из следующих принципов:

- применение естественного и регулируемого искусственного освещения;
- проработка температурных режимов и параметров влажности, для формирования комфортного микроклимата в помещении;
- акустический комфорт пространства, применение шумоизоляции;
- использование тактильно приятных материалов, цветовых акцентов и персонализированных элементов интерьера, способствующих формированию уюта и снижению ощущения отчуждения;
- обеспечение приватности и личного пространства, что особенно важно при компактном проживании в модульных структурах.

2. *Социальные принципы* ориентированы на укрепление сообществ и поддержку коллективных форм взаимодействия. Они предполагают создание

общественных зон и коммуникационных пространств, способствующих социализации, совместному отдыху и проведению культурных мероприятий. Важным аспектом является проектирование модульных поселений с учётом демографического состава, наличия семей с детьми, вахтовых работников, молодёжи и пожилых людей. Эта группа состоит из следующих принципов:

- функциональное и планировочное разнообразие типологий жилых единиц;
- обеспечение инклюзивности среды, адаптированной для всех групп населения;
- гибкость и транспортируемость планировочных решений;
- функциональное разнообразие модульных единиц, многофункциональные зоны, позволяющие адаптировать пространство под различные потребности;
- транспортабельность и мобильность модульных блоков.

Демографическое направление объединяет индивидуально-ориентированные и социальные подходы, направленные на создание гармоничной и устойчивой среды обитания человека в экстремальных северных условиях. Оно обеспечивает психологическую устойчивость и культурное развитие населения в арктических поселениях.

Эксплуатационное направление базируется на принципах энергосбережения и автономности, которые в совокупности определяют устойчивость функционирования модульных жилых систем в экстремальных климатических условиях Арктики. Эти принципы направлены на обеспечение стабильной и экономичной эксплуатации зданий. В условиях низких температур, полярной ночи и значительных ветровых нагрузок, именно эксплуатационные характеристики становятся ключевыми показателями эффективности архитектурно-технических решений.

1. *Принципы энергосбережения* включают применение как пассивных, так и активных приёмов повышения энергоэффективности. Пассивные методы

направлены на минимизацию теплопотерь за счёт рациональной объемно-пространственной организации зданий и их конструктивных решений. Активные приёмы энергосбережения предполагают внедрение возобновляемых источников энергии и интеллектуальных систем управления микроклиматом. К этой группе относятся следующие принципы:

- компактность формы и снижение площади ограждающих конструкций;
- создание тамбура и буферных зон, которые выполняют роль промежуточного климатического слоя между внешней средой и внутренними помещениями;
- ориентация модулей по сторонам света и учёт розы ветров, что позволяет оптимизировать естественное освещение и снизить теплопотери в зависимости от сезона;
- использование высокоэффективных теплоизоляционных материалов, многослойных ограждающих конструкций и герметичных стыков что способствует снижению энергопотребления;
- системы рекуперации тепла из вытяжного воздуха и сточных вод;
- совмещение пассивных и активных подходов, обеспечивающих баланс между минимизацией теплопотерь и эффективным использованием потенциала территории.

2. *Принципы автономности* направлены на обеспечение независимости модульных систем от централизованных инженерных сетей, что особенно актуально для труднодоступных и удалённых арктических территорий. Автономность достигается за счёт следующих принципов:

- внедрение альтернативных источников энергии солнечные панели, ветрогенераторы малой мощности, тепловые насосы;
- внедрения систем с использованием накопительных резервуаров воды, скважин или снегоплавильных установок;
- внедрение локальных станций очистки сточных вод;

– резервные источники электроснабжения на основе генераторов, а также системы аккумуляции для компенсации неравномерности поступления энергии из возобновляемых источников.

Устойчивость в теоретической модели определяется как совокупность конструктивной и экологической устойчивости. Данное направление отвечает за адаптацию модульной жилой системы не только к физическим вызовам, но и климатическим, обеспечивая надёжность и долговечность жилых систем.

Конструктивное направление проектирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера основано на принципах модульности, сборности и теплоэффективности. Совокупная реализация этих принципов обеспечивает возможность возведения зданий в преимущественно заводских условиях, минимизацию строительных рисков, связанных с климатом, а также достижение оптимального соотношения между прочностью, энергоэффективностью и технологичностью конструкции.

1. *Принципы модульности* заключаются в формировании здания как системы взаимозаменяемых и функционально законченных блоков, каждый из которых может выполнять самостоятельную роль в структуре объекта. Модульный подход обеспечивает гибкость архитектурных решений, возможность тиражирования, расширения и трансформации жилых комплексов без необходимости масштабных строительных работ. Эта группа включает в себя следующие принципы:

- унификация соединительных узлов обеспечивающая совместимость с другими элементами модульного блока;
- внедрение системы стандартизации, позволяющей оптимизировать логистику, хранение и замену элементов, что особенно важно для удалённых и труднодоступных арктических территорий;
- мобильность и возможность релокации готового объекта.

2. *Принципы сборности* направлены на повышение технологичности и скорости возведения объектов за счёт максимального переноса

производственных процессов в заводские условия. Основная доля строительных операций выполняется на предприятии. На строительной площадке осуществляется только монтаж готовых модулей, что существенно сокращает сроки работ и снижает трудозатраты. В эту группу входят следующие принципы:

- заводская сборка каркасов и инженерных систем, с контролем качества;
- использование лёгких панельно-каркасных систем и унифицированных узлов сопряжения;
- унификация габаритов обеспечивающая транспортируемость различными видами транспорта;
- сборность конструкции и возможность демонтажа и повторного использования модулей.

3. *Принципы теплоэффективности* определяются необходимостью минимизации теплопотерь и повышения термической устойчивости ограждающих конструкций. Применение материалов позволяющих значительно уменьшить толщину стен при сохранении высоких теплотехнических характеристик, что особенно актуально для компактных модульных блоков. Эта группа состоит из следующих принципов:

- использование современных изоляционных материалов с низким коэффициентом теплопроводности (полиизоцианурат, аэрогель, вакуумные панели);
- применение многослойных ограждающих конструкций с непрерывным теплоизоляционным контуром;
- исключение образования «мостиков холода» в местах стыковки каркасных элементов;
- герметичные стыки и эффективные уплотнители в зонах соединения модулей, обеспечивающих поддержание стабильного внутреннего микроклимата.

Таким образом, конструктивное направление формирует технический каркас всей проектной модели модульного жилья, объединяя стандартизацию,

заводскую сборку и энергоэффективные решения в единую систему, способную обеспечивать надёжность, долговечность и устойчивое функционирование зданий в экстремальных климатических условиях Арктики.

Экологическая составляющая устойчивости модульных систем определяется адаптацией архитектурно-планировочных и конструктивных решений к природным особенностям арктических территорий. Она базируется на географических и климатических принципах, направленных на минимизацию воздействия на окружающую среду, сохранение целостности ландшафта и обеспечение экологического баланса в процессе эксплуатации.

1. *Географические принципы* определяют пространственную и инженерную адаптацию архитектурных решений к особенностям рельефа, грунтовых условий и территориальным особенностям Арктики. Основное внимание уделяется сохранению мерзлотного состояния почв, минимальному нарушению растительного покрова и предотвращению деградации ландшафта. К этой группе относятся следующие принципы:

- использование приподнятых над землёй свайных фундаменты, исключающие тепловое воздействие на грунт и обеспечивающие стабильность зданий при сезонных деформациях;
- применение конструкций, позволяющих осуществлять монтаж без масштабных земляных работ и нарушений почвенного покрова;
- формирование компактных поселения и кластеров, минимизирующих площадь застройки и сохраняющих естественную дренажную систему территории;
- учёт транспортной и логистической доступности, проектируя застройку вблизи существующих транспортных коридоров или адаптируя конструктивные элементы к габаритам грузового контейнера;
- мобильность и обеспечение возможности демонтажа и повторного использования конструкций.

Таким образом, географические принципы обеспечивают экологическую сбалансированность и пространственную рациональность освоения северных территорий, ограничивая антропогенное воздействие на природную среду.

2. *Климатические принципы* направлены на адаптацию модульных систем к экстремальным погодным условиям Крайнего Севера – низким температурам, ветровым нагрузкам, сезонным перепадам и ограниченной инсоляции. Они формируют основу для выбора материалов, технологий и инженерных решений, способствующих энергоэффективности и долговечности сооружений в экстремальных условиях. Эта группа включает в себя следующие принципы:

- использование многослойной теплоизоляции с применением современных материалов (аэрогель, PIR, вакуумные панели), обеспечивающих минимальные теплопотери;
- применение аэродинамических и устойчивых форм зданий, снижающих ветровое давление и образование снежных заносов;
- ориентация зданий с учетом направления господствующих ветров и солнечной радиации для максимального использования пассивного тепла;
- применение систем рекуперации тепла и утилизации энергии отработанного воздуха, повышающие энергетическую автономность объектов;
- интеграция локальных возобновляемых источников энергии (ветрогенераторы, солнечные панели, тепловые насосы) для сокращения углеродного следа и повышения независимости от централизованных сетей.

Климатические принципы направлены на обеспечение устойчивости и энергоэффективности архитектурных решений в условиях низких температур и экстремальных ветровых нагрузок, способствуя формированию самодостаточных и экологических поселений.

Эстетика отвечает за внешний вид объекта и его визуальную привлекательность, что является важным аспектом любого архитектурного объекта наравне с конструктивными и функциональными принципами. В

структуре модели это качество представлено двумя направлениями, композиционным и культурным.

Композиционное направление отражает визуально-пространственную организацию модульных систем, формирующих эстетическую выразительность и архитектурную идентичность. Это направление включает в себя три группы принципов: объёмно-композиционные, планировочные и декоративные.

1. *Объёмно-композиционные принципы* определяют форму и пространственную композицию модульных систем. В их основе лежит стремление к формированию эстетически привлекательных объёмов, в контексте Крайнего Севера композиционные приёмы должны соответствовать принципам смежных групп повышая адаптивность модульных систем к климатическим условиям. Эта группа включает в себя следующие принципы:

- целостность формы и читаемости архитектурного образа;
- ритмичность, формирующая визуально упорядоченную структуру и единый масштабный строй;
- визуальная читаемость архитектурного облика, где каждый модуль воспринимается как часть цельного ансамбля;
- пропорциональность, обеспечивающая гармоничное восприятие модульных структур;
- лаконичность форм и соответствие объёма конструктивному решению, где каждый элемент несёт не только функциональную, но и художественную нагрузку.

2. *Планировочные принципы* направлены на обеспечение логичной организации внутреннего пространства и удобства эксплуатации при сохранении модульной структуры. Внутренняя планировка строится на основе функционального зонирования, где жилые, санитарные, технические и общественные блоки формируют единое жилое пространство. К этой группе относятся следующие принципы:

- объединение функциональных зон по принципу кратчайших связей и компактности;
- ориентация функциональных зон по сторонам света для эффективного использования естественного освещения и солнечного тепла;
- применение буферных зон (тамбуров, переходов, галерей) способствующих термоизоляции и повышению энергоэффективности модуля;
- гибкость планировочной структуры, допускающая различные сценарии сборки и расширения модуля и обеспечивающая трансформацию пространств под изменяющиеся бытовые, социальные и климатические условия.

3. *Декоративные принципы* направлены на создание выразительного архитектурного образа, соответствующего как функциональной, так и культурной специфике региона. Визуальная среда формируется за счёт контрастов цвета, света и фактуры, которые играют не только эстетическую, но и навигационную роль в условиях низкой видимости и монохромного пейзажа. Эта группа включает следующие принципы:

- использование цветовых акцентов и маркировка фасадов для обозначения входов, функциональных зон и направлений движения;
- световые устройства и отражающие элементы, способствующие безопасной ориентации в тёмное время суток и в условиях полярной ночи;
- использование природных материалов, гармонирующих с северным ландшафтом и создающим психологически комфортную среду;
- применение текстур и материалов, способствующих визуальному разнообразию при сохранении общей стилистической целостности.

Таким образом, декоративные приёмы не сводятся к внешней эстетике, а интегрируются в архитектурную концепцию, обеспечивая функциональную выразительность, идентичность и визуальную устойчивость модульной архитектуры.

Культурное направление в архитектуре модульных жилых систем играет ключевую роль в формировании идентичности арктической застройки и её

интеграции в локальный социокультурный контекст. В условиях Крайнего Севера архитектура выступает не только как средство обустройства среды, но и как носитель символических значений, отражающих мировоззрение, традиции и образы жизни коренных народов. Данное направление опирается на принципы исторической преемственности и национальной самобытности, обеспечивая связь между инновационными технологиями модульного строительства и культурным наследием региона. Направление включает в себя две группы принципов, исторические и национальные.

1. *Исторические принципы* направлены на сохранение и переосмысление архитектурных архетипов, сложившихся в северных культурах на протяжении веков. Эти формы отражают адаптацию человека к экстремальному климату, и их взаимосвязь с историческими событиями. В рамках современных проектных решений исторические принципы проявляются в поиске аналогий не только с типологией традиционных жилищ, но с более современными этапами строительства, включая такие типологии как дома на приподнятых свайных основаниях, быстровозводимые зимовочные комплексы вахтовых поселков и первых поселенцев крупных городов. Эта группа включает в себя следующие принципы:

- осмысление архитектурных образов исходя из их пространственной логики и функциональной целесообразности, купольные и конические очертания древних жилищ вдохновляют разработку энергоэффективных форм, минимизирующих воздействие ветра и снеговых нагрузок;

- ориентация на исторический опыт развития технологий в условиях Крайнего Севера, приподнятые конструкции перекликаются с принципами сохранения мерзлотных условий;

- анализ существующего опыта с адаптацией к современным условиям, модульность перекликается с традицией сборных каркасных жилищ, удобных для транспортировки.

Исторические принципы формируют основу для эволюционной связи между традиционным и современным строительством, обеспечивая преемственность архитектурных форм, материалов и способов организации пространства. Такая преемственность помогает применять решения, проверенные временем и ставшие частью культурного кода региона.

2. *Этноархитектурные принципы* определяют визуально-символический язык архитектуры и направлены на формирование облика северных поселений, в котором отражаются культурные коды и традиции коренных народов севера. Они включают использование национальных орнаментов, цветовых акцентов, традиционных мотивов и природных материалов, которые создают узнаваемый художественный образ, связывающий современное здание с этнической культурой региона. Эта группа включает следующие приемы:

- применение фасадной графики и пластических решения, вдохновлённых мотивами ткачества, резьбы, росписи или символики, характерной для коренных народов севера;
- внедрение традиционных форм и символов ненцев, саамов, чукчей, якутов и других этносов, в формообразование современных объектов;
- использование цветовых кодов, основанных на сочетании природных оттенков и традиционной палитры (красный, охра, чёрный, белый, синий), усиливает эмоциональное восприятие и способствует созданию визуальной гармонии в суровом северном пейзаже;
- внедрение отсылок к традиционным украшениям и одежаниям в интерьерных и экстерьерных решениях;
- формирование общественных пространств, где жители могут поддерживать традиционные формы общения, ремёсел и обрядов;
- формирование архитектуры как медиатора культурного взаимодействия, соединяя местные традиции с современными технологиями и формируя культурную идентичность поселений.

Применение этноархитектурных принципов способствует не только художественной выразительности зданий, но и социальной устойчивости среды, которая становится узнаваемой, эмоционально знакомой и понятной для жителей, что особенно важно в изолированных северных территориях.

Таким образом, культурное направление обеспечивает символическую значимость архитектуры модульных систем. Оно объединяет традиции и инновации, создавая не просто жильё, а пространство, отражающее культурный код региона и поддерживающее связь человека с природой и историей.

Теоретическая модель объединяет три системообразующих качества жилой архитектуры, функциональность, устойчивость и эстетику в единую методологическую структуру, которая обеспечивает целостность подхода к проектированию модульных систем для северных территорий. Взаимосвязь указанных категорий позволяет формировать решения, одновременно отвечающие эксплуатационным, климатическим и культурным требованиям, что делает предложенную модель универсальным инструментом для разработки современных, автономных и выразительных архитектурных объектов, адаптированных к экстремальным природным условиям.

Для критического анализа разработанной теоретико-экспериментальной модели, был выбран участок в пригороде Норильска, в районе Кайеркан. Норильск является одним из самых холодных городов мира, расположенном на Крайнем Севере, что полностью соответствует границам исследования. Регион известен зоной распространения многолетней мерзлоты, глубина которой составляет от 40 до 80 метров.

Город характеризуется суровым субарктическим климатом, продолжительный зимний период с морозами и средней температурой января около -40°C усугубляется сильными шквалистыми ветрами; средняя температура декабря составляет -24°C , при этом порывы ветра могут достигать 27 м/с, что является типичным для Норильска. В таких условиях индекс

холодного воздействия, отражающий субъективное ощущение температуры при сочетании мороза и ветра, может опускаться ниже -50°C .

На открытых пространствах снежные заносы формируют неровную поверхность с крутой стороной, обращённой противоположно направлению преобладающего ветра. Даты формирования и схода снежного покрова варьируются в пределах месяца, тогда как общее количество дней с устойчивым снежным покрытием остаётся практически неизменным с годовой погрешностью около 8 %.

Продолжительная и холодная зима с сильными ветрами, выюгами и метелями, приводит к ситуациям с недостаточной видимостью. Следовательно, для обеспечения лучшей навигации жителей в условиях полярной ночи или снежной бури необходимо предусмотреть визуальные элементы навигации, позволяющие легко находить объект при неблагоприятных природных условиях.

В 1920 году группа геологов под руководством Н. Урванцева организовала первую экспедицию для изучения месторождений региона. В 1921 году, во время второй экспедиции, был возведён первый деревянный дом у подножия горы, а в 1939 году Норильск получил статус рабочего поселка. В 1953 году ему был присвоен статус города. При строительстве активно использовался труд заключённых системы ГУЛАГ, многие из которых остались жить в городе и после завершения строительства, сделав его своей второй родиной [9].

Объект проектирования расположен в пригороде Норильска, так как помимо индустриальной составляющей, город славится и природными достопримечательностями, среди которых горное образование «Красные камни», национальный заповедник «Плато Путорана», озеро Лама и многое другое, что повышает потенциал развития туристической отрасли. Удалённое географическое расположение перечисленных достопримечательностей приводит к множеству природных и инфраструктурных вызовов, один из которых транспортная доступность. С городами России Норильск связан авиасообщением и речным и морским транспортом, сухопутной связи между Норильском и другими крупными

городами России не существует. При отсутствии навигации по реке Енисей, перевозки осуществляются исключительно самолетами, так-как транспортное сообщение с остальными регионами полностью отсутствует.

Учитывая этот факт, при проектировании было предусмотрено, что доставка стройматериалов может осуществляться только водным или воздушным транспортом. Как опорные точки, при составлении логистических маршрутов, для отправных точек были взяты города с развитыми портами – Лесосибирск и Архангельск.

Норильская агломерация состоит из нескольких районов: Центрального, Кайеркана, Оганера, Талнаха и Снежногорска. Эти районы удалены друг от друга и имеют ряд существенных различий. Центральный район был построен первым, а со временем вокруг него сформировались города-спутники, которые позднее вошли в состав большого Норильска.

Для достоверности результатов проектирования, был выбран конкретный участок в районе Кайеркан. Рельеф площадки низкий и плоский, абсолютные отметки поверхности колеблются в пределах 125,0-150,0 м, в северо-восточном направлении наблюдается уклон рельефа. С восточной стороны участка, в пределах 100-150 м протекает р. Кайеркан. Подземные воды Амбарнинского месторождения, поверхностные воды озера Подкаменного и р. Норильской обеспечивают Кайеркан хозяйственно-питьевым и промышленным водоснабжением. Для данного региона характерны значительные снежные заносы из-за ветров, а распределение осадков неравномерно в течение года. В среднем ежегодно насчитывается 205 метельных дней, большинство из которых приходится на январь и февраль, при этом продолжительность метелей достигает 2–4 суток и более.

Серьёзной проблемой остаётся отсутствие автомобильных и железнодорожных коммуникаций. При строительстве туристической базы необходимо предусмотреть организацию подъездных путей от ближайшего аэропорта или порта с учётом принципов экологической безопасности. Помимо транспортной инфраструктуры, отдельного внимания требует инженерное

обеспечение, сети водоснабжения, канализации, отопления и электроснабжения отсутствуют на значительной части территории. В связи с этим базу следует проектировать как полностью автономный объект с независимыми инженерными системами [34].

Помимо архитектурных решений, для успешного функционирования проекта и его адаптации к существующей среде, необходимо провести работы по созданию ключевых точек притяжения для посетителей, обустроить основные пешеходные транзиты и восстановить экосистему участка. Основными проблемами территории являются: суровые климатические условия Арктики, отсутствие инженерных систем, отсутствие дорог и инфраструктуры [84].

Транспортировка как отправная точка проектирования. Грузовой контейнер – это оптимальный вариант при выборе способа транспортировки модульного здания на удаленные расстояния. Использование грузовых контейнеров является стандартизированным и популярным во всем мире методом перевозки габаритных грузов, обладающим рядом преимуществ.

Во-первых, контейнерные перевозки распространённый вид доставки, являющийся на сегодняшний день частью мировой логистики. Данный факт характеризует метод контейнерных перевозок, как надежный и унифицированный способ, благодаря большому количеству участников на логистическом рынке.

Во-вторых, перевозка объекта производится в стандартизированных металлических ящиках, разработанных с учетом большого диапазона вариативности грузов. Стандартизация в размере и структуре контейнеров позволяет перемещать их на разные виды транспорта такие как: вертолеты, суда, поезда, грузовики. Возможность свободного перемещения контейнера, крайне ускоряет и упрощает процесс перевозки.

В-третьих, контейнерные ящики выполнены из прочных материалов, обеспечивая сохранность груза в течении всего пути от краж, взломов, погодных условий и физических повреждений [9].

Стоит отметить ряд ограничений, которые подразумевают грузовые контейнеры, главным из которых является ограниченность габаритных размеров. Существует два вида контейнеров: длиной 20 и 40 футов или 6 и 12 метров соответственно. Габариты контейнера длиной 20 футов составляют: длина-6.06 метра, ширина-2.44 метра, высота-2.59 метра. Для контейнера в 40 футов: длина-12.19 метра, ширина и высота остаются неизменными. Данная мера связана с задачей повышения потенциала совместимости для большего вида транспорта и существенно оптимизирует глобальные перевозки.

Модульная система, проектируемая с учётом потенциала транспортировки с помощью контейнеров, представляет собой новый подход к созданию строительных жилых объектов. В ходе исследования, направленного на выявление подходящего варианта размещения была разработана 3д модель натуральной величины модульного блока и транспортного контейнера. Далее работа была направлена на подбор самых оптимальных вариантов упаковки, размещения и габаритов модулей. Путем практического подбора было определено, что максимально эффективная вариация расположения конструкции имеет вертикальное размещение модулей, где сторона 1 блока равна 2,5 м.

Такая система позволяет разместить более чем 30 м² жилой площади в одном контейнере, что представляет собой 6 разобранных модулей. С целью оптимизация процесса строительства на месте дислокации объекта был разработан укрупненный модуль, который является в 2 раза больше единичного, с габаритами 2,5х5м, что существенно повышает вариативность планировочных решений здания (Рис. 3.2). Учитывая стандартизированные данные о габаритах перевозочных контейнеров, решение увеличение размеров блоков позволяет разместить 3 единицы модулей с учётом всех необходимых элементов мебели и деталей интерьера.

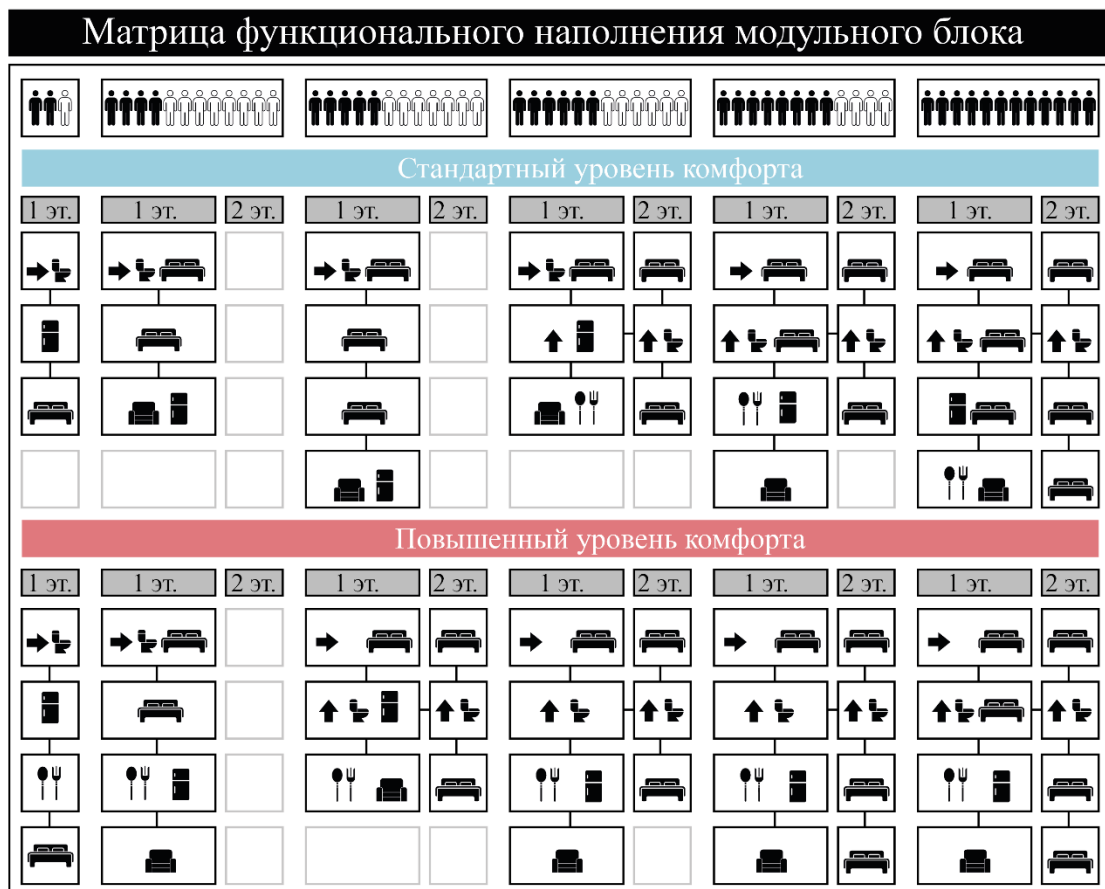
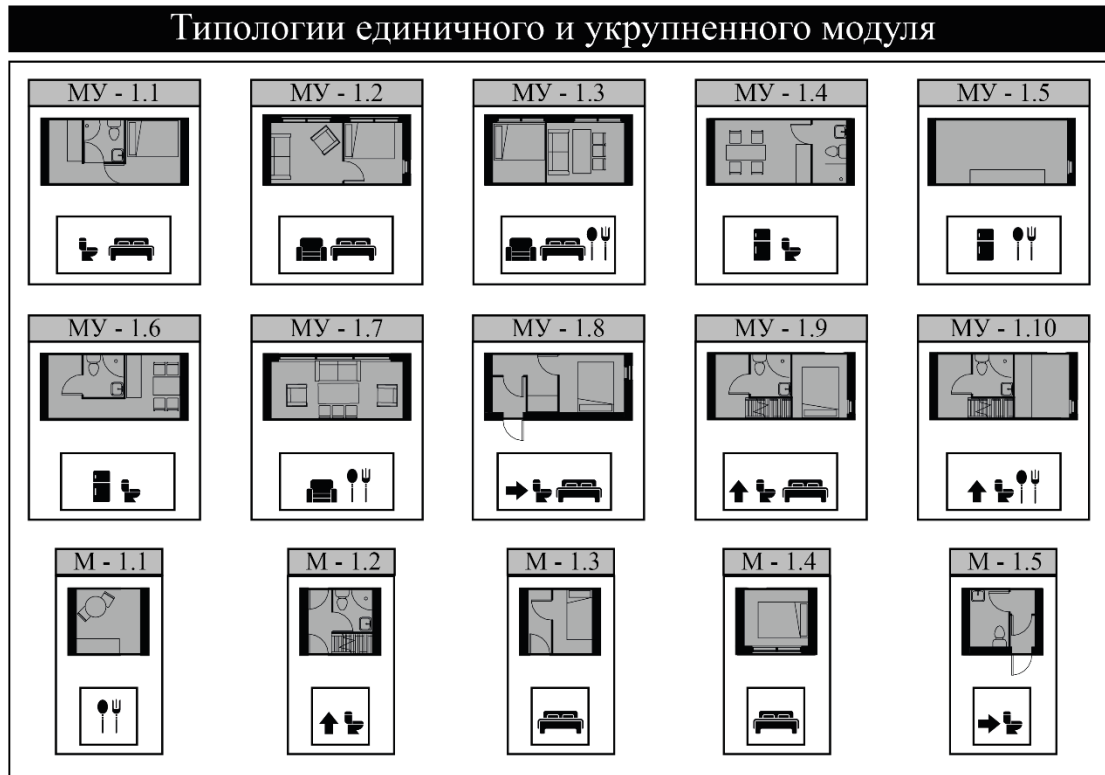


Рисунок 3.2. Схема типологий модульных блоков и вариантов сборки

Особенности сборки модульной системы позволяют осуществлять установку объекта без привлечения крупной строительной техники, что, несомненно, является важным фактором при рассмотрении применения данного вида жилья в труднодоступных местностях. Простота и удобство сборки позволяет установить жилой модуль без привлечения тяжелой техники, используя ручной труд нескольких человек.

Этап сборки основания является первоначальным во всем процессе установки жилого модуля и подразумевает вариативность в выборе архитектурного решения. Возможности модульной системы позволяют выбрать основание конструкции по форме, материалу, и дизайну, руководствуясь не только практическим взглядом, но и эстетическими предпочтениями. В рамках данного исследования, в качестве основания, было принято решения остановиться на треугольных опорах с подвесным креплением модуля, так как данное решение является наиболее технологичным и сложным, совмещая в себе функциональность и визуальную привлекательность. Визуально такая форма основания способствует сохранению культурного кода региона, напоминая чум.

Следующим, после установки опор этапом является сборка жилых модулей, с учётом вариативности желаемых форм и конфигураций планировки строения. Соединение модулей между собой возможно горизонтально и вертикально, что позволяет не только создавать форму, но и менять площадь жилых зон и их расположение относительно друг друга.

Начальный этап процесса сборки модулей заключается в соединении модулей между собой. Конструктивная основа модуля, представляет собой панели, соединенные в углах шарнирным креплением, за счёт чего формируются стены, потолок и пол. Угловые стыки заполняются путём установки специальных пазовых замков, что дополнительно фиксирует конструкцию. При необходимости установки нескольких модулей, следующим этапом является стыковка дополнительной секции.

Конструктивная сборка одного сегмента модуля осуществляется на основе предварительно соединённых ограждающих панелей, которые соединены между собой шарнирным креплением. При раскрытии одного сегмента панели фиксируются под углом 90 градусов, формируя базовый объём модуля, включающий пол, стены и потолок. Такая система трансформации обеспечивает компактность при транспортировке и оперативность монтажа на месте эксплуатации.

Для придания конструкции жёсткости, обеспечения герметичности стыков и улучшения теплоизоляционных характеристик, в углах ограждающие панели дополнительно фиксируются специальными угловыми элементами, которые оснащены пазовыми креплениями, обеспечивающими точное позиционирование и надёжное сопряжение. Внутри угловых соединений предусмотрены технические зазоры, служащие как для прокладки инженерных коммуникаций, так и для маскировки шарнирных соединений, что способствует как функциональности, так и эстетической чистоте внутреннего пространства.

После сборки единичного сегмента модуля, к нему могут быть присоединены дополнительные модули с торцевых сторон, обеспечивая возможность увеличения объёма площадей. В случае, если модуль является крайним, к его торцам монтируются панели-заглушки с остеклением, обеспечивающие завершённый фасад и естественное освещение внутренних помещений.

В процессе сборки каждый модульный сегмент фиксируется на несущей треугольной опоре с использованием стальных тросов. Крепление осуществляется с трёх сторон, что обеспечивает пространственную устойчивость конструкции на этапе монтажа и в процессе эксплуатации, особенно в условиях сильных ветровых нагрузок и неравномерного рельефа, характерных для регионов Крайнего Севера. Тросовая система стабилизирует модуль до окончательной фиксации всех элементов, снижая риск деформации или смещения в процессе сборки. Такой способ крепления также способствует равномерному распределению нагрузок на опору, повышая надёжность и долговечность всей модульной системы.

Конструктивная система соединения модулей основана на пазовом принципе, обеспечивающем точную стыковку и минимизацию теплопотерь. Каждый модуль оборудован выступающим соединительным элементом с одного торца, который соответствует пазу с противоположной стороны модуля, что позволяет собирать их по принципу пазлов. Такое решение обеспечивает не только точность сборки, но и плотное прилегание сопрягаемых поверхностей, что снижает теплопроводность через стыки.

Дополнительную жёсткость и механическую надёжность соединения обеспечивает система фиксации с помощью шпилек, проходящих сквозь соединительные элементы смежных модулей. Эта двухуровневая система, состоящая из шпильки (механическая фиксация) и пазовых соединений (геометрическая сопряжённость) способствует повышению структурной устойчивости сборки, позволяет компенсировать возможные деформации, возникающие при транспортировке и эксплуатации, и обеспечивает универсальность соединений при масштабировании модульной системы. Такой подход делает возможной быструю сборку и разборку конструкции, адаптацию под различные конфигурации и эксплуатационные условия, в том числе в суровом климате Севера.

В ходе проведения экспериментального исследования с помощью 3D моделирования данная система монтажа подтвердила свою целесообразность с учётом соотношения показателей прочности и простоты сборки. Прочность и стабильность конструкции обеспечивается за счёт узловых креплений, в которых, стыковка модулей происходит с учётом заранее предусмотренных отверстий для элементов крепления и представляет собой пазовое крепление. Пазовый метод крепления минимизирует использование дополнительных видов фиксации.

Стены представляют собой сэндвич панели с внутренним утеплителем из лёгкого и эффективного материала полиизоцианурат толщиной 200 мм. Полиизоцианурат не только обладает подходящими характеристиками теплопроводности (0,025 Вт/мк), но и является безопасным и гипоаллергенным для

человека материалом, не выделяющим токсические испарения, также материал стойкий к образованию плесени и грибков. Показатели теплопроводности были вычислены по формулам приведённым в главе 2 и проверены в программе AnTherm, согласно расчётам, толщина стен составляет 300 мм, где 200 мм занимает внутренний утеплитель.

Деревянный каркас модульных блоков предлагает несколько ключевых преимуществ, которые делают строительство более простым, устойчивым и лучше приспособленным к колебаниям температуры - важная особенность для северного климата. Присущие древесине термические свойства обеспечивают отличную изоляцию, уменьшая потери тепла и обеспечивая энергоэффективность в суровых погодных условиях. Кроме того, легкий, но долговечный характер деревянных каркасов упрощает процессы транспортировки и сборки, еще больше повышая эффективность модульной конструкции.

Структура модулей предназначена для бесшовного соединения, обеспечивая гибкие и масштабируемые конфигурации, предлагая различные варианты конструкции как для модулей, так и для треугольных опор, обеспечивая гибкость и адаптируемость к различным средам, эстетическим предпочтениям и функциональным требованиям.

Треугольная опора, лежащая в основе конструкции для фиксации модулей, представляет собой многофункциональный элемент, адаптированный к сложным природно-климатическим условиям Крайнего Севера. Благодаря своей геометрии, опора позволяет устанавливать здание на пересечённый рельеф без необходимости выравнивания участка, что существенно снижает вмешательство в природный ландшафт. Пространственная форма обеспечивает высокую продуваемость грунта, предотвращая накопление снега и способствуя естественной вентиляции грунта, что особенно важно для сохранения вечномёрзлой почвы и предотвращения её деградации.

Визуально, треугольная структура отсылает к традиционным формам северного жилища, таким как чум и яранга, создавая культурную преемственность

и усиливая идентичность архитектурного объекта в контексте северного ландшафта. Опора может быть выполнена как из клеёного деревянного бруса, так и из стальных трубчатых элементов, придающих конструкции технологичный характер и повышающую жёсткость.

Дополнительной функцией треугольной опоры является возможность интеграции автономных энергетических установок. На наклонных поверхностях опоры могут быть закреплены солнечные панели и маломощные ветрогенераторы, что повышает уровень энергообеспечения модулей в удалённых районах.

Приподнятая конструкция обеспечивает эффективное решение для сохранения вечной мерзлоты и поддержания стабильности грунта с течением времени. Подвешивая модули, треугольные столбы создают открытый путь для естественного воздушного потока под каждой конструкцией. Вентиляция позволяет холодному воздуху циркулировать и охлаждать грунт под модулями, дополнительно предотвращая таяние вечной мерзлоты [90].

Помимо предотвращения таяния вечной мерзлоты, система независимых опор позволяет регулировать высоту строительства в соответствии с рельефом местности и грунтовыми условиями. Кроме того, конструкция обеспечивает циркуляцию ветра, что помогает предотвратить снежные заносы и повышает устойчивость здания к сильным ветрам. Аналогичный подход был применен на Антарктической исследовательской станции Халли VI, где гидравлические столбы защищают конструкцию от накопления снега, ветровых давлений и таяния грунта, обеспечивая ее устойчивость и долговечность в экстремальных условиях [73].

Адаптивность модульной системы, предложенной в рамках данной работы, даёт возможность создавать большой спектр вариаций и функциональных решений, учитывающих запрос конкретного потребителя. Регулирование площади, объема, функционального наполнения и уровня вместимости достигается за счёт возможности свободной компоновки блоков жилой системы.

Благодаря независимости модульных блоков и универсальному принципу соединения, они могут быть смонтированы на разных типах опор, от классических

свайных фундаментов и многоточечных опорных систем по типу Triodetic, до индивидуально проектируемых несущих конструкций, включая выразительные архитектурные формы, такие как треугольные рамы или опоры, встроенные в рельеф.

Такая гибкость обеспечивает возможность размещения модульных объектов как на ровных, так и на сложных участках с уклонами, неровным или слабонесущим грунтом. При этом выбор типа основания может быть обусловлен как инженерными параметрами, такими как геология, ветровая нагрузка, глубина промерзания, так и эстетическими или культурными задачами, например, создание архитектурного образа, отсылающего к местной традиции.

Разработанная модель, подразумевает широкий спектр возможных типов опор, выбор которых осуществляется в ходе анализа показателей внешнего воздействия и характеристик грунта, согласно потенциальной местности расположения проектируемого объекта. Вариативность в выборе оснований способствует не только эффективной адаптации конкретного объекта под конкретные требования окружающей среды, но и позволяет создать уникальный архитектурный облик.

Планировочные особенности модуля, где каждая функциональная единица в помещении обладает компактными размерами наряду с функциональностью, что позволяет эффективно использовать ограниченную площадь модуля. Благодаря продуманной внутренней организации пространства, каждый модуль вмещает в себя помещения для технических нужд, работы и отдыха, что позволяет удовлетворить требования к необходимому и желаемому функционалу мобильных жилищ.

Пример рационального сочетания функциональных зон в рамках ограниченного пространства, подразумевающего размещение блоков в контейнере размером 40 футов иллюстрирует Е. Враблова [184]. Предлагаемые блоки могут быть объединены в более крупные структуры для повышения адаптивности и создания уникальных планировочных решений, отвечающих конкретным требованиям жилых комплексов, складских или офисных помещений.

Размеры одного модуля составляют 2,5х2,5 м, благодаря эргономичной компоновке, включающей в себя индивидуальную мебель и трансформируемые перегородки, достигается максимальная функциональность планировочных решений. Для обеспечения большей площади пространств, подразумевающего размещение семей или групп более 2 человек, существует укрупнённый модульный блок с габаритами 2.5м х 5.6м. Планировочные решения с применением укрупнённого модуля, позволяют значительно увеличить вариативность интерьерных решений с возможностью надстройки второго этажа, с вместимостью до восьми человек.

В максимальной комплектации с применением четырёх укрупнённых модулей и четырёх единичных для второго этажа, может комфортно проживать 8 человек. На первом этаже располагается кухня, гостиная, ванная комната, также по необходимости может размещаться спальня. Кухня и гостиная объединены для более рационального использования площадей путем зонирования.

Система организации пространства, предполагающая гибкость конфигурации с учётом пожеланий и потребностей, позволяет организовать комфортное и функциональное жильё и индивидуально настроить пространство согласно поставленной задаче. Основная цель проектируемого модульного жилья – приоритет комфорта над экономичностью [167].

Модульная система учитывает различие в потребностях людей разных социальных групп и предназначена для формирования различных вариаций комбинирования блоков, которые адаптируются к индивидуальным требованиям как одиноких посетителей, так и группе людей. Стандартизация и компактность размеров блоков позволяет сделать их масштабируемыми, ресурсосберегающими, универсальными в применении и легко транспортируемыми [176].

Автономность модульной системы предназначена для обеспечения устойчивости и адаптивности к удалённым и экстремальным условиям, таким как Крайний Север. Каждый модуль оснащен независимым набором солнечных панелей, интегрированных в его конструкцию, обеспечивающих резервную подачу электроэнергии для освещения, отопления и основных функций [187]. Однако для достижения полной

энергетической независимости и поддержки всего комплекса используется система ветряных турбин. Расположенная для максимизации потока ветра, турбина дополняет солнечную энергию, вырабатывая дополнительную энергию, особенно в периоды низкой освещенности или в зимние месяцы, когда эффективность солнечной энергии снижается. Эта гибридная энергетическая система обеспечивает надежное и возобновляемое энергоснабжение круглый год.

Ветрогенерация – один из наиболее перспективных возобновляемых источников энергии для северного климата, характеризующийся сильными ветрами на протяжении всех сезонов [36]. Последние достижения позволили использовать крупномасштабные турбины со значительно более высокой мощностью производства энергии, что делает энергию ветра все более жизнеспособным решением для устойчивых энергетических потребностей в этих регионах [183].

Системы подготовки и сбора воды занимают центральное место в автономности комплекса, который включает в себя механизмы сбора дождевой воды и снега, с системами хранения в изолированных резервуарах для предотвращения замерзания. В дополнение к этому, в зимние месяцы используется система таяния снега, вода фильтруется и обрабатывается через многоступенчатую систему очистки, обеспечивая безопасную питьевую воду для гостей и персонала. Рециркуляция серой воды повышает устойчивость, вода из раковин и душа очищается и перерабатывается для не питьевых нужд. Черная вода перерабатывается с использованием компактных биореакторных систем, что снижает воздействие на окружающую среду и делает обращение с отходами высокоэффективным.

Модульная структура рассчитана на максимальную автономность, способна работать независимо в течение длительных периодов. Симбиоз перечисленных принципов формирует жилую среду повышенного комфорта, экспериментальные визуализации объекта были представлены в исследовании Огородникова С.Н. и Воличенко О.В. «Экспериментальная модульная система повышенного комфорта для условий Крайнего Севера» [18]. Системы умного климат-контроля поддерживают комфорт при минимальном расходе ресурсов. Для улучшения заметности здания в условиях плохой видимости, характерной для снежных бурь и полярных ночей,

используются цветовые акценты на опорах и встроенная система подсветки. Предусмотрено использование альтернативных источников энергии, таких как солнечные панели.

3.3. Рекомендации по проектированию модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

На основе анализа, представленного в первой и второй главах исследования, сформулирован комплекс рекомендаций, направленных на повышение качества, энергоэффективности и устойчивости модульных жилых систем, эксплуатируемых в арктических и приарктических условиях (Рис. 3.3). Предложенные рекомендации могут служить практическим руководством для архитекторов, инженеров и девелоперов, обеспечивая системный подход к проектированию жилья в экстремальном климате.

Проблемы \ Решения	Материалы	Компактность	Приподнят над землёй	Логистика	Модульность	Мобильность	Альтернативные источники	Подсветка	Цвет	Обтекаемая форма	Устойчивые формы	Культурные отсылки	Трансформируемость
Низкие температуры	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Таяние вечной мерзлоты	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Слабая инфраструктура	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Проблемы с логистикой	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Стоимость	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Снежные бури	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ветровые нагрузки	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Полярная ночь	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Полярный день	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Психо-эмоциональная нагрузка	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Отсутствие уникальных объектов	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Культурная идентичность	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Низкий сервис	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Рисунок 3.3. Схема соотношения проблем и рекомендованных решений

1. *Модульность.* Одной из основных рекомендаций для строительства в условиях Крайнего Севера является модульность. Заранее изготовленные конструкции позволяют проводить работы вне стройки, не прерываясь на внешние факторы и погодные изменения. Модульность минимизирует риски, связанные с монтажом и доставкой материалов, строительный процесс становится более предсказуемым, позволяя сократить время реализации проекта и завершить строительство в короткий строительный сезон характерный для Крайнего Севера. Более того, исключение простоев при строительстве, помогает избежать повреждения материалов от погодных условий.

В долгосрочной перспективе важным преимуществом модульных конструкций может стать возможность их повторного применения в новой локации, а в случае износа или непригодности модуля к дальнейшей эксплуатации, повреждённый участок может быть заменён новым без переустройства всей системы, данные преимущества и механизмы регенерации модулей описаны в трудах А.Н. Мушинского [75] и В.А. Рыбаковой [103].

Более того, модульность позволяет эффективнее реагировать на социальные и экономические изменения, в случае необходимости, модульный объект, может быть, с легкостью увеличен за счёт добавления новых секций. В случае станции «Снежинка», которая была подробно описана в первой главе, модули не только упрощают процесс сборки, но и оставляют задел для будущего расширения функционала станции или же наоборот, в случае необходимости, часть модулей может быть перемещена в новую локацию без лишних потерь.

2. *Простота сборки.* Лёгкие материалы предоставляют неоспоримое преимущество, позволяя вести монтаж строительных конструкций без участия тяжёлой техники. Разделенные на секции модули могут быть собраны строителями без использования дорогостоящих кранов и инструментов, более того, подобный подход позволяет ускорить строительство, а отсутствие строительных лесов и техники, повышает уровень безопасности на строительной площадке [116].

Подобный подход применялся при строительстве модульной антарктической станции Халли 6, из-за крупных размеров объекта, полностью избежать применения строительной техники не удалось, но процесс строительства был значительно упрощён за счёт использования заранее изготовленных конструктивных элементов, которые на месте собирались в готовые модули с минимальными затратами на технику и монтажников. Такой подход помог не только ускорить темпы строительства, но и снизить затраты при монтаже.

3. *Междисциплинарное проектирование.* Современные технологии позволяют организовать единовременную работу всех смежных специалистов ещё на стадии проектирования, что значительно упрощают коммуникацию в течение всех фаз строительного процесса, и позволяет не только повысить качество строительства, но и избежать несостыковок, которые могут повлиять на финальное состояние объекта. С помощью дистанционной рабочей среды, проектировщики могут погружаться в строительный процесс быстрее и эффективнее, справляясь со своей задачей без необходимости привлечения сторонних профессионалов, а сам проект получает плавную стадийность переходя от одного отдела к другому, без разбивки на чёткие этапы [145].

4. *Использование самоочищаемых материалов.* Пористые поверхности в экстремальных климатических условиях могут быть проблематичными и дорогими в эксплуатации. Более того, если уход за материалом требует применения опасных химикатов, то значительно повышаются риски для здоровья постояльцев. Самоочищающиеся поверхности, подразумевают что дождь и снег будет отчищать материал от пыли и грязи восстанавливая оригинальный цвет материала и сохраняя экстерьер в чистоте. Специальная структура таких материалов, позволяет понизить маркость и свести к минимуму сам процесс загрязнения.

Опыт эксплуатации бразильской антарктической станции Команданте Феррас наглядно демонстрирует эффективность такого подхода, внешний контур станции собран из многослойных панелей с утеплителем внутри и с облицовкой из металлических листов. Обтекаемая форма станции и металлические фасады

формируют структуру, которая способна к самоочистке и не требуют специального ухода, что сокращает расходы на обслуживание и повышает эффективность строения.

5. *Учёт логистики в габаритных размерах модуля.* На большей территории Крайнего Севера отсутствуют логистические связи, что значительно усложняет не только доставку строительных элементов и материалов, но и влияет на внешний вид финальной продукции. Наиболее оптимальными способами доставки для северных регионов являются вертолетные и речные перевозки, для этого используются грузовые контейнеры, в которых компактно укомплектовываются секции модульного объекта.

Во избежание логистических трудностей, ещё на стадии проектирования необходимо принимать во внимание габариты стандартного грузового контейнера, которые равны 12 м в длину, 2,5 м в ширину и 2,6 м в высоту. Подобный подход позволит избежать не только логистических проблем, но повреждения растительных покровов в следствии использования крупногабаритной техники, что положительно скажется на северной природе, так как на восстановление поврежденного участка могут потребоваться долгие годы.

При строительстве отеля ЛианРус, расположенного на склоне горы Эльбрус на высоте 3912 метров над уровнем моря, архитекторы изначально учли логистические трудности, так как расположение объекта изначально исключает возможность использования тяжелой строительной техники, единственный доступный вариант для доставки модулей на вершину – вертолет. Поэтому авторы проекта спроектировали цилиндрические корпуса, которые учитывают требованиям для доставки с помощью вертолетов по габаритным размерам и весовым характеристикам.

6. *Строительство на сваях.* Грунт, характерный для территорий вечной мерзлоты является хорошим фундаментом для строительства и обладает высоким уровнем прочности, способным выдержать высокие нагрузки. Однако процесс строительства является очень трудоёмким и дорогостоящим, более того

претерпевает сезонные циклы замерзания и оттаивания, в результате чего конструкция подвержена большому риску деформации, образованию трещин и перекосов конструкции, что в свою очередь ведёт к разрушению конструкции.

Основная задача свайного фундамента, приподнять здание над поверхностью земли и сократить до минимума теплопередачу от здания к грунту. Наиболее эффективным является создание воздушного зазора, который может варьироваться от 300мм до 1500мм. Продувание фундамента позволит не только избежать таяния вечной мерзлоты, но и снежных заносов.

Возведение свайных фундаментов значительно снижает риск разрушения здания. Фундаменты данной группы различаются по способу монтажа-забивной, буровой, наливной, винтовой и материалу-деревянные, железобетонные, пластиковые, металлические. На сегодняшний день наиболее востребованным является свайно-винтовой фундамент. К его отличительно выгодным особенностям относятся технология установки сваи, максимально сохраняющая структуру грунта благодаря винтовому наконечнику и высокий уровень прочности сплава из металла, который имеет высокую прочность и способность выдержать большую нагрузку. Выбор определенного вида производится с учётом особенностей конкретно взятой местности и объекта, планируемого к возведению.

7. Компактная форма зданий и эргономичность. Удачный выбор формы и ориентации здания по сторонам света, играют огромную роль в повышении уровня энергоэффективности и экологичности объекта, помогая снизить теплопотери и уровень солнечной радиации. В статье Рубцовой М. В. и Семеновой Э. Е. «Учет влияния формы здания на его энергоэффективность» отражен анализ зависимости между формой здания и его энергоэффективностью [100]. Предпочтительной является квадратная и круглая форма, именно она существенно снижает уровень теплопотерь.

Компактность планировочных решений зданий напрямую связана с повышением энергоэффективности объекта в экстремальных климатических условиях, но если с экстерьерной точки зрения, ограниченные размеры повышают

эффективность, то для интерьерной части здания такие ограничения становятся настоящим вызовом. На сегодняшний день существует множество вариантов повысить уровень функциональности и комфорта даже в самых стеснённых условиях. Использование встроенной и многофункциональной мебели, автоматизированных систем слежения и управления по принципу умный дом, повышают удобство, компактность и функциональность жилья для человека. Температура и влажность помещения в условиях арктического климата играют крайне важную роль для комфортного пребывания человека, поэтому важно предусмотреть системы кондиционирования и увлажнения воздуха.

Эргономика пространства призвана адаптировать интерьер так, чтобы наилучшим образом удовлетворять потребности человека. Определяющими показателями эргономичности пространства является его адаптивность под анатомические, физиологические, психологические и психофизические особенности человека. Проработка освещения необходима для организации эффективного процесса жизнедеятельности человека. Важен не только уровень освещенности, но и распределение и направление световых потоков, цвет света и его цветопередача, что позволяет не только позитивно повлиять на психоэмоциональное состояние человека, но и способствует повышению работоспособности.

Уровень шума в здании также должен учитываться уже на этапе проектирования, и корректироваться по мере пространственного расположения помещений и отводимого под них функционала. Повышенный уровень шума в рабочих зонах и местах отдыха существенно снижает показатели эффективности человека, чтобы избежать негативных последствий следует применять изолирующие материалы и чёткое зонировать жилое пространство.

8. *Обтекаемость и целостность формы.* Традиционные угловатые формы зданий, значительно повышают аэродинамическую нагрузку на объект, что в северных условиях влечет за собой риск повреждения и образования снежных заносов. Обтекаемость строения способствует улучшению не только

аэродинамики, но и микроклимата внутри помещения, за счёт лучшего распределения света и воздушных потоков. Наряду с основными преимуществами обтекаемой формы в виде снижения уровня теплопотерь и снежных заносов стоит отметить и эстетичность данного решения.

Здания имеющие выступающие конструкции в виде балконов, форменных выступов и углублений, существенно искажают симметрию температурного режима строения. Связано это с тем, что данные участки имеет пониженный уровень термического сопротивления, при этом своей формой способствуют повышению уровня напряжения климатических факторов, формируя так называемые «мосты холода», а также задерживая климатические осадки. При разработке проекта стоит минимизировать наличие подобных формы и конструкций в архитектуре здания. Стоит учесть, что в экстремальных условиях плохая герметизация швов конструкции недопустима и в данном случае не рассматривается.

9.Автономность. Применение механизмов, максимально способствующих самостоятельности здания в процессе эксплуатации существенно повышает экологичность, безопасность и снижение уровня затрат на обслуживание систем функционирования здания. Проектирование систем, способствующих соблюдению данного принципа продиктовано в первую очередь отсутствием доступа к централизованным системам водоснабжения и электроснабжения, плохой логистической доступностью. В условиях Крайнего Севера актуально говорить об активном использовании солнечной и ветровой энергии.

С помощью установки солнечных батарей и ветрогенераторов можно полностью обеспечить здание возобновляемыми энергоресурсами. Солнечные батареи отличаются типом используемых при производстве полупроводниками: монокристаллические имеют самую высокую эффективность, но являются самыми дорогими; поликристаллические оптимальный вариант по соотношению цены и эффективности; тонкоплёночные, имеют меньшую эффективность, но в тоже время

более доступную стоимость, самый лёгкий вес и высокий уровень гибкости при установке, что позволяет их использование на большем спектре поверхностей.

Ветрогенераторы имеют высокую эффективность при выработке энергии, путем преобразования энергии ветра, что в условиях Крайнего Севера имеет высокий потенциал использования в виду сильных ветров. Ветрогенераторы различаются по направлению рабочего механизма к источнику и бывают горизонтальные и вертикальные, что влияет только на решения вопроса по установки конструкции.

Оба способа выработки энергии хорошо себя зарекомендовали и являются экологичными и экономически целесообразными. Солнечные батареи отличает бесшумность и долговечность. Ветрогенераторы являются более эффективными с точки зрения коэффициента энергопроизводства и возможностью работать в любое время суток. При разработке проекта стоит рассматривать комбинирование обеих форм генерации.

10.Световые акценты и архитектурная подсветка. Акцентирование возведенного объекта при помощи цветовых и световых решений выполняет наиважнейшую функцию, связанную с безопасностью объекта – видимостью и различимостью во время полярных ночей и снежных бурь. В условиях критических климатических условий наряду со стратегической важностью построек, безопасность является ключевым моментом для жизни людей и функционирования зданий.

Применение цветовых решений существенно повышает не только видимость объекта на фоне колористически однообразного пейзажа, в котором преобладают холодные оттенки природы – белый снег, серое небо и отсутствие зелени. Но и положительно влияет на психическое состояние человека. Во время активного освоения пространства вечной мерзлоты в советское время, вопросу эстетики и колористики уделялось не так много внимания, из-за стоящих более важных задач перед архитекторами того периода. В своей работе «Особенности формирования цветовой среды северных городов России» Н.Г. Панова детально исследует и

доказывает значимость цвета, и его необходимость как инструмента, воздействующего на человека своими компенсирующими и стимулирующими свойствами [88].

11. *Ориентация здания с учётом сторон света.* Для повышения энергоэффективности необходимо учитывать расположение объекта согласно сторонам света. Данный принцип позволяет учесть траекторию движения солнца, что существенно влияет на возможность оптимизации использования тепла и света. При проектировании здания для более детальной проработки данного принципа, необходимо рассчитать максимально точные данные о характере климатического воздействия согласно сторонам света с учётом розы ветров, уровня солнечного излучения и т.п.

Существует ряд базовых рекомендаций. Южная сторона – это наиболее освещенное место, что в условиях Арктики гарантирует самый высокий уровень освещенности и прогрева здания. Также южное направление рекомендуется использовать для организации входа в здание, так как данная ориентация считается подветренной. Более теплый воздух и меньшие воздушные потоки будут способствовать сохранению тепла.

Северная сторона противоположна по своим характеристикам южной, что следует учесть для энергосберегающего проектирования, в данном направлении можно ориентировать помещения, позволяющие отсутствие света и пониженную температуру (складские помещения, гаражи, котельные). Восточная сторона ценна своим расположением тем, что первые лучи солнца попадают именно в помещения, расположенные на этой стороне, что позитивно влияет на биоритмы и эмоциональное состояние людей. В данном направлении хорошо размещать спальные отделения, столовые, комнаты отдыха. Однако, стоит учесть, что восточная сторона имеет большую степень охлаждения, что влечет за собой ограничение потенциала на установку окон. Западная сторона отличается влажностью и стоит предусмотреть этот факт, при распределении жилого пространства.

12. *Применение озеленения и рельефа.* Роль организации дружелюбной среды в Арктических условиях на сегодняшний день крайне важна. Создание ландшафта не только значительно снизит уровень эмоционального напряжения, связанного с однотипным пейзажем, но и поможет в борьбе с сильными ветрами и снежными заносами. Выбор ветрозащитных насаждений достаточно ограничен, но существуют растения, для которых суровый климат является подходящей средой обитания. Стоит обратить внимания на карликовые кустарники такие как арктическая ива и багульник, которые отличаются своей выносливостью к низким температурам и сильным ветрам. Рекомендуется использовать в качестве ресурсов для соблюдения данного принципа каменные насыпи и ограждения, они хороши как крайне стойкие и экологичные заградительные сооружения. В статье «Истоки органичности северной архитектуры» Лыткин К.А. затрагивая возможность использования натуральных материалов при строительстве объектов и приводит примеры ландшафтных решений территорий Крайнего севера.

13. *Соблюдение культурного кода региона.* Освоения севера — это удивительная и опасная страница истории, требующая от человека огромных интеллектуальных затрат, психологической и моральной стойкости. Все архитектурные новаторства в данном направлении развивались с опорой на опыт коренных народов, их нетривиальный подход и единение с природой. Важность поддержания в облике зданий традиционного стиля, на сегодняшний день актуальна с точки зрения сохранения истории России и привлечения внимания к пути развития домоустройства малочисленных народов Крайнего Севера. Включение элементов традиционной отделки, украшения интерьера и фасадов здания будет способствовать решению такой социально важной задачи.

Представленные группы принципов и приёмы, которые они в себя включают отвечают основным факторам, влияющим на строительство в условиях Крайнего Севера. Ряд принципов может отвечать на несколько факторов одновременно, эта взаимосвязь продемонстрировано на рисунке 3.4.

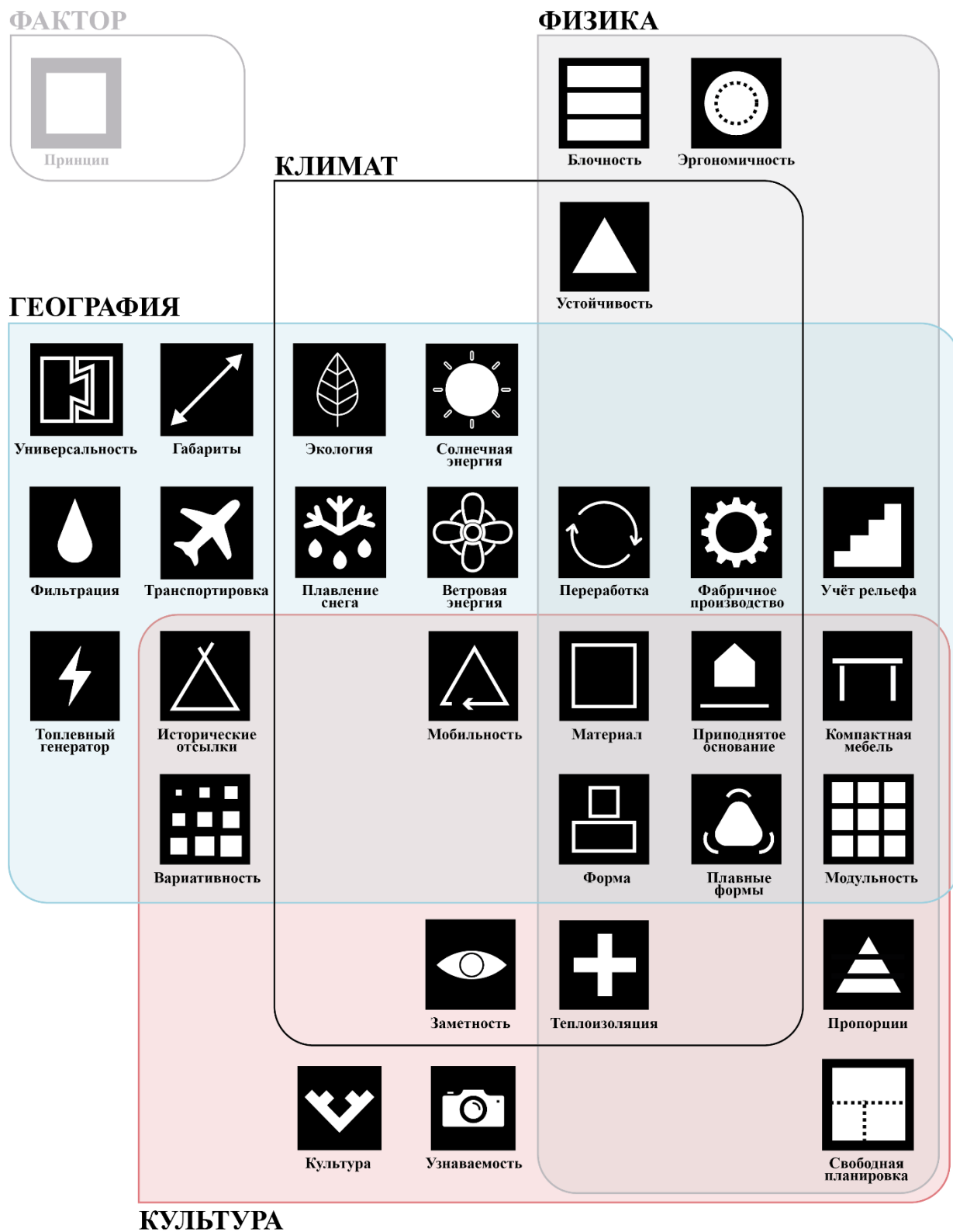


Рисунок 3.4. Схема взаимодействия принципов и факторов строительства в условиях Крайнего Севера

На основе выработанных принципов была разработана модульная система. Основной задачей при разработке данного решения было не только создание жилой единицы с учётом выведенных принципов мировой и отечественной практики, но и актуализация данного объёма к условиям климата северной части России и разработка уникального стиля в местной айдентике. Ниже представлена краткая формулировка изложенных рекомендаций, разбитая по группам.

1. Рекомендации градостроительной организации:

– Интеграция модульных районов в городскую структуру. Модульные жилые комплексы следует включать в общую систему городской застройки. Такая интеграция повышает гибкость жилищного фонда, позволяет оперативно реагировать на миграционные изменения и способствует комплексному развитию территорий.

– Формирование ветрозащитного буфера. Для снижения ветровых нагрузок и улучшения микроклимата рекомендуется создавать защитные пояса из озеленения, фасадных экранов и зданий второстепенного назначения, формирующих ветрозащитные фронты. Буферные зоны могут также выполнять функцию защиты от снежных бурь, предотвращая занос входных групп и дворовых пространств.

– Компактное размещение объектов. Здания следует располагать в тесной взаимосвязи, минимизируя расстояния между функциональными объектами и обеспечивая логичную пешеходную сеть. Компактная застройка снижает теплопотери, способствует энергоэффективности поселения и уменьшает эксплуатационные издержки на содержание инфраструктуры.

– Ориентация по сторонам света и розе ветров. Планировочная структура комплекса должна учитывать преобладающие направления ветров и солнечную инсоляцию. Входы рекомендуется размещать со стороны, защищённой от господствующих ветров, а жилые помещения — ориентировать на юг и восток для максимального использования естественного освещения и солнечного тепла.

2. Рекомендации объемно-пространственной организации:

– Использование заводской готовности модулей. Основу проектирования должны составлять сборные модули, изготавливаемые в заводских условиях. Это обеспечивает высокое качество изготовления, снижает зависимость от климатических факторов, сокращает сроки монтажа и минимизирует строительные риски, связанные с экстремальными температурами.

– Аэродинамические формы и приподнятые входы. Объём зданий рекомендуется выполнять с закруглёнными или наклонными поверхностями, которые снижают ветровое сопротивление и препятствуют образованию снежных заносов. Приподнятые входные площадки и лестничные пролёты защищают от наледи и повышают безопасность в зимний период.

– Габариты конструкций. Габариты отдельных модулей должны соответствовать стандартным размерам грузовых контейнеров (приблизительно $2,5 \times 2,5 \times 12$ м), что обеспечивает возможность их транспортировки всеми видами транспорта упрощая логистику поставок.

3. Рекомендации архитектурно-планировочной организации:

– Гибкость и трансформируемость планировочных решений. Внутренние пространства должны проектироваться с возможностью изменения конфигурации помещений в зависимости от состава семьи, назначения здания или сезонной эксплуатации. Это может обеспечиваться за счёт модульных перегородок, мобильной мебели и унифицированных узлов сопряжения.

– Эргономика и безопасность планировок. Организация внутреннего пространства должна соответствовать принципам эргономики, исключать пересечение функциональных потоков и обеспечивать удобство эксплуатации. Важным является соблюдение нормативных требований по эвакуации и противопожарной безопасности.

– Компактная и трансформируемая мебель. Использование встроенной, складной и многофункциональной мебели позволяет оптимально использовать ограниченную площадь, сохраняя комфорт и визуальную лёгкость интерьера.

– Размещение тепловых тамбуров. На входах в здания и блок-секции рекомендуется предусматривать тамбуры и буферные зоны, снижающие теплопотери и защищающие помещения от сквозняков, что особенно важно при низких температурах и сильных ветрах.

4. Рекомендации по конструктивным решениям:

– Свайные и приподнятые фундаменты. Применение свайных оснований обеспечивает продуваемость подпольного пространства, предотвращает нагрев и оттаивание вечномёрзлых грунтов, что исключает деформации конструкции и повышает долговечность объекта.

– Интеграция систем энергообеспечения в конструкцию. Каркас здания должен предусматривать возможность крепления солнечных панелей, ветрогенераторов и иных энергетических установок, что позволит обеспечить автономность комплекса без значительного увеличения нагрузки на несущие элементы.

– Использование эффективных теплоизоляционных материалов. Рекомендуется применять полиизоцианурат, аэрогель или вакуумные панели, обладающие низким коэффициентом теплопроводности при минимальной толщине. Это позволяет снизить массу конструкции и уменьшить габариты модулей без потери теплоэффективности.

– Применение лёгких сборных материалов. Выбор материалов должен обеспечивать возможность сборки без использования тяжёлой техники. Это ускоряет монтаж и повышает безопасность работ в условиях низких температур и ограниченной транспортной доступности.

– Долговечность и простота обслуживания. Внешние покрытия и фасадные материалы должны быть устойчивыми к загрязнениям, воздействию ультрафиолета и ветровой эрозии. Использование самоочищающихся и антикоррозионных покрытий снижает эксплуатационные затраты и продлевает срок службы зданий.

5. Рекомендации по повышению энергетической эффективности:

– Компактные энергоэффективные формы. Оптимальными считаются формы с минимальной площадью наружных ограждений при заданном внутреннем объёме — куб, цилиндр или шар. Такие конфигурации способствуют снижению теплопотерь и экономии энергетических ресурсов.

– Минимизация площади наружных стен и окон. Количество и размеры оконных проёмов следует ограничивать, используя только функционально необходимое остекление. Это уменьшает теплопередачу и способствует сохранению внутреннего тепла.

– Использование возобновляемых источников энергии. Для обеспечения автономности комплекса целесообразно применять солнечные панели, ветрогенераторы, а также гибридные системы с накопителями энергии. Эти решения повышают устойчивость жилья при перебоях в централизованном энергоснабжении.

– Системы водоочистки и повторного использования ресурсов. Следует внедрять локальные системы фильтрации и повторного использования серых вод, что позволяет сократить водопотребление и повысить автономность зданий в районах с ограниченными ресурсами.

– Повышенная теплоизоляция и энергоэффективные окна. Ограждающие конструкции должны иметь высокий уровень теплоизоляции. В остеклении рекомендуется применять стеклопакеты с аргоновым наполнителем и низкоэмиссионными покрытиями, уменьшающими потери тепла.

6. Рекомендации композиционно-художественной организации:

– Учёт культурного наследия и локальной айдентики. Архитектурный облик зданий должен отражать специфику северных регионов, включая мотивы традиционного зодчества коренных народов, использование орнаментов, текстур и природных материалов. Это формирует чувство идентичности и связи с местной культурой.

– Цвет и свет как элементы навигации. В экстремальных условиях полярной ночи и снежных бурь фасады зданий должны иметь цветовые акценты и

встроенные световые указатели, облегчающие ориентацию и повышающие безопасность жителей.

– Психологический комфорт и гармония с природой. Применение природных оттенков, тёплых материалов и мягкого контрастного освещения благоприятно воздействует на эмоциональное состояние человека, снижая стресс и ощущение изоляции в условиях полярного климата.

Выводы третьей главы

Строительство на Крайнем Севере – это сложный и многоуровневый процесс, требующий учёта как климатических условий региона, так и специфики взаимодействия инженерных конструкций с вечной мерзлотой и сильными ветрами. Применение инновационных строительных технологий, таких как использование обтекаемых форм и продвинутых теплозащитных материалов, позволяет минимизировать риски и увеличить энергоэффективность зданий.

Внедрение возобновляемых источников энергии, таких как ветряные и солнечные установки, может повысить автономность регионов и снизить зависимость от внешних поставок топлива. Более того, частота и сила местных ветров в совокупности с полярным днём, делает альтернативные источники энергии эффективными.

Объединяя связи с народной архитектурой и адаптируя традиционные формы, эта модульная система предлагает уникальный подход к устойчивому жилью, который отражает идентичность и культуру региона, поднимая вопросы о роли культурной аутентичности в современной устойчивой архитектуре и ее влиянии на признание сообщества.

Еще один важный вопрос связан с логистикой использования перепрофилированных транспортных контейнеров в качестве структурной основы для модульных блоков. Одной из основных проблем, вызывающих озабоченность,

является трудность возвращения порожних контейнеров в производственные центры, особенно в регионах с ограниченной транспортной инфраструктурой. В тех случаях, когда возвращение контейнеров в логистический центр является сложной задачей, они могут быть перепрофилированы для бытовых зданий или хранилищ [178].

Солнечные панели и ветряные турбины, сталкиваются с пониженной эффективностью из-за длительных периодов темноты и порывистых ветров, что вызывает вопрос, какие альтернативные источники энергии и системы могут быть применены в таких условиях. Одним из лучших примеров автономного здания, предназначенного для экстремальных северных условий, является Антарктическая исследовательская станция «Принцесса Элизабет», которая использует как солнечные, так и ветровые источники энергии [155].

Одно из преимуществ и путей для будущего развития модульной строительной системы, что она может выйти за рамки потребностей Земли, вызывая провокационные дискуссии о ее потенциальном применении в внеземных средах, таких как Марс или Луна. Согласно исследованиям, модульное строительство, наряду с 3D-печатными зданиями, является одним из наиболее перспективных подходов для достижения этой цели.

В заключение следует отметить, что предлагаемая модульная жилищная система для отдаленных северных условий не только решает насущные логистические и экологические проблемы, но и стимулирует критический дискурс в области устойчивого и контекстуального проектирования, логистики и внеземной колонизации. Расширяя границы модульного строительства, эта работа подчеркивает пересечения между традиционными архитектурными знаниями и передовыми инновациями, способствуя более широкому диалогу о будущем устойчивых и адаптивных строительных систем. Основные преимущества представленной модульной системы:

- эффективная транспортировка и логистика, благодаря соблюдению размеров контейнеров модульные блоки позволяют оптимизировать перевозки с использованием

стандартного отгрузочного оборудования, облегчая быструю и экономически эффективную доставку в отдаленные места;

- адаптивность и масштабируемостью, гибкая конструкция позволяет собирать блоки в различные конфигурации, которые могут расширяться по мере необходимости, что делает их подходящими для различных целей, от жилых и рабочих мест до медицинских и складских помещений;

- экономия времени и труда, сборные компоненты обеспечивают быстрое развертывание, требуя минимальных технических знаний для сборки, что особенно ценно в отдаленных районах или районах с высоким спросом;

- возможность установки на различные опоры расширяет область применения системы, делая её адаптивной к разным условиям местности и функциональным потребностям.

Нацеленность на туризм приводит данную систему в соответствие высоким стандартам отельного бизнеса, и как следствие, делает возможным применение данной модели в других сферах, таких как вахтовое и временное жилье на время чрезвычайных происшествий и прочих жилищных кризисов.

Данная модель актуальна не только для территорий Крайнего Севера, с незначительными модификациями она может применяться в любых экстремальных условиях и труднодоступных местах, включая пустыни, засушливый климат и горные местности. Заложенные принципы могут найти своё применение в колонизации космических объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящим исследованием решена важная для архитектурной науки задача - выявлены особенности архитектурного формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера. Проанализирован исторический и современный опыт строительства в экстремальных северных условиях, определены основные этапы развития архитектуры и градостроительства в арктических условиях, сформулированы основные факторы, влияющие на архитектурно-планировочные решения. Это позволило сделать следующие выводы:

1. Предложено деление исторического опыта проектирования в условиях Крайнего Севера на 5 этапов согласно временным, политическим и экономическим особенностям каждого периода.

– первый этап – до 1930 г. Доиндустриальное развитие Севера, характеризуется строительством традиционных жилищ (чумы, яранги, балок), использованием местных материалов, отсутствием инженерных систем и сезонным характером строительства;

– второй этап – с 1930 по 1950 гг. Характеризуется началом массового строительства посёлков, которые застраивались типовыми деревянными и щитовыми домами, конструкции и материал которых не были рассчитаны на использование в климате арктических пустынь и тундры;

– третий этап – с 1960 по 1980 гг. Глубокое изучение и исследование особенностей региона, разработаны первые нормативы строительства в условиях вечной мерзлоты, а также рекомендации по теплоизоляции и ориентации зданий с учётом солнечного и ветрового режима;

– четвёртый этап – с 1990 по 2010 гг. Характеризуется спадом строительства, и деградацией инфраструктуры, появляются первые попытки поиска северной архитектурной идентичности;

– пятый этап – с 2010 г. по настоящее время, определяется возрождением интереса к Арктике, но с более прагматичным и сбалансированным подходом, переход к концепции устойчивого развития, энергоэффективности и адаптивной архитектуре.

Выявлены наиболее эффективные приемы строительства каждого этапа (компактность и обтекаемость форм, приподнятые над землёй основания, мобильность, модульность, простота строительства). Определены сходства и различия отечественного и международного опыта освоения северных территорий.

2. Доказано, что модульные жилые системы имеют высокий потенциал и демонстрируют высокую эффективность в экстремальных условиях, так как они могут быть адаптированы под конкретные требования северного климата и имеют оптимальную логистическую цепочку. Модули можно легко транспортировать и собирать на месте, что упрощает строительство в труднодоступных местах с ограниченной инфраструктурой.

3. Сформирована экспериментально-теоретическая модель стыковки модулей, которая повышает степень гибкости планировочных решений модульных систем, что позволяет расширять или уменьшать площадь жилых пространств в зависимости от потребностей. Данная особенность повышает универсальность модульного домостроения, снижает экономические риски и отвечает на вызовы маятниковой миграции свойственной северному региону. В основу системы легла пазовая система стыковки модулей, которая повышает универсальность каждой стыковочной единицы.

4. Выявлены подходы для обеспечения полной автономности модульных зданий, что особенно важно в удалённых районах. Это включает использование возобновляемых источников энергии таких как ветровые турбины, солнечные панели, систем автономного водоснабжения и канализации, что даёт возможности обеспечения жильцов максимальным комфортом в местах без постоянного доступа к внешним ресурсам. Использование энергосберегающих технологий и изоляционных материалов позволяет значительно снизить энергозатраты на

отопление и поддержание комфорта в жилых помещениях. На основе уже существующих примеров доказана эффективность и корректность предложенных решений.

5. Сформулированы климатические, градостроительные, конструктивные, социокультурные и логистические особенности Крайнего Севера, влияющие на проектирование, строительство и эксплуатацию жилых систем в северных регионах. Из климатических факторов выделены следующие особенности, оказывающие наибольшее влияние на архитектуру в северных регионах: низкие температуры, сильные ветра, снежные бури и туманы, грунты и вечная мерзлота, полярные ночи и недостаток солнечного света, обилие снега. Градостроительные особенности вытекают из климатических и геологических характеристик территории и характеризуются очаговым расположением поселений, формированием ветрозащитных фронтов за счёт расположения зданий и слабо развитыми транспортно-пешеходными маршрутами. Конструктивные особенности также в первую очередь являются ответом на экстремальные климатические условия и заключаются в приподнятых основаниях зданий и свайных фундаментах, мобильности и секционности объектов, устойчивости конструкций к ветрам и снежным заносам. К социокультурным принципам отнесены особенности построения быта коренных народов севера и социальная структура общества, где весомую часть занимают вахтовые рабочие. Логистические особенности обозначены отсутствием сухопутных связей с центральной и южной частью России и низкой развитостью дорожной сети в регионе, доставка грузов осуществляется преимущественно воздушным транспортом, что накладывает габаритные ограничения на доставляемые грузы.

6. Систематизированы рекомендации по проектированию строительству и эксплуатации модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера, на основе выявленных особенностей региона. Выведенные рекомендации отвечают на климатические, логистические, экономические, конструктивные, социокультурные и психологические вызовы региона и включают в себя такие принципы как:

модульность, продуваемость грунта, компактность формы, ветроустойчивость, расположение и ориентацию в пространстве, заметность и навигацию, колористику, логику, обтекаемость формы, автономность, аутентичность, экологичность, быстроту установки, лёгкость в обслуживании и гибкость планировочных решений.

7. Предложена теоретико-экспериментальная модель модульной жилой системы для условий Крайнего Севера, разработанная с учётом выведенных рекомендаций. Проектное предложение выполнено для пригорода Норильска и представляет собой модульную жилую систему повышенного комфорта. Разработаны вариации планировочных решений и внешнего вида системы. Предложенная модель сочетает в себе выведенные ранее рекомендации и является мобильной и трансформируемой, культурный код региона отражён в пирамидальной форме опор и в отсылках к местным узорам и орнаментам, автономность комплекса обеспечивается за счёт применения солнечных батарей и ветрогенераторов, снегоплавильных машин, систем фильтрации воды и септиков. Габаритные размеры модулей и составных сегментов упрощают логику системы от завода до строительной площадки. Продуманные интерьерные решения с учётом эргономики пространства отвечает физиологическим и психоэмоциональным потребностям жильцов. Данная система имеет уникальный дизайн что повышает её привлекательность для туристов.

Рекомендации по применению результатов исследования. Результаты данного исследования обладают высокой практической значимостью и могут быть эффективно использованы как в научной, так и в образовательной сферах. Они представляют интерес для высших учебных заведений по направлениям подготовки «Архитектура» (07.03.01), а также по инженерным специальностям.

Полученные материалы могут служить основой для разработки учебных программ, лекционных курсов и проведения научных исследований в области архитектуры, строительных конструкций и модульного домостроения. Результаты исследования нашли отражение в научных публикациях и были представлены на

международных конференциях, что способствует распространению знаний среди специалистов.

Практическая ценность исследования особенно выражена в возможности применения его результатов при проектировании жилых объектов в условиях Крайнего Севера и строительства модульного жилья в труднодоступных и удалённых регионах, для повышения эффективности проектирования и эксплуатационных характеристик таких объектов.

Перспективы дальнейшей разработки темы. В исследовании раскрыта важность дальнейшей разработки модульных жилых систем, имеющих большие перспективы для развития в условиях Крайнего Севера. Такие системы являются не только жизненно важными для изолированных районов, но и имеют потенциал для значительного улучшения качества жизни, за счёт энергоэффективности, экологичности и гибкости. При дальнейшей разработке, данные предложения могут лечь в основу поселений и колоний на других планетах и в прочих экстремальных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов, Ю. А. Технология быстрой сборки бытовых модулей для районов Крайнего Севера / Ю. А. Абрамов, А. С. Ларькина, С. А. Фомичёва // Вестник политеха. – 2023. – С. 20.
2. Агранат, Г. А. Зарубежный Север: очерки природы, истории, населения и экономики районов / Г. А. Агранат. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 320 с.
3. Адаев, В. Н. Трансформация культуры: современные материалы и технологии в жизни тундровых ненцев-оленьеводов Ямало-Ненецкого автономного округа / В. Н. Адаев // Вестник археологии, антропологии и этнографии. – 2018. – №. 3 (42). – С. 158-168.
4. Александрова, Н. И. Современная технология сбережения тепла в доме / Н. И. Александрова // Научные исследования: теория, методика и практика. – 2017. – С. 210-211.
5. Алексеев, А. Н. Использование криогенных ресурсов в традиционной хозяйственной деятельности якутов / А. Н. Алексеев, А. А. Сулейманов // Человек и культура. – 2023. – №. 3. – С. 40-49.
6. Барчугова, Е.В. Принципы реновация арктического субцентра на примере г. Дудинка / Е.В. Барчугова, С.Т. Габитов // Architecture and Modern Information Technologies. – 2022. №2(59). С. 111–128.
7. Белых, А. Н. Вакуумные изоляционные панели как наиболее современный вид теплоизоляции в строительстве / А. Н. Белых, И. А. Астахов, Т. Б. Небож // Перспективы науки. – 2020. – №. 10. – С. 183-185.
8. Богораз, В. Г. Материальная культура чукчей: авторизованный перевод с английского / В. Г. Богораз; Акад. наук СССР, Ин-т этнологии и антропологии им. Н. Н. Миклухо-Маклая, Архив Акад. наук СССР. - Москва: Наука, 1991. – 222с.

9. Булатова, Е. К. Архитектура туризма и туристических комплексов : Электронное издание / Е. К. Булатова, О. А. Ульчицкий. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2017. – 84 с. – EDN YMZGZT.
10. Бушуев, В.В. Энергетическая инфраструктура Арктической зоны Российской Федерации / В.В. Бушуев, Т.С. Габдерахманова, М.О. Моргунова, Л.В. Нефедова, Д.А. Соловьев //– Москва: ИД «Шанс». – 2019. – 146 с.
11. Вайнштейн, С. И. Проблемы истории жилища степных кочевников Евразии / С. И. Вайнштейн //Советская этнография. – 1976. – №. 4. – С. 42-62.
12. Варламова, Н. Ю. Строительство в условиях Крайнего Севера / Н. Ю. Варламова и др. // Энигма. – 2019. – Т. 1. – №. 8-1. – С. 359-383.
13. Варфоломеев, Ю. А. Особенности проектирования и строительства малоэтажных домов в Арктике / Ю. А. Варфоломеев //Арктика и Север. – 2014. – №. 17. – С. 28-43.
14. Винницкий, М. В. Подходы к организации архитектурно-градостроительной среды в суровых условиях северных регионов / М. В. Винницкий //Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2023. – №. 3 (58). – С. 37-43.
15. Воличенко, О. Архитектура жилых систем в условиях Крайнего Севера / О. Воличенко, С. Огородников, И Абдо // Проект Байкал. – 2024. – Т. 21, № 82. – С. 145-153. – DOI 10.51461/issn.2309-3072/82.2447.
16. Воличенко, О. В. Влияние мейнстримов западного авангарда в архитектуре Центральной Азии / О. В. Воличенко // Архитектон: известия вузов. – 2013. – № 1(41). – С. 3.
17. Воличенко, О. В. Мобильная модульная система для труднодоступных регионов / О. В. Воличенко, С. Н. Огородников, И. Халиль // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. –2024. –№2. – С. 76-87.
18. Воличенко, О. В. Экспериментальная модульная система повышенного комфорта для условий Крайнего Севера / О. В. Воличенко, С. Н. Огородников //

Academia: архитектура и строительство. – 2025. – № 3. – С. 52-61. – DOI 10.22337/2077-9038-2025-3-52-61.

19. Выворотнюк, А. Г. Полярная станция / А. Г. Выворотнюк, Н. В. Шилкин // Здания высоких технологий. – 2018. – № 3. – С. 56–63.

20. Гагарин, В. Г. О нормировании теплопотерь через оболочку здания / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 279-286.

21. Галеев, С. А. Архитектура и сохранение культурного наследия Арктики / С. А. Галеев // Культурное наследие России. – 2017. – № 4. – С. 21-28.

22. Голиков, Ф. Ф. Художественный образ современных туристических гостиниц, расположенных в горной местности / Ф. Ф. Голиков, В. А. Бродягин // Дизайн и архитектура: синтез теории и практики. – 2018. – С. 43-49.

23. Головнёв, А. В. Арктический этнодизайн / А. В. Головнёв // Уральский исторический вестник. – 2017. – № 2. – С. 6-15.

24. Гонтарь, Е. В. Формирование колористики северных городов / Е. В. Гонтарь, М. А. Турובה, М. А. Фролова // Scientific journal “Academia architecture and construction. – 2020. – С. 97-101.

25. Гончаров, Ю. М. Эффективный тип фундамента для строительства на многолетнемёрзлых грунтах / Ю. М. Гончаров // Наука и техника в Якутии. – 2004. – № 1 (6). – С. 20-23.

26. Гордеева, З. И. Жилища кочевников как образец рациональности и энергоэффективности / З. И. Гордеева, К. В. Куксин // Энергия: экономика, техника, экология. – 2013. – № 12. – С. 56-62.

27. Гребенец, В. И. Влияние специфического режима снежных отложений на вечномёрзлые основания в городах криолитозоны (на примере Норильского региона) / В. И. Гребенец, В. А. Толманов // Лёд и снег. – 2021. – Т. 61. – № 3. – С. 457–470.

28. Гурвич, И. С. Этническая история северо-востока Сибири / И. С. Гурвич, В. О. Долгих // Москва: Наука, 1966. – 269 с.

29. Давыденко, А. А. Технологические решения по выгрузке контейнерных грузов на необорудованное побережье в условиях Арктики / А. А. Давыденко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. – 2016. – №. 5 (39). – С. 7-19.
30. Давыдов, В. Н. Контейнеризация Арктики: мобильные модули освоения пространства на Крайнем Севере / В. Н. Давыдов // Кунсткамера. – 2020. – №. 3 (9). – С. 121-129.
31. Деев, Д. В. Оценочное сравнение технологий строительства каркасно-модульных зданий / Д. В. Деев, Ю. И. Тилинин // Colloquium-journal., 2024. – №. 10 (203). – С. 4-8.
32. Дементьев, Н. М. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта / Н. М. Дементьев и др. // Инженерный вестник Дона. – 2023. – №. 4 (100). – С. 402-434.
33. Демидов, Н. Э. Антарктида как полигон для отработки пилотируемых экспедиций на Луну и Марс / Н. Э. Демидов, В. В. Лукин // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. – 2017. – Т. 51. – №. 2. – С. 117-135.
34. Джимова, С. Б. Принципы и тенденции развития туристического комплекса в регионах Российской Федерации / С. Б. Джимова // Естественно-гуманитарные исследования. – 2019. – № 26(4). – С. 93-97. – EDN FBCPDC.
35. Днепровский, К. А. К вопросу о конструктивных особенностях жилищ древних эскимосов по материалам археологии, этнографии и изобразительным источникам / К.А. Днепровский, Е.Г. Дэвлет // Проблемы истории, филологии, культуры. – 2017. – №. 3 (57). – С. 210-251.
36. Елистратов, В. Power supply in the Arctic with use of renewable energy sources / В. Елистратов // Delov. Zh. Neftegaz. 2023. №. 133. – С. 74–79.
37. Жиренков, А. А. Основные требования к физико-механическим свойствам строительных тепло-и гидроизоляционных материалов при их эксплуатации в условиях севера России / А. А. Жиренков // Север России: стратегии

и перспективы развития: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. 2016. – С. 87-90

38. Жукова, Ж. С. Проблемы анализа изменения среднесуточных температур на примере станции Амундсен-Скотт / Ж. С. Жукова // Общество, образование, наука: современные тренды. – 2022. – С. 221-225.

39. Заболотник, С. И. Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике / С. И. Заболотник // Наука и техника в Якутии. – 2022. – №. 1. – С. 73-77.

40. Завалей, М. В. Анализ вакуумных стеклопакетов и особенности их применения / М. В. Завалей, Р. В. Домасевич // Молодежь и научно-технический прогресс. – 2020. – С. 238-240.

41. Загоруйко, А. В. Трансформация жилищ азиатских эскимосов в XIX-XX вв / А.В. Загоруйко // Вестник КРАУНЦ. Гуманитарные науки. – 2005. – №. 2. – С. 58-63.

42. Здание высоких технологий. Полярная станция Команданте Феррас. Второе рождение: [электронный журнал]. URL: http://zvt.abok.ru/articles/505/Polyarnaya_stantsiya_Komandante_Ferras_Vtoroe_rozhdenie (дата обращения: 01.12.2022).

43. Иваницкая, Е. В. Международная арктическая станция на безуглеродной энергетике / Е. В. Иваницкая // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – №. 2. – С. 91-93.

44. Иванов, Н. Н. Теплоизоляционный аэрогель и пьезоактивная пленка PVDF-современные, перспективные материалы для космической техники и космического приборостроения / Н. Н. Иванов, А. Н. Иванов // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. – 2011. – №. 2. – С. 46-52.

45. Иванова, А. Д. Области применения модульной технологии строительства / А. Д. Иванова // Символ науки. – 2024. – №. 5-1-3. – С. 98-104.

46. Исанова, А. В. Анализ использования современной теплоизоляции на основе аэрогеля при проектировании энергоэффективных зданий / А. В. Исанова,

Е. Д. Кретьева, Д. А. Драпалюк, Н. А. Драпалюк //Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – №. 4 (42). – С. 15-22.

47. Калеменева, Е. А. "Поворот к человеку" в проектах и практике урбанизации Крайнего Севера СССР в 1950-е - 1960-е гг : специальность 07.00.02 "Отечественная история" : диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук / Е. А. Калеменева, 2019. – 195 с. – EDN CXACMU.

48. Калинина, Н. С. Архитектурные, технические и дизайнерские особенности проектирования жилых и общественных зданий в условиях Крайнего Севера / Н. С. Калинина, Н. В. Морозов // Системные технологии. – 2019. – №. 3 (32). – С. 40-46.

49. Камалова, З. А. Определение долговечности сэндвич-панелей в зависимости от назначения, условий и районов эксплуатации / З. А. Камалова и др. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – №. 3 (53). – С. 27-38.

50. Карасевич, В. Перспективы автономного энергоснабжения изолированных объектов и поселений в арктических регионах РФ с применением водородных технологий / В. Карасевич, Ю. Васильев, В. Негримовский // Энергетическая политика. – 2023. – №. 9 (188). – С. 62-69.

51. Каргаполова, Г. И. Юрта-своеобразный мир кочевников / Г. И. Каргаполова, В. Ч. Донгак // Новая наука: Современное состояние и пути развития. – 2015. – №. 1. – С. 80-82.

52. Квашин, Ю.Н. Балок и палатка-новые жилища на окраинах ненецкой ойкумены / Ю.Н. Квашин //Урало-алтайские исследования. – 2021. – №. 04 (43). – С. 35-48.

53. Кизилова, С. А. Функциональные возможности инновационных архитектурных объектов в арктических водах / С. А. Кизилова // Экологическая безопасность и устойчивое развитие урбанизированных территорий. – 2019. – С. 474–478.

54. Кизилова, С. А. Эволюция подходов к организации капсульного быстровозводимого жилища Арктики / С. А. Кизилова // Современное строительство и архитектура. – 2024. – №. 11 (54). – С. 1-7.
55. Киреева, Ю. А. Новые виды средств коллективного размещения в России / Ю. А. Киреева, А. М. Малышев // Индустрия туризма: возможности, приоритеты, проблемы и перспективы. – 2019. – Т. 15. – №. 1. – С. 135-140.
56. Киселева, О. В. Архитектура жилых зданий средней этажности на северных и арктических территориях / О. В. Киселева, А. И. Фролова // Культура. Наука. Производство. – 2020. – №. 6. – С. 25-33.
57. Корнилов, Т. А. Архитектурно-конструктивные приемы в проектировании энергоэффективных арктических поселений / Т. А. Корнилов, Н. Н. Алексеев // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – №. 3. – С. 54-63.
58. Корнилов, Т. А. Наружные стены малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций для условий Крайнего Севера / Т. А. Корнилов, Г. Н. Герасимов // Жилищное строительство. – 2016. – №. 7. – С. 20-24.
59. Корнилов, Т. А. О некоторых ошибках проектирования и строительства малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций в условиях Крайнего Севера / Т. А. Корнилов, Г. Н. Герасимов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 41-45
60. Котилко, В. В. Проблемы строительства в районах Севера / В. В. Котилко // Economic Consultant. – 2016. – №. 3 (15). – С. 17-25.
61. Крупнов, Л. В. Страсти по геологии, или не только Урванцев / Л. В. Крупнов // Культура. Наука. Производство. – 2020. – №. 6. – С. 49-60.
62. Крыжановский, В. В. Модульные здания в современном строительстве / В. В. Крыжановский // Инженерные исследования. – 2023. – №. 1 (11). – С. 31.

63. Кульпин, Д. Л. Пилотные проекты в Арктике / Д. Л. Кульпин, С. С. Блох, Г. Х. Ефимова // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики. – 2020. – С. 667-673.
64. Ламов, И. В. Исследование свойств пенополиуретана с целью применения его в строительстве / И. В. Ламов, Г. С. Дедяев, Н. А. Матченко // Научное сообщество студентов. – 2016. – С. 178-180.
65. Лаппо, Г. М. Разнообразие городов как фактор успешного пространственного развития России / Г. М. Лаппо // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2019. – №. 4. – С. 3-23.
66. Левинский, Ю. Б. Повышение уровня монтажной готовности модульных жилых строений быстрого развертывания / Ю. Б. Левинский, С. А. Омигов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. – 2006. – С. 66-69.
67. Лобакова, Н. М. Культурологическое исследование коренных малочисленных народов Севера Красноярского края: результаты экспертного интервью / Н. М. Лобакова, Е. А. Сертакова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 4. – С. 598-598.
68. Лицкевич, В.К. Жилище и климат. М.: Стройиздат,. – 1984. – 288 с.
69. Лыткин, К. А. Истоки органичности северной архитектуры / К. А. Лыткин // Academia. Архитектура и строительство. 2013. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoki-organichnosti-severnoy-arhitektury> (дата обращения: 16.07.2024).
70. Лыткин, К. А. Истоки органичности северной архитектуры / К.А. Лыткин // Academia. Архитектура и строительство. – 2013. – №. 2. – С. 21-30.
71. Макеева, А.В. Инновационные материалы на основе аэрогеля в строительстве / А.В. Макеева, Н.В. Виденков, Л.В. Доброгорская, К.В. Семенов, В.В. Федотов // Alfabuild. – 2017. – №. 1. – С. 89.
72. Мамошина, Н. В. Строительство в условиях Крайнего Севера: опыт и новшества / Н. В. Мамошина // Становление и развитие новой парадигмы

инновационной науки в условиях современного общества: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции (Стерлитамак, 08 июля 2018 г.). Стерлитамак – 2018. – 79 с.

73. Мельников, В. П. Адаптация инфраструктуры Арктики и Субарктики к изменениям температуры мерзлых грунтов / В. П. Мельников и др. // Криосфера Земли. – 2021. – Т. 25. – №. 6. – С. 3-15.

74. Минтранс России. Русский Север и Арктику посетили около 3 млн туристов в 2024 году [Электронный ресурс] // Министерство транспорта Российской Федерации. – URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/branch-news/6312> (дата обращения: 07.03.2025). – Текст: электронный.

75. Мушинский, А. Н. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений / А. Н. Мушинский, С. С. Зимин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 4(31). – С. 182-193. DOI: 10.18720/CUBS.31.13

76. Ницын, А. Ю. Снежная хижина" иглу"-энергосберегающий дом аборигенов Крайнего Севера / А. Ю. Ницын // Строительство и техногенная безопасность. – 2016. – №. 4 (56). – С. 28-32.

77. Ноговицын, В. П. Естественнo-научный взгляд на якутский балаган / В. П. Ноговицын и др. // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2015. – Т. 12. – №. 2. – С. 129-139.

78. Нуйкина, Е. В. Влияние вахтового метода на принимающие города Российского Севера (на примере г. Воркуты) / Е. В. Нуйкина // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2013. – Т. 2. – №. 14. – С. 107-116.

79. Овсянников, С. И. Обоснование эффективных строений для Крайнего Севера / С. И. Овсянников, А. С. Родионов // Вестник науки и образования северо-запада России. – 2017. – Т. 3. – №. 1. – С. 107-114.

80. Овчинников, И. Bio-Architects. Модульный дом TOPOL [Электронный ресурс] / И. Овчинников // Bio-Architects. – URL: <https://bio-architects.com/topol> (дата обращения: 14.04.2023). – Текст : электронный.

81. Огородников, С.Н. Способы повышения энергоэффективности модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера / С. Н. Огородников // АМІТ Архитектура и современные информационные технологии. – 2025. – № 3(72). – С. 182-195. – DOI 10.24412/1998-4839-2025-3-182-195.
82. Окулова, Е. А. Пример энергоэффективного строительства в условиях Антарктики / Е. А. Окулова, Ю. В. Никонова // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции: сб. статей по материалам региональной научно-практической конференции, Петрозаводск, 15 мая 2023 года. – Петрозаводск: ИД Петропресс, 2023. – С. 158–161. – EDN MBFUIP.
83. Опалихина, А. А. Свайные фундаменты на винтовых сваях в условиях Крайнего Севера / А. А. Опалихина // Инновационная наука. – 2018. – №. 6. – С. 31-34.
84. Осипова, Е. Э. Состояние и перспективы развития туризма в северных регионах России / Е. Э. Осипова // Арктический дизайн : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Мурманск, 16–18 ноября 2015 года. – Мурманск: Мурманский арктический государственный университет, 2016. – С. 187-192. – EDN ZCAROB.
85. Охлопкова, Т. В. Строительство и проектирование зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты / Т. В. Охлопкова, Г. Р. Гурьянов, А. А. Плотников // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №. 4 (51). – С. 184.
86. Павленко, В. Коренные малочисленные народы Российской Арктики (проблемы и перспективы развития) / В. Павленко, А. Петров, С. Куценко // Экология человека. – 2019. – № 1. – С. 26–33.
87. Палкина, О. Л. Принципы планирования и проектирования в Арктике на основе динамической архитектуры / О. Л. Палкина // Наука, образование и экспериментальное проектирование. – 2020. – №. 1. – С. 263-266.
88. Панова, Н.Г. Особенности формирования цветовой среды северных городов России / Н.Г. Панова, В.Д. Жиркова // АМІТ. – 2021. – №3 (56). – С. 334-344.

89. Панченко, В. А. Перспективы энергоснабжения объектов арктической зоны РФ с помощью морозостойких солнечных модулей различной конструкции / В. А. Панченко // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – №. 17 (69). – С. 125-144.
90. Перевалова, Е. В. Мобильное жилище чукчей-оленьеводов: традиции и новации / Е.В. Перевалова, Д. А. Куканов // Уральский исторический вестник. – 2018. – №. 3. – С. 40-49.
91. Плужников, Н. В. К вопросу о типологии пространства в ненецком героическом эпосе (места обитания) / Н.В. Плужников //Вестник угроведения. – 2018. – №. 4. – С. 729-740.
92. Попов, А. А. Материалы по родовому строю долган / А. А. Попов //Советская этнография. – 1934. – Т. 6. – С. 116-139.
93. Порфирьев, Б. Н. Строительство в условиях изменений климата в Арктике: риски и возможности их снижения / Б. Н. Порфирьев, Е. И. Хлебникова //Экономика строительства. – 2015. – №. 6 (36). – С. 4-15.
94. Порядин, В. С. Трудности при реализации проектов строительства в Арктике / В. С. Порядин // Вестник науки. – 2023. – Т. 3. – №. 8 (65). – С. 140-142.
95. Потравный, И. М. Использование возобновляемых источников энергии в Арктике: роль государственно-частного партнерства / Потравный И. М. и др. // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 144-159.
96. Проценко, Я. А. Применение принципа использования многолетнемёрзлых грунтов в качестве основания / Я. А. Проценко //Вестник науки. – 2024. – Т. 4. – №. 2 (71). – С. 342-358.
97. Птичникова, Г.А. Градостроительство и архитектура Швеции 1980 - 2000 гг. – СПб. : Наука, 1999. – 199 с.
98. Путинцев, Э. П. Комплексная концепция северного градостроительства: I климатический район страны / Э. П. Путинцев. Москва – 2005. – 301с.

99. Римская-Корсакова, Т. В. Предложения по развитию систем и форм расселения в различных районах сурового климата Крайнего Севера / Т. В. Римская-Корсакова. – Москва 1972. – 197 с.
100. Рубцова, М. В. Учет влияния формы здания на его энергоэффективность / М. В. Рубцова, Э. Е. Семенова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – №. 2 (36). – С. 10-15.
101. Рудых, М. В. Повышение энергоэффективности жилого модуля новой антарктической станции «Восток» / М. В. Рудых, В. В. Елистратов // Неделя науки ИСИ. – 2021. – С. 395-397.
102. Румянцев, Д. С. Экономические аспекты применения альтернативных источников энергии в арктической зоне РФ на современном этапе / Д. С. Румянцев, А. Е. Дидиков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2023. – №. 3. – С. 3-12.
103. Рыбаков, В. А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций / В. А. Рыбаков // Учебн. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2011.
104. Сабети, К. А. Модульная архитектура горнолыжных комплексов / К. А. Сабети, В. М. Молчанов // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы. – 2018. – С. 115-116.
105. Савинова, В. А. Архитектурные приемы формообразования полярных научно-исследовательских объектов / В. А. Савинова // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 1. – С. 92–102.
106. Савинова, В. А. Методы организации архитектурной среды в экстремальных условиях Арктики / В. А. Савинова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2022. – №. 1 (52). – С. 45-50.
107. Самойлов, И.И. Приемы локализации общественных пространств в современных жилых комплексах / И.И. Самойлов // Архитектон: известия вузов. – 2024. – №2(86). – URL: http://archvuz.ru/2024_2/1/ – doi: [https://doi.org/10.47055/19904126_2024_2\(86\)_1](https://doi.org/10.47055/19904126_2024_2(86)_1)

108. Сапрыкина, Н.А. Мобильное жилище для Севера / Н. А. Сапрыкина. – Ленинград, Стройиздат, 1986. – 108 с.
109. Сарвут, Т. О. Принципы формирования среды обитания в арктическом регионе/ Т.О. Сарвут //Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – №. 2 (113). – С. 130-140.
110. Саусь, А. А. Экструдированный пенополистирол / А. А. Саусь, И. С. Пергун, А. О. Алтунян // Современные наукоёмкие инновационные технологии. – 2018. – С. 60-62.
111. Севастьянов, Д. В. Норильский регион: от природной специфики к практике освоения / Д. В. Севастьянов, Т. Е. Исаченко, Е. Н. Гук // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2014. – №. 3. – С. 82-94.
112. Семенова, В. В. Экоустойчивая архитектура как способ решения экологических проблем Антарктиды / В. В. Семенова, Д. А. Осетрина, Ю. К. Савельева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 12-1. – С. 18–24.
113. Семенова, К. В. Возведение фундаментов в условиях вечной мерзлоты / К. В. Семенова // Вектор научной мысли. – 2024. – № 1(6). – С. 9-11. – EDN OBXDMF.
114. Симченко, Ю. Б. Основные черты современных этнических процессов у коренного населения авамской тундры Таймырского национального округа / Ю. Б. Симченко // Преобразования в хозяйстве и культурные и этнические процессы у народов Севера. – М., 1970. – С. 145–160.
115. Славин, С. В. Промышленное и транспортное освоение Севера СССР / С. В. Славин. – М. : Изд-во экономической литературы, 1961. – 301 с.
116. Служеникин, С. Ф. Пясино-Вологочанский интрузив: геологическое строение и платино-медно-никелевые руды (Норильский район) / С. Ф. Служеникин, Н. А. Криволуцкая //Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57. – №. 5. – С. 424-424.

117. Сметанина, М. В. Особенности прокладки инженерных коммуникаций в условиях Крайнего Севера / М. В. Сметанина // Научный аспект. – 2023. – Т. 2. – №. 12. – С. 209.
118. Смирнова, С. Н. Реализация архитектурно-планировочных принципов проектирования энергоэффективного жилья в традиционном жилище севера России / С.Н. Смирнова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. – 2013. – №. 3. – С. 19-19.
119. Смоляк, А. В. Состав, расселение и происхождение ульчских родов / А.В. Смоляк // Труды института этнографии АН СССР. – 1963. – Т. 84. – С. 142-167.
120. Соколов, Ю. И. Арктика: к проблеме накопленного экологического ущерба / Ю. И. Соколов // Арктика: экология и экономика. – 2013. – Т. 2. – С. 18-27.
121. Соловьев, Д. Проблемы энергообеспечения удаленных территорий Российской Арктики / Д. Соловьев, Л. Шилова, С. Гулев // Проект Байкал. – 2023. 2(76) – С. 60-65.
122. Сосин, П. В. Арктика и коренные малочисленные народы Севера: инновационные особенности формирования традиционных поселений / П. В. Сосин // Проблемы современной экономики. – 2012. – №. 4. – С. 263-265.
123. Сосин, П. В. Социальная инфраструктура стационарных и подвижных (мобильных) поселений коренных этносов Севера / П. В. Сосин // Северо-Восточный гуманитарный вестник. – 2011. – №. 1. – С. 51-58.
124. Стась, П. И. Отражение культурной специфики и национальных традиций в архитектурном образе этнографических музеев / П. И. Стась, А. В. Меренков, М. В. Винницкий // Безопасный и комфортный город. – 2023. – С. 158-162.
125. Стрелецкий, Д. А. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири / Д. А. Стрелецкий, Н. И. Шикломанов, В. И. Гребенец // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 22–32.
126. Суглобов, Д. А. Особенности проектирования сетей канализации в арктических условиях / Д. А. Суглобов, Е. И. Вялкова, Е. Ю. Осипова // Вестник

Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. – Т. 24. – №. 5. – С. 133-144.

127. Суликова, В. А. Применение энергосберегающего стекла в сфере жилищно-коммунального хозяйства / В. А. Суликова, М. А. Силантьева, Г. М. Хусаинова // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. – 2014. – №. 1 (7). – С. 174-176.

128. Сумгин, М. И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР / М. И. Сумгин. – Владивосток: НКЗ, Дальневосточная геофизическая обсерватория, 1927. – 365 с.

129. Суханов, Н. В. Градостроительное планирование развития территорий и поселений Севера / Н. В. Суханов // Градостроительство России XXI века. – 2001. – С. 80-85

130. Сычев, С. А. Индустриальная технология монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера / С. А. Сычев // Жилищное строительство. – 2017. – №. 3. – С. 71-78.

131. Татевосян, А. Г. История развития архитектуры Арктики / А. Г. Татевосян // Экономика строительства. – 2023. – № 1. – С. 123–132.

132. Тиняева, Н. В. Эволюция принципов проектирования жилища с учетом климата / Н.В. Тиняева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия, АГАСУ, Астрахань. – 2014. – С. 11-20.

133. Уттер, А. Экстрим с комфортом [Электронный ресурс] / А. Уттер // *Archi.ru*. – 05.09.2019. – URL: <https://archi.ru/russia/84360/ekstrim-s-komfortom> (дата обращения: 02.10.2022). – Текст : электронный.

134. Фёдорова, Н. В. Проблема строительства и эксплуатации сооружений в условиях Крайнего Севера / Н. В. Фёдорова, М. И. Исмагилов // Наука, образование и культура. – 2025. – №. 1 (71). – С. 8-10.

135. Фролова, М. А. Колористика как фактор архитектурной геоники для Северо-Арктического региона / М. А. Фролова, В. С. Лесовик // Инновационные материалы и технологии для строительства в экстремальных климатических условиях: Материалы I Всероссийской научно-технической конференции с

международным участием, Архангельск, 02–04 декабря 2014 года. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2014. – С. 201-207.

136. Харузин, Н. Н. История развития жилища у кочевых и полукочевых тюркских и монгольских народностей России- М. / Н.Н. Харузин. – Москва, 1896. – 71 с.

137. Хег-Гульдберг, О. Национальная идентичность как движущая сила развития туризма: исследование Норвегии / О. Хег-Гульдберг, С. Зеелер // Арктика и Север. – 2021. – № 42. – С. 32-59. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2021.42.32. – EDN VKPLVX.

138. Хлусова, Е. И. Создание хладостойких конструкционных материалов для Арктики. История, опыт, современное состояние / Е. И. Хлусова, О. В. Сыч // Инновации. – 2018. – №. 11 (241). – С. 85-92.

139. Хомич, Людмила Васильевна. Саамы // Л.В. Хомич. — СПб.: Просвещение. Отд-ние, 1999. — 92с. ISBN 5-09-002417-0.

140. Чубаров, С. Г. Архитектурно-скульптурное решение жилища коренных народов Севера / С.Г. Чубаров // Материалы VIII Международной научно-практической конференции. — Махачкала 2022. – 521 с.

141. Шойдук, Л. Ш. Юрта-древнее жилище тувинцев / Л. Ш. Шойдук // Искусство Евразии. – 2019. – №. 3 (14). – С. 302-316.

142. Щербанин, Ю. А. Транспортно-логистическое обеспечение хозяйственного освоения российской части Арктики / Ю. А. Щербанин // Энергетическая политика. – 2018. – №. 4. – С. 48-56.

143. Яковлев, А. И. Неоязыческие культовые сооружения в современном якутском селе / А. И. Яковлев, К. М. Яковлева // Общество: философия, история, культура. – 2017. – №. 11. – С. 43-47.

144. Ярцев, В. П. Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов (минеральной ваты и пенополистирола) /

В. П. Ярцев, А. А. Мамонтов, С. А. Мамонтов // Кровельные и изоляционные материалы. – 2013. – №. 1. – С. 8-11.

145. Andreev, V. P., Kim, V. L. Modular architecture of a mobile robot transport platform for a motion task on a rough terrain // Extreme Robotics. – 2019. – Т. 1. – №. 1. – С. 73-82.

146. Ashpiz, E. S. The problems of the railway subgrade construction in the subarctic part of the Russian cryolithozone and the ways of their solution // Transportation Soil Engineering in Cold Regions. – 2020. – Vol. 1. – P. 295–302.

147. Bakshi, A. K. et al. Investigation of background radiation levels and environmental radioactivity around Bharati Station, Larsemann Hills in East Antarctica – an overview // Polar Science. – 2024. – Article no. 101044.

148. Bamsey, M. et al. Design of a containerized greenhouse module for deployment to the Neumayer III Antarctic Station. – 2014.

149. Berardi, U. (2013). Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building // Sustainable Cities and Society. – Vol. 8. – P. 72–78. – <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.01.008>

150. Blake, D. M. The Construction of Halley VI Station in Antarctica // ISCORD 2013: Planning for Sustainable Cold Regions. – 2013. – P. 59–66.

151. Bockelmann, F. et al. Renewable energy in Antarctica – photovoltaic for Neumayer Station III // Solar Energy Advances. – 2022. – Vol. 2. – Article no. 100026.

152. Bradbury, D., Powers, R. The Iconic House: Architectural Masterworks since 1900. — London: Thames & Hudson, 2009. — Text : printed.

153. Brook, I. (2000). Can “Spirit of Place” be a guide to ethical building? // In: Fox, W. (Ed.). Ethics and the Built Environment. – New York: Routledge. – P. 139–151.

154. Broughton, H. Halley VI Antarctic research station // Space 2006. – 2009. – P. 7324.

155. Cheek, J., Huyge, B., de Pomereu, J. Princess Elisabeth Antarctica: an International Polar Year outreach and media success story // Polar Research. – 2011. – Vol. 30, No. 1. – Article 11153.

156. Corbusier, L. *The Modulor II*. — Basel: Birkhäuser, 2000. — Text : printed.
157. Dongxiang, L. et al. Design and implementation of a multi-energy complementary microgrid system at Taishan Station, Antarctica // *Chinese Journal of Polar Research*. — 2020. — Vol. 32. — No. 2. — P. 184–194. — DOI: 10.13679/j.jdyj.20190036.
158. Forsell, H. Modernizing the economic landscapes of the North: resource extraction, town building and educational reform in the process of internal colonization in Swedish Norrbotten // *International Journal for History, Culture and Modernity*. — 2015. — № 2 (3). — P. 195–211.
159. Garda, E., Mangosio, M., Pastore, L. Learning from the past: the lesson of the Japanese house // *WIT Transactions on the Built Environment*. — 2017. — Vol. 171. — P. 275–284. — Text : printed.
160. Godon, P., Cucinotta N. Concordia: a new permanent, international research support facility high on the Antarctic ice cap // *Proceedings of the 6th International Symposium on Cold Region Development*. — 2000. — P. 72–75.
161. Grazuleviciute-Vileniske, I., Viliunas, G., Daugelaite, A. (2021). The role of aesthetics in building sustainability assessment // *Spatium*. — Vol. 45. — P. 79–89.
162. Grebenets, V., Streletskiy, D., Shiklomanov, N. Geotechnical safety issues in the cities of polar regions // *Geography, Environment, Sustainability*. — 2012. — Vol. 5, № 3. — P. 104–119. — DOI: 10.15356/2071-9388_03v05_2012_08.
163. Guillaud, H., Moriset, S., Sánchez Muñoz, N., Sevillano Gutiérrez, E. (2014). *VERSUS: Lessons from Vernacular Heritage to Sustainable Architecture*. — France: ENSAG-CRAterre.
164. Guy, S., Farmer, G. Reinterpreting Sustainable Architecture: the Place of Technology // *Journal of Architectural Education*. — 2001. — Vol. 54, No. 3. — P. 140–147. — URL: <https://doi.org/10.1162/10464880152632451> (date of access: 29.05.2025). — Text : electronic.
165. Haines, V., Mitchell, V. Intelligent energy saving in the home: a user centred design perspective // In: Clements-Croome D. (Ed.) *Intelligent Buildings: Design*,

Management and Operation. — London: ICE Publishing, 2015. — P. 133–142. — URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/full/10.1680/ib.57340.133> (date of access: 29.05.2025). — Text : electronic.

166. Horden, R. Architecture and Teaching. — Basel: Birkhäuser Verlag, 1999. — Text : printed.

167. Kim, M.K., Kim, M.J. Affordable Modular Housing for College Students Emphasizing Habitability // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. — 2016. — Vol. 15, No. 1. — P. 49–56.

168. Knaack, U., Chung-Klatte, S., Hasselbach, R. Prefabricated Systems: Principles of Construction. — Basel: Birkhäuser Verlag, 2012. — Text : printed.

169. Kronenburg, R. Portable Architecture: Design and Technology. — Berlin: Birkhäuser Verlag, 2008. — Text : printed.

170. Kumar, R. et al. Performance monitoring of the wastewater system of Bharati Station, Antarctica // Polar Science. — 2024. — Vol. 40. — Article no. 101067. — DOI: 10.1016/j.polar.2024.101067.

171. Lawson, M. Design in Modular Construction. — Boca Raton: CRC Press, 2014. — Text : printed.

172. Lee, B. The Dymaxion Dwelling Machine: R. Buckminster Fuller's Vision to House All of Humanity // Journal of Student Research. — 2023. — Vol. 12, No. 1. — URL: <https://doi.org/10.47611/jsrhs.v12i1.4298> (date of access: 29.05.2025). — Text : electronic.

173. Leydecker, S. Designing Interior Architecture. — Basel: Birkhäuser Verlag, 2013. — Text : printed.

174. Lylykangas, K. Shape factor as an indicator of heating energy demand // Internationales Holzbau-Forum 2009. — 2009. — P. 1–8.

175. Nielsen, H. From shelter to showpiece: The evolution of scientific Antarctic stations // The University of Canterbury Summer Research Project. — 2013.

176. Phillips, D., Guaralda, M., Sawang, S. Innovative housing adoption: Modular housing for the Australian growing family // *Journal of Green Building*. – 2016. – Vol. 11, No. 2. – P. 147–170.
177. Polyakov, S. P. et al. Main aspects of constructing snow foundations for the new buildings of the Russian Vostok Station, East Antarctica // *Проблемы Арктики и Антарктики*. – 2024. – Т. 70. – №. 4. – С. 525-540.
178. Radwan, A.H. Containers architecture: reusing shipping containers in making creative architectural spaces // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. – 2015. – Vol. 6, No. 11. – P. 1562–1577.
179. Rodrigo, J. S., van Beeck J., Buchlin J. M. Wind engineering in the integrated design of Princess Elisabeth Antarctic base // *Building and Environment*. – 2012. – Vol. 52. – P. 1–18.
180. Shrivastava, P. (2012). Enterprise Sustainability 2.0: Aesthetics of Sustainability // In: Bansal, P., Hoffman, A. J. (Eds.). *The Oxford Handbook of Business and the Natural Environment*. – Oxford: Oxford University Press. – <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199584451.003.0035>
181. Smith, W. R. *Archetypal Spaces & Storytelling in Architecture*: дис. – University of Cincinnati, 2023.
182. Vandermale, E. A., Mason, C. W. Sustainable tourism development and Indigenous protected and conserved areas in sub-arctic Canada // *Frontiers in Sustainable Tourism*. – 2024. – Vol. 3. – Article 1397589. – DOI: 10.3389/frsut.2024.1397589
183. Voinov, I., Elistratov, V., Keresten, I., Konishchev, M., Nikitin, M., Sofronova, D. Profiling a wind wheel blade using parametric optimization and computational aerodynamics methods // *Thermal Engineering*. 2024. No. 71. pp. 513–522.
184. Vráblová, E., Czafík, M., Puškár, B. Spatial characteristics of contemporary prefabricated modular dormitory cells // *Spatium*. – 2022. – Vol. 47. – P. 64–74.
185. Wahl, M. Designing an H-Rotor type wind turbine for operation on Amundsen-Scott South Pole Station. – 2007.

186. Xu, C. et al. Sleep architecture, periodic breathing and mood disturbance of expeditioners at Kunlun Station (4087 m) in Antarctica // *Adv. Polar Sci.* – 2020. – Vol. 31. – P. 215–223.

187. Younis, M., Kahsay, M. T., Bitsuamlak, G. T. BIM-CFD integrated sustainable and resilient building design for northern architecture // *ASHRAE Topical Conference Proceedings.* – 2020. – P. 584–591.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Рисунок 1.1. Схема связей научных дисциплин и направлений в области модульного домостроения

Рисунок 1.2. Схема сфер применения модульного жилья

Рисунок 1.3. Схема сравнения уровня адаптивности методов строительства

Рисунок 1.4. График адаптивности строительства в условиях севера в историческом контексте

Рисунок 2.1. Анализ фундаментов для установки модульных жилых систем

Рисунок 2.2. Анализ градостроительных особенностей северных городов

Рисунок 2.3. Способы обеспечения автономности жилых систем

Рисунок 3.1. Теоретическая модель архитектурной организации модульных жилых систем

Рисунок 3.2. Схема типологий модульных блоков и вариантов сборки

Рисунок 3.3. Схема соотношения проблем и принципов

Рисунок 3.4. Схема взаимодействия принципов и факторов строительства в условиях Крайнего Севера

Примечание: Рисунки авторские за исключением изображений в таблице 1.2-1.4.

Таблица 1.1. – Особенности северного традиционного жилища

Таблица 1.2. – Особенности строительства Норильска 1930-50 гг.

Таблица 1.3. – Особенности строительства Норильска 1960-80 гг.

Таблица 1.4. – Особенности строительства Норильска в настоящее время.

Таблица 2.1. – Модели освоения северных территорий

Таблица 2.2. – Сравнительный анализ отечественного и зарубежного градостроительства

Таблица 2.3. – Слои модульной стеновой системы

Таблица 2.4. – Способы обеспечения автономности жилых систем

Таблица 2.5. – Планировочные принципы модульных систем

Таблица 3.1. – Система апробации принципов

Приложение 1. Акт внедрения

Общество с ограниченной ответственностью

«ГЛАВСТРОЙ»

Юридический и почтовый адрес: 663305, Красноярский край, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, дом 6А-62, ИНН 2457077990, КПП 245701001, ОГРН 1142457001884, <http://gstr24.ru> тел 8 (3919) 41-70-01 приемная, 8 (3919) 361-555 доб. 402 бухгалтерия, e-mail: 2209erema@mail.ru

г. Норильск

«15» июля 2025 года

АКТ О ВНЕДРЕНИИ
результатов исследований диссертационной работы
на соискание учёной степени кандидата архитектуры
ОГОРОДНИКОВА СЕРГЕЯ НИКОЛАЕВИЧА

Настоящий акт составлен о внедрении на объекте станции загородного отдыха проектных решений, разработанные Огородниковым Сергеем Николаевичем в ходе проведённого диссертационного исследования на тему: «ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДУЛЬНЫХ ЖИЛЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА». При строительстве и проектировании жилых домов были взяты за основу планировочные схемы, учитывающие расположение функциональных зон в стеснённых условиях и рекомендации по расположению строений для уменьшения ветровой нагрузки и снежных заносов, разработанные в рамках диссертационного исследования. В настоящее время идут работы по внедрению выработанных рекомендаций по обеспечению устойчивой и автономной работы комплекса, на первом этапе включающие в себя организацию независимых инженерных узлов с применением альтернативных источников энергии (солнечные панели).

Указанные решения внедрены при проектировании и реализации станции загородного отдыха, находящейся по адресу: город Норильск, р-н Оганер, ул. Вальковское шоссе, р-н здания 17. Разработанные планировочные решения позволили увеличить вместимость жилого дома и обеспечивают удобство и безопасность использования, способствуя логичной организации внутренних потоков и рекреационных сценариев. Использование принципов автономности позволит повысить эффективность эксплуатации объекта, и снизить зависимость от внешней инженерной инфраструктуры.

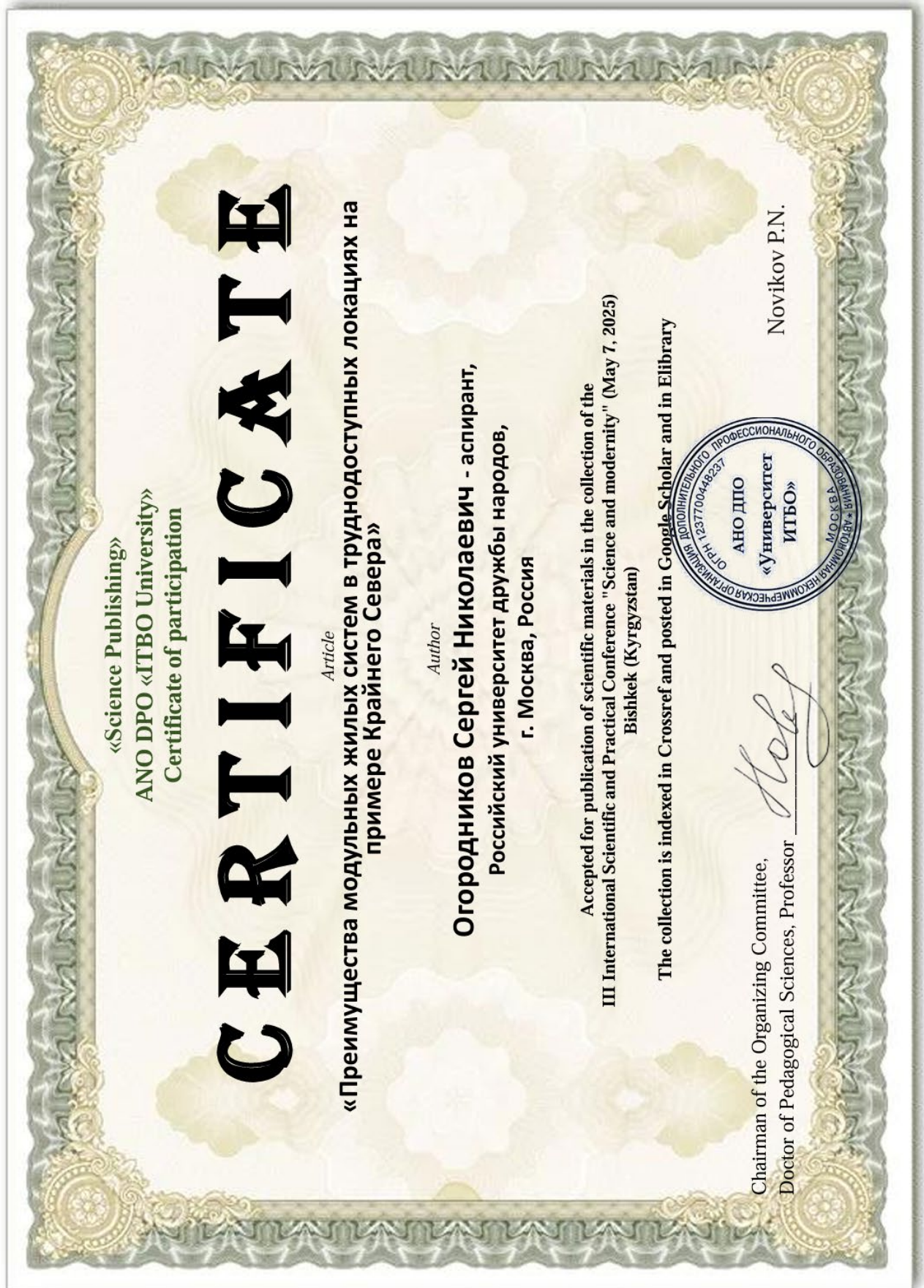
Таким образом, диссертационное исследование нашло практическое применение и подтвердило свою актуальность, архитектурную и инженерную состоятельность. Настоящий акт составлен в подтверждение внедрения разработок, отражённых в дипломной работе, и подписан директором ООО «ГЛАВСТРОЙ».

Генеральный директор ООО «ГЛАВСТРОЙ»



А.С. Лупка

Приложение 2. Сертификаты конференций



ТАВРИДА
АРТ-КЛАСТЕР

× А-GLAMP

ДИПЛОМ

ЗА 2 МЕСТО

В НОМИНАЦИИ
**«ЛУЧШАЯ АРХИТЕКТУРНАЯ КОНЦЕПЦИЯ
ДЛЯ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ»**

ВЫДАН

**СЕРГЕЮ
ОГОРОДНИКОВУ**

участнику Открытого конкурса на
разработку архитектурной концепции
гостевых домиков и элементов
инфраструктуры
для туристического лагеря

Генеральный директор
АНО «Центр развития
культурных инициатив»
С.В. Першин



Генеральный директор
ООО «А-Глэмп»
К.В. Вайнц



Москва, 2020 г.



SS. CYRIL AND METHODIUS UNIVERSITY
FACULTY OF ARCHITECTURE SKOPJE



Republic of North Macedonia
CHAMBER OF CERTIFIED ARCHITECTS
AND CERTIFIED ENGINEERS

International Architectural Competition **NEW SPATIAL REALITY OF CITIES POST COVID-19**

AWARD

FIRST PRIZE

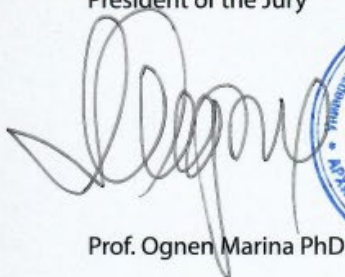
TO

**XENIA YAKIMENKO
ALEXANDRA CHISLAVLEVA
SERGEY OGORODNIKOV**

FOR

PROJECT DESIGN W6L693

President of the Jury


Prof. Ognen Marina PhD



SKOPJE, 2021

President of the Chamber
of Certified Architects
and Certified Engineers




Kristinka Radevski

ДИПЛОМ

2 место

в Международном архитектурном
конкурсе на разработку концепции территории
коттеджного поселка "ПАПУШЕВО ПАРК"

награждается

**Якименко Ксения,
Числавлева Александра,
Огородников Сергей**

Россия, Красноярск

Выражается отдельная благодарность
за высокопрофессиональное
проектное предложение, интересную концепцию
и блестящую командную работу


подпись

А.Джентилини
Председатель жюри


м.п., подпись

Д.А.Мудрик
Ген. директор ООО "Конверс"



Организатор конкурса -
ООО "Конверс"



Оператор конкурса -
портал ARCHITIME.RU

Москва, 2021

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ

№ 148714**СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМИРУЕМЫЙ
МОДУЛЬНЫЙ БЛОК НА ШАРНИРНОМ
КРЕПЛЕНИИ БЕЗ ТОРЦЕВОЙ ПАНЕЛИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) (RU)*

Автор(ы): *Огородников Сергей Николаевич (RU), Воличенко Ольга Владимировна (RU)*

Заявка № 2024506840

Приоритет(ы) промышленного образца 05 декабря 2024 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре промышленных

образцов Российской Федерации 08 августа 2025 г.

Срок действия исключительного права

на промышленный образец истекает 05 декабря 2029 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ

№ 148902

ТРЕУГОЛЬНАЯ ОПОРА ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ
МОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) (RU)*

Автор(ы): *Огородников Сергей Николаевич (RU), Воличенко Ольга Владимировна (RU)*

Заявка № 2025500565

Приоритет(ы) промышленного образца 19 мая 2025 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре промышленных

образцов Российской Федерации 25 августа 2025 г.

Срок действия исключительного права

на промышленный образец истекает 19 мая 2030 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ

№ 148713

МОДУЛЬНАЯ ЖИЛАЯ СИСТЕМА

Патентообладатель(ли): **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) (RU)**

Автор(ы): **Огородников Сергей Николаевич (RU), Воличенко Ольга Владимировна (RU)**

Заявка № 2024506842

Приоритет(ы) промышленного образца **05 декабря 2024 г.**

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре промышленных
образцов Российской Федерации **08 августа 2025 г.**

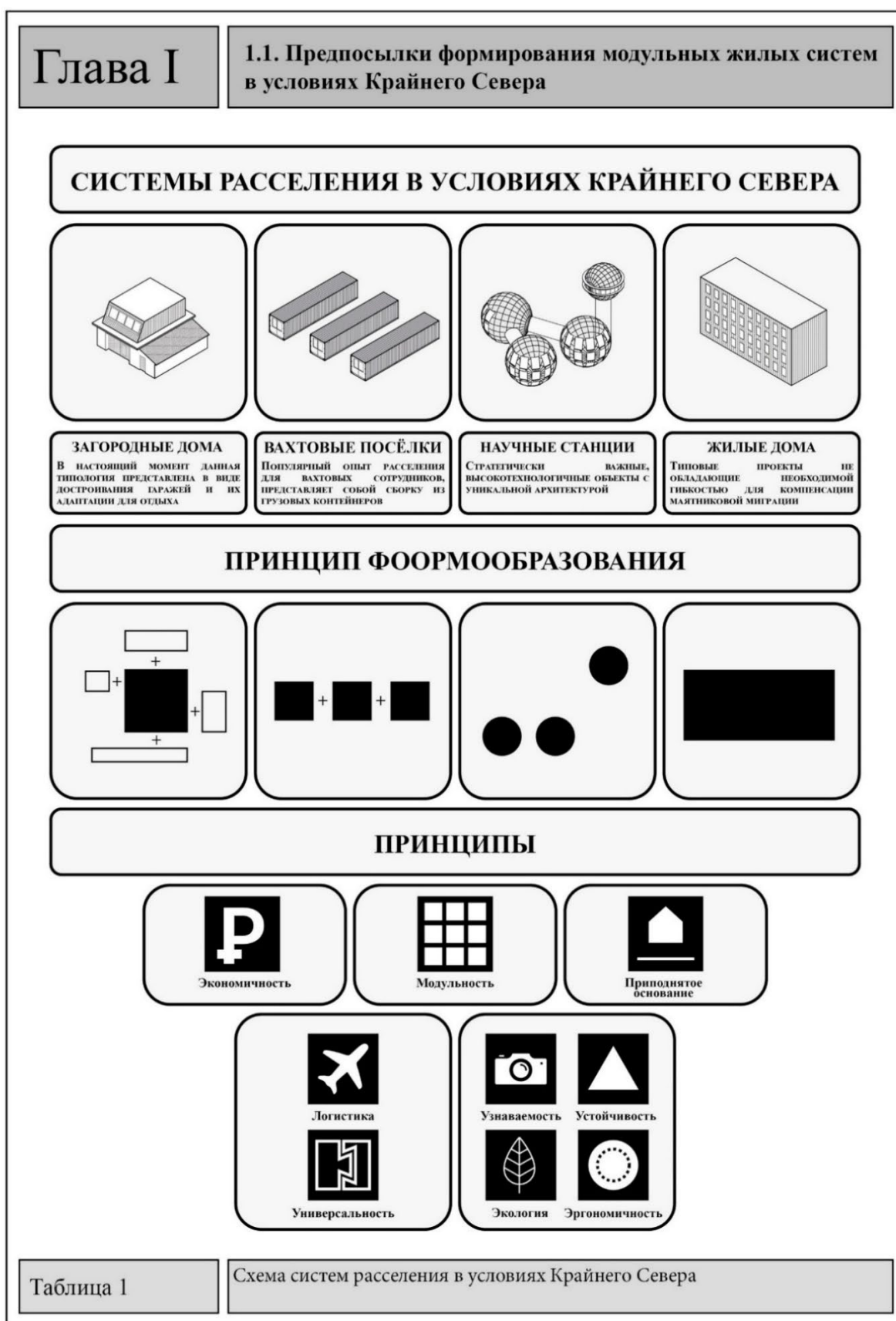
Срок действия исключительного права
на промышленный образец истекает **05 декабря 2029 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

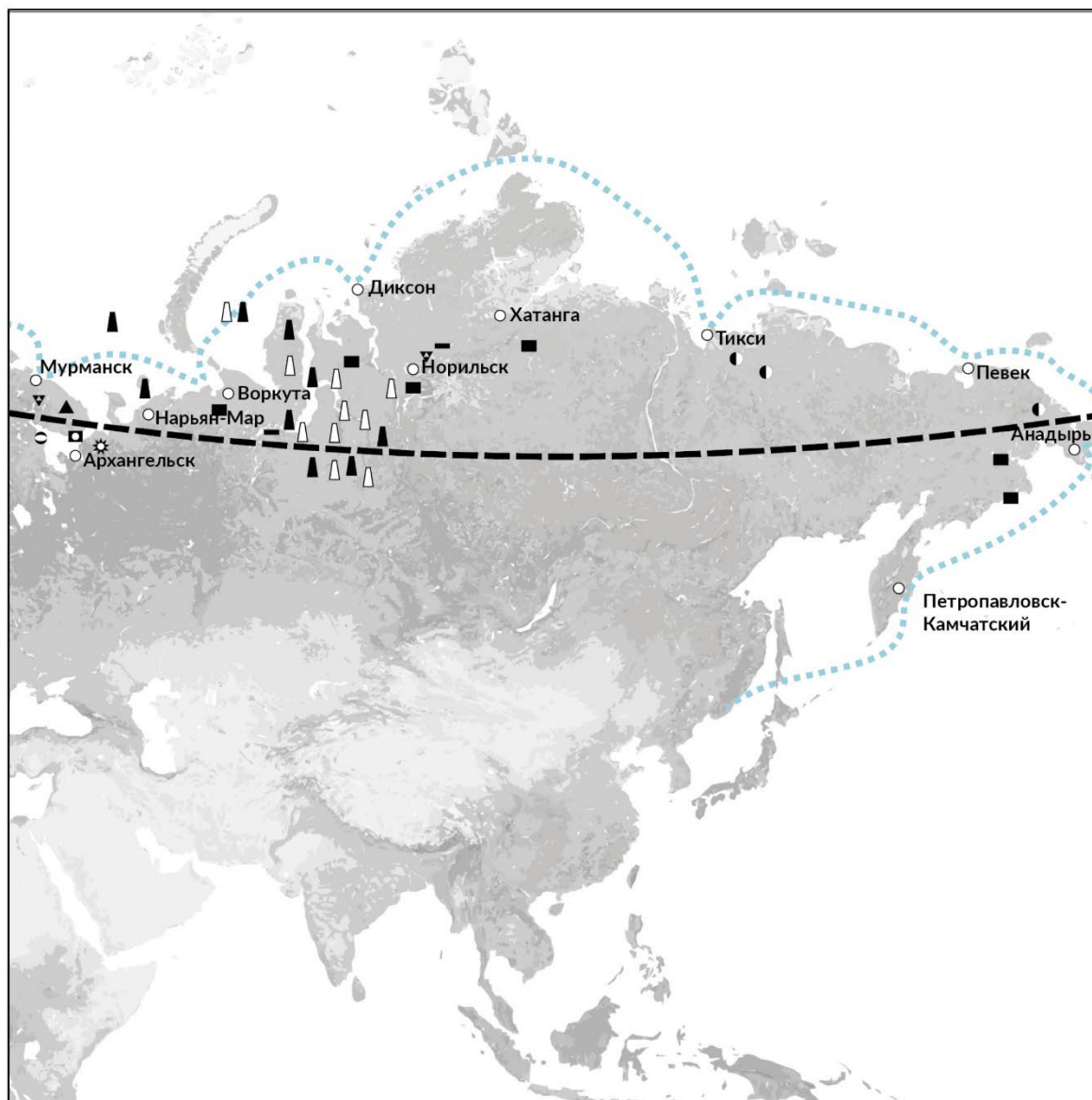


Приложение 4. Иллюстративные материалы



Глава I

1.1. Предпосылки формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



▴ Нефть	▾ Никелевые руды	✱ Алмазы	○ Населённые пункты
▲ Природный газ	▲ Железные руды	● Золото	--- Северный морской путь
■ Каменный уголь	○ Апатиты	---	--- Граница полярного круга
— Медные руды	▣ Алюминиевые руды		

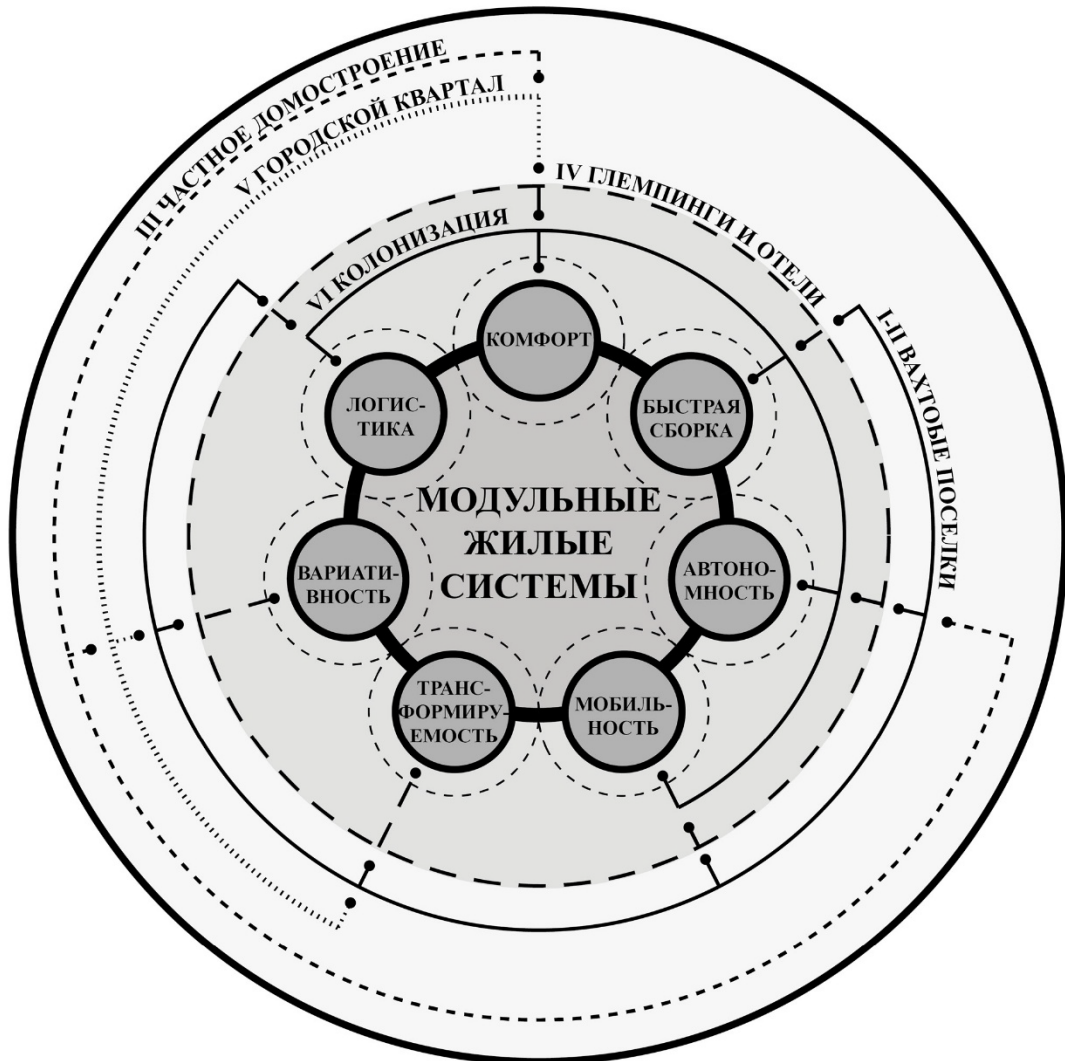
Таблица 2

Карта с обозначением городов Крайнего Севера, полезных ископаемых и маршрута северного морского пути

Глава I

1.1. Предпосылки формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

СХЕМА ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ КАЧЕСТВАМИ МОДУЛЬНОГО ЖИЛЬЯ И СФЕРАМИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ



УПРОЩЁННАЯ СХЕМА СФЕР ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЬНОГО ЖИЛЬЯ

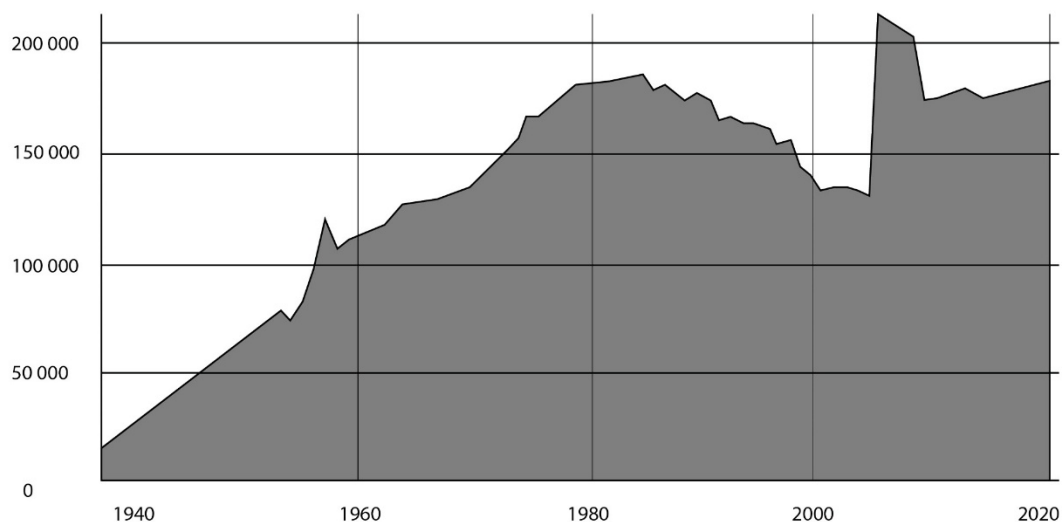


Таблица 3

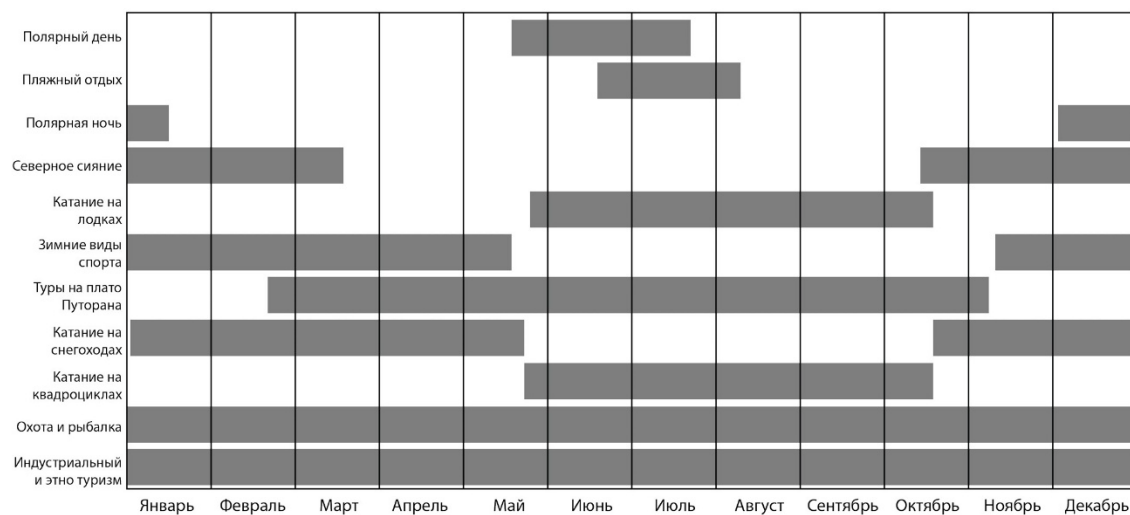
Схема актуальности качеств модульного жилья

Глава I

1.1. Предпосылки формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



Численность населения в городе Норильске



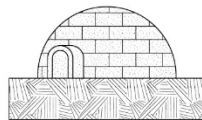
Сезонные виды деятельности в регионах Крайнего Севера

Таблица 4

Схема демографии и сезонных активностей региона

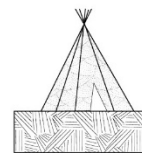
Глава I

1.2. Исторический опыт развития модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



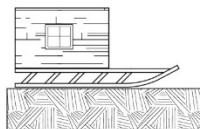
Иглу

Вход жилища обычно ориентирован на юго-восток. Одна из вариаций чума- голомо без окон и нар. Иглу –постройка куполообразной формы, диаметр которой достигает 3-4 метров, а высота 2-2,5 метра. Основной строительный материал – ледяные и снежные блоки. При большой глубине снежного покрова вход в иглу обустраивают в полу. Это обеспечивает сохранение тепла, благодаря его куполообразной форме и отсутствие задувания ветра.



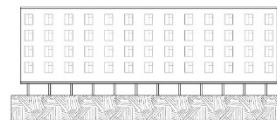
Чум

Круглая в плане конструкция формируется наклонными пестами, которые покрываются оленьими шкурами. Диаметр чума достигает до 8 метров, в нём может находиться до 20 человек. В центре находится очаг, над ним расположено отверстие, через которое выходит дым. Открывание двери зависит от направления ветра, зимой снаружи чума насыпали завалинку (токеда), служившую заслоном от ветра.



Балок

Балок — прямоугольный каркас, снаружи обтянутый оленьими шкурами, а изнутри — ситцем. Его устанавливают на больших санях, перевозят упряжкой из пяти — семи оленей. Окна в нем застеклены, есть железная печь, нары, стол, иногда стулья. Традиционные жилища северных народов объединяет простота сборки и возможность транспортировки, большинство примеров тяготеют к круглому плану, распределяться по всей площади жилья.



Дом на сваях

Рыхлые грунты — песчанники, галечники и глины — в условиях вечной мерзлоты ведут себя самым непредсказуемым образом. Возведённые на них сооружения нагревают грунт, и он теряет монолитность, начинает подтаивать и смещаться. Для предотвращения таяния вечной мерзлоты дома возводят на сваях, когда создается зазор между грунтом и основанием и обеспечивается естественная вентиляция мёрзлой поверхности

Таблица 5

Примеры исторически сложившихся типов жилья в условиях Крайнего Севера

Глава I

1.2. Исторический опыт развития модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКОГО ОПЫТА СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ
КРАЙНЕГО СЕВЕРА

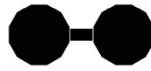
	ПЛАН	ФОРМА	ОСОБЕННОСТИ	ФОТО	СВЯЗИ			
ИГЛУ			- КРУГЛЫЙ ПЛАН - ОБТЕКАЕМАЯ ФОРМА - МОДУЛЬНОСТЬ - ТАМБУР - БЛОЧНОСТЬ - ЛЕД КАК СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ		КРУГЛЫЙ ПЛАН	БЛОЧНОСТЬ	МОДУЛЬНОСТЬ	ТАМБУР
ЧУМ			- КРУГЛЫЙ ПЛАН - ОБТЕКАЕМАЯ ФОРМА - МОБИЛЬНОСТЬ - СЕКЦИОННОСТЬ - МЕХ И КОЖА КАК СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ - АВТОНОМНОСТЬ					
ЮРТА			- КРУГЛЫЙ ПЛАН - ОБТЕКАЕМАЯ ФОРМА - МОБИЛЬНОСТЬ - СЕКЦИОННОСТЬ - МЕХ И КОЖА КАК СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ - АВТОНОМНОСТЬ					
ЯРАНГА			- КРУГЛЫЙ ПЛАН - ОБТЕКАЕМАЯ ФОРМА - МОБИЛЬНОСТЬ - СЕКЦИОННОСТЬ - МЕХ И КОЖА КАК СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ - АВТОНОМНОСТЬ					
БАЛАГАН			- ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ПЛАН - ОБТЕКАЕМАЯ ФОРМА - ЗЕЛЕНАЯ КРОВЛЯ - ИНТЕГРАЦИЯ В РЕЛЬЕФ - ДЕРЕВО КАК СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ		ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ПЛАН	ЗЕЛЕНАЯ КРОВЛЯ	МОБИЛЬНОСТЬ	ПРИПОДНЯТОЕ ОСНОВАНИЕ
БАЛЛОК			- ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ПЛАН - МОДУЛЬНОСТЬ - МОБИЛЬНОСТЬ - ПОЛОЗЫ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ					
ДОМА НА СВЯЯХ			- ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ПЛАН - ТАМБУР - СЕКЦИОННОСТЬ - ПРИПОДНЯТОЕ ОСНОВАНИЕ - ЧАСТИЧНО ЗАВОДСКОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ - ЗАВИСИМОСТЬ ОТ СЕТЕЙ СНАБЖЕНИЯ					
							ПОЛОЗЫ	ФАБРИЧНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ
							МОДУЛЬНОСТЬ	

Таблица 6

Сравнительный анализ исторического опыта домостроения в условиях Крайнего Севера

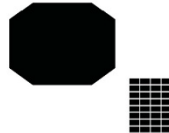
Глава I

1.3. Современный опыт развития модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



Название: Конкордия
Расположение: Антарктика
Год постройки: 2005
Функция: научная станция
Структура: совмещённые блоки
Релевантность:
 Модульная структура станции позволяет увеличивать или сокращать общие площади

Фото:



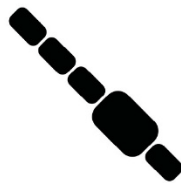
Название: Принцесса Елизавета
Расположение: Антарктика
Год постройки: 2009
Функция: научная станция
Структура: единый блок
Релевантность:
 Использование солнечных панелей и ветровых турбин делает станцию полностью автономной

Фото:



Название: Команданте Феррас
Расположение: Антарктика
Год постройки: 2018
Функция: исследовательская станция
Структура: совмещённые блоки
Релевантность:
 Интерьеры станции разделены на тепловые отсеки, что позволяет повысить энергоэффективность

Фото:



Название: Халли
Расположение: Антарктика
Год постройки: 2013
Функция: научная станция
Структура: блочная цепь
Релевантность:
 Модульная, мобильная научная станция с применением современных технологий и материалов

Фото:



Название: Мансхаузен
Расположение: Норвегия
Год постройки: 2018
Функция: отель
Структура: отдельные блоки
Релевантность:
 Отдельные модули повысили туристический поток и уровень сервиса на отдалённом острове

Фото:



Название: Амундсен Скотт
Расположение: Антарктика
Год постройки: 2003
Функция: научный комплекс
Структура: совмещённые блоки
Релевантность:
 Современные материалы и энергетическая независимость комплекса

Фото:



Таблица 7

Анализ международного опыта проектирования в условиях Крайнего Севера и Антарктики

Глава I

1.3. Современный опыт развития модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



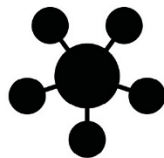
Название: Восток
Расположение: Антарктика
Год постройки: 2022
Функция: научная станция
Структура: блочная цепь
Релевантность:
 Вершина отечественных технологий в освоении Антарктики, демонстрирует технологичность и актуальный дизайн



Название: LeapRus
Расположение: Эльбрус
Год постройки: 2013
Функция: отель
Структура: отдельные блоки
Релевантность:
 Современные отельные модули повысили туристический поток и стали узнаваемым символом



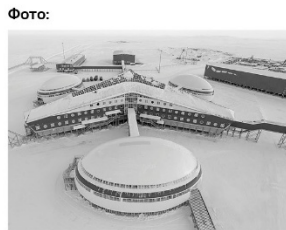
Название: Вахтовые поселки
Расположение: Арктический регион
Год постройки: конец XX века
Функция: жилая
Структура: отдельные блоки
Релевантность:
 Вахтовые поселки подчеркивают актуальность модульного жилья для территорий Крайнего Севера



Название: Снежинка
Расположение: ЯНАО
Год постройки: проект
Функция: научная станция
Структура: центральное ядро
Релевантность:
 Полная автономность, уникальный и узнаваемый дизайн с применением современных технологий



Название: Трилистник
Расположение: о. Земля Александры
Год постройки: 2014
Функция: военная база
Структура: центральное ядро
Релевантность:
 Отдаленное расположение базы от крупных городов и жилых поселений, полная автономность



Название: Мирный
Расположение: Антарктика
Год постройки: 1956
Функция: исследовательская станция
Структура: блочное поселение
Релевантность:
 Первая советская исследовательская станция в Антарктиде, представляет собой поселение с центральным ядром

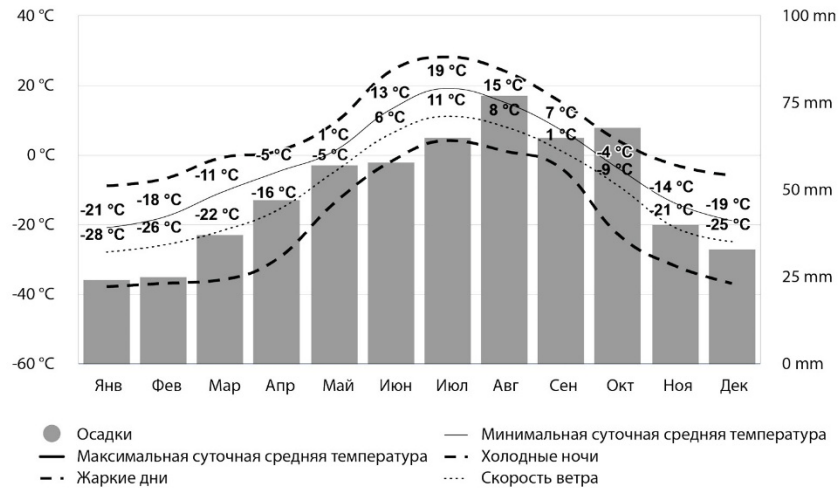


Таблица 8

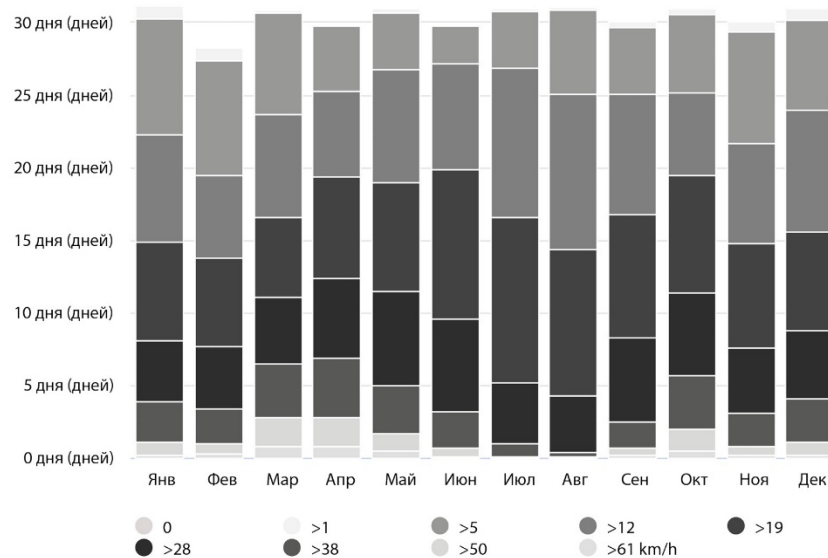
Анализ отечественного опыта проектирования в условиях Крайнего Севера и Антарктики

Глава II

2.1. Климатические факторы влияющие на формирование архитектуры модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



Среднесуточная температура



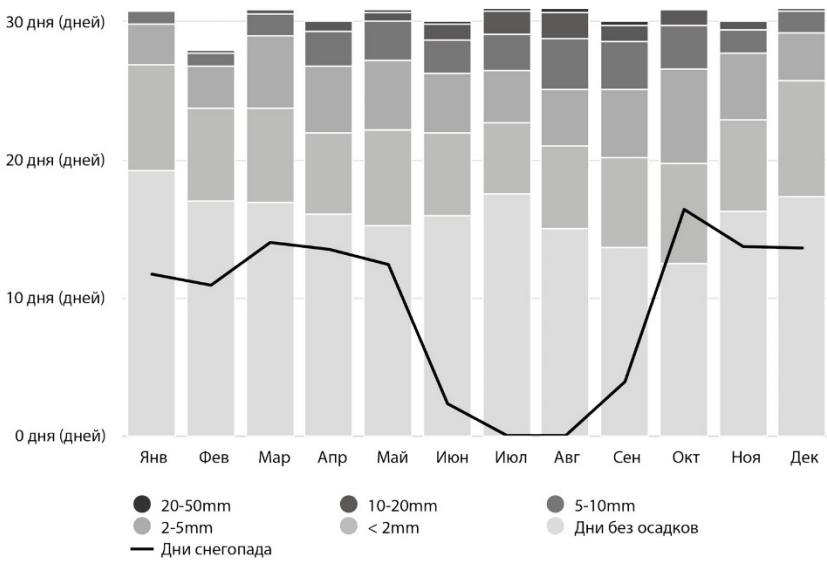
Скорость ветра по месяцам

Таблица 9

Схемы метеорологических данных для города Норильск

Глава II

2.1. Климатические факторы влияющие на формирование архитектуры модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



Среднемесячное количество осадков

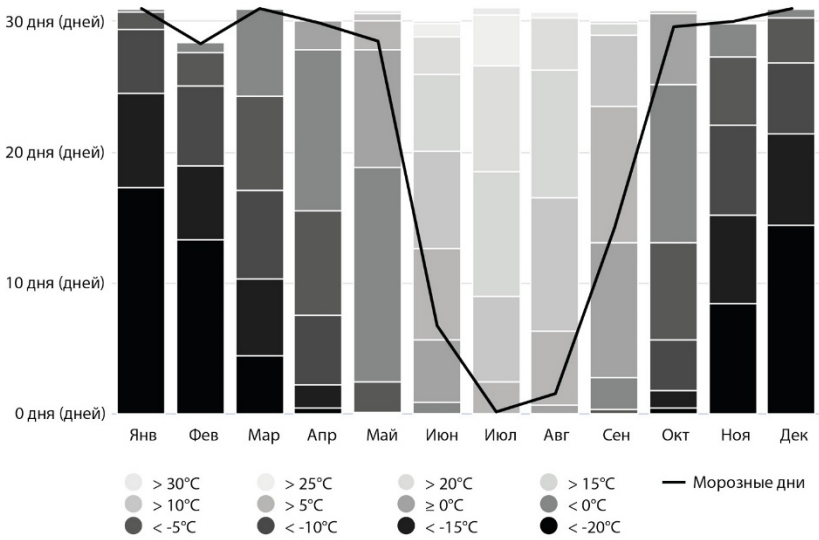


График температур по месяцам

Таблица 10

Схемы метеорологических данных для города Норильск

Глава II

2.1. Климатические факторы влияющие на формирование архитектуры модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

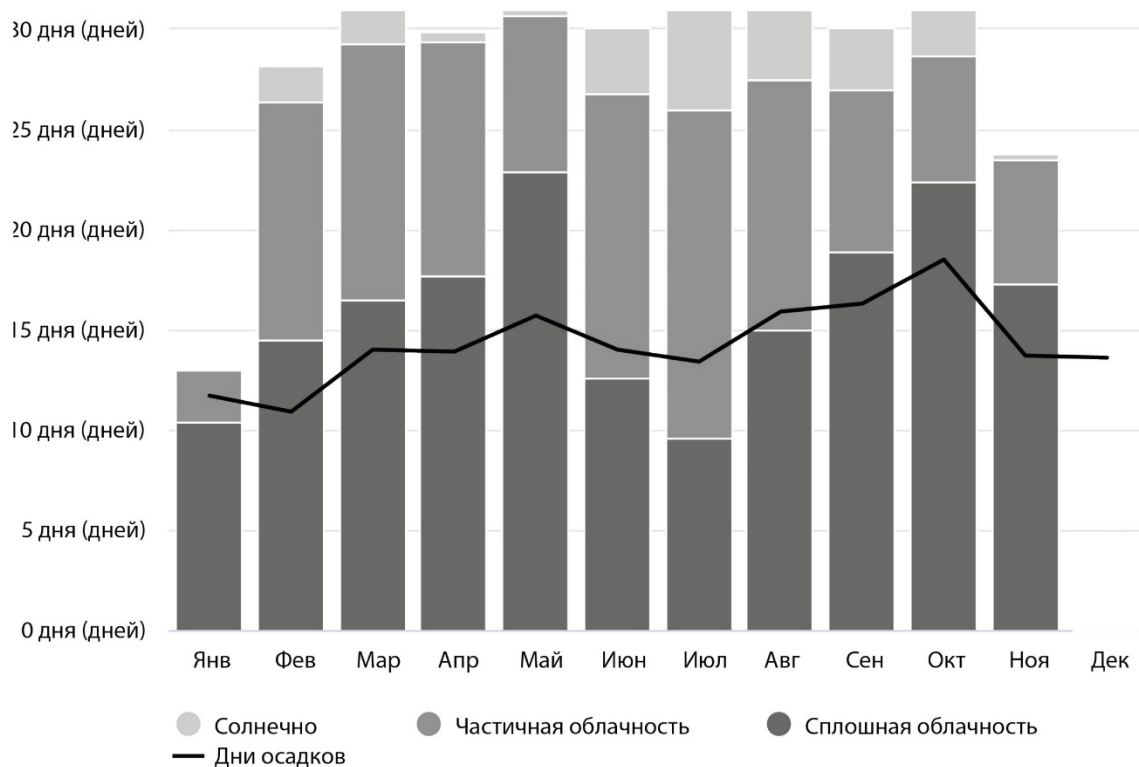


График облачности

Таблица 11

Схемы метеорологических данных для города Норильск

Глава II

2.3. Конструктивные принципы

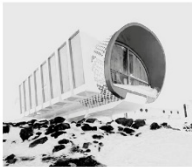
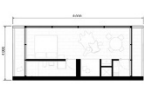
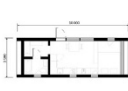
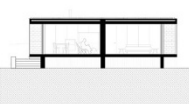
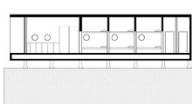
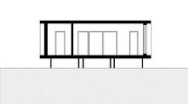
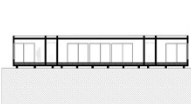
Название	Lapinha Studio	Sacromonte Shelters	LEAPrus 3912	TOPOL 27	Modhus Gonçalves House
Фото экстерьера					
План					
Разрез					
Фото интерьера					
Описание	мебель в комнате компактна, противоположно столу размещён угловой кухонный гарнитур, у смежной с входом стены, возле витражного остекления, находится небольшой обеденный стол на две персоны	в основе планировочного решения принцип открытого пространства дополненный отделенными в отдельные комнаты санузлом и кухней	принцип организации пространства -анфиладный, эргономичная мебель вписана в форму модуля. Пространства четко зонированы, нанизываясь на единую центральную ось	данное планировочное решение компактно и аскетично, за счёт трансформируемых перегородок доступна вариативность зонирования, основной планировочный принцип-общее открытое пространство	минималистичные, но функциональные интерьерные решения компенсируют скромные габариты модуля, вкупе с витражным остеклением визуально расширяя пространство. Широкая вариативность решений позволяет формировать комплекс под нужды заказчика
Форма	Прямоугольная	Прямоугольная	Цилиндрическая	Прямоугольная	Прямоугольная
Конструкции	Сборно-разборный каркас	Сборно-разборный каркас	Цельный модуль	Цельный модуль	Сборно-разборный каркас
Материал	Дерево	Металл	Металл	Металл	Металл
Страна	Бразилия	Уругвай	Россия	Россия	Бразилия
Год постройки	2021	2017	2013	2021	2017
Габариты	5,00 x 5,50	8,00 x 4,00	12,00 x 3,00	10,00 x 3,50	20,00 x 5,50

Таблица 12

Анализ архитектурных особенностей модульных объектов

Глава II

2.3. Конструктивные принципы

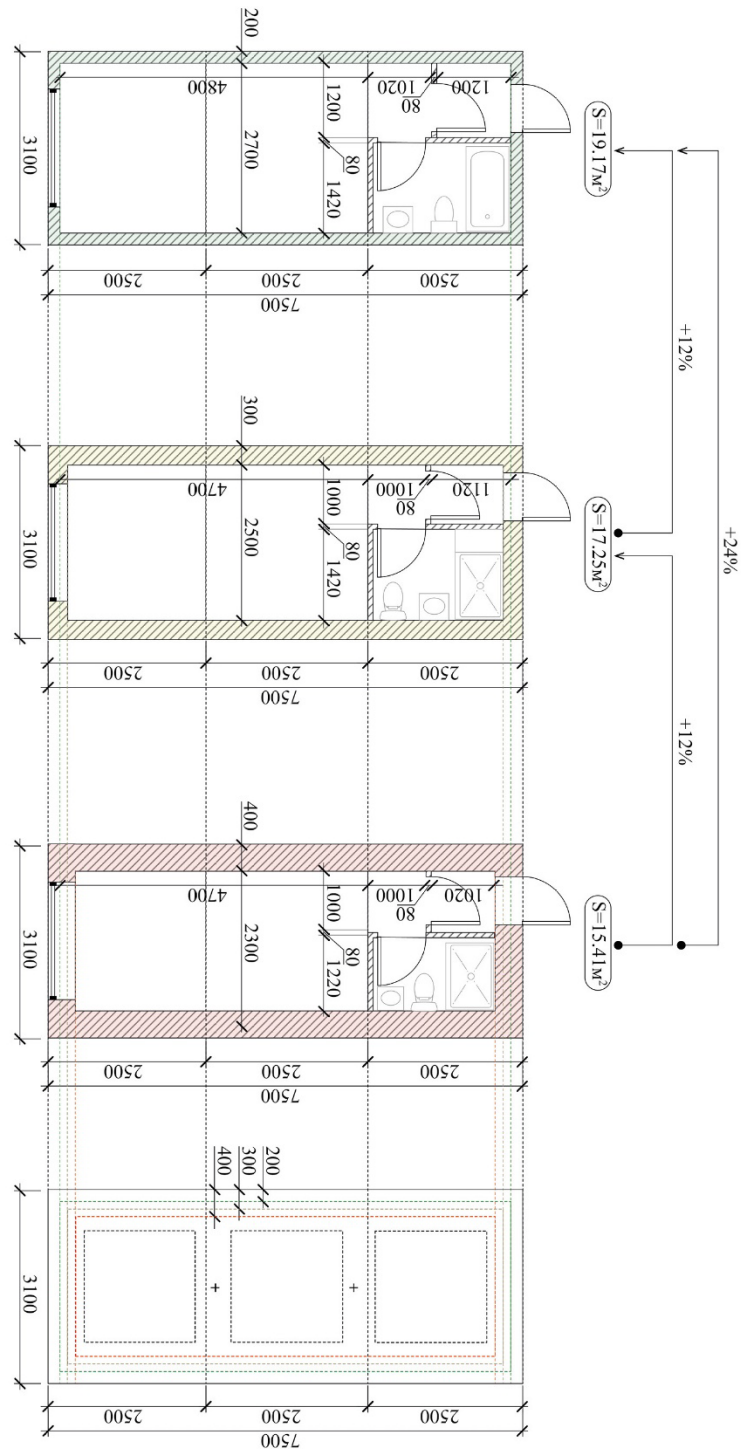
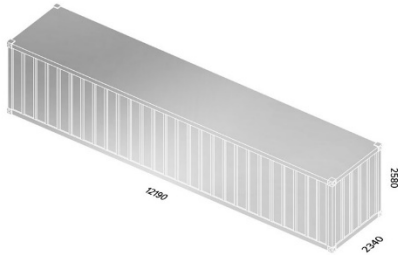


Таблица 13

Анализ архитектурных особенностей модульных объектов

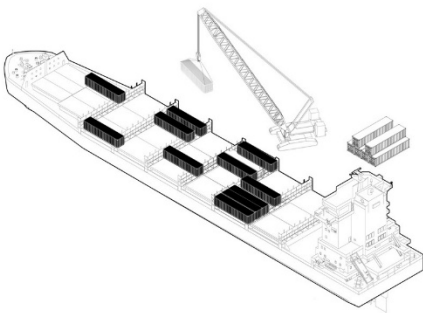
Глава II

2.4. Влияние логистических факторов на архитектуру



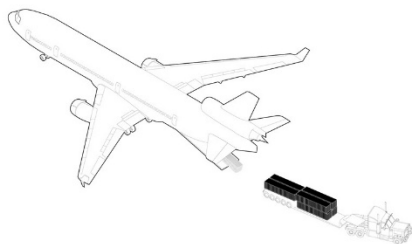
Транспортный контейнер

Транспортный контейнер — стандартная металлическая тара для перевозки грузов, незаменимая для доставки на Север. Наиболее распространены 20- и 40-футовые контейнеры (6 и 12 м) шириной 2,44 м и высотой 2,59–2,9 м. Унификация размеров облегчает транспортировку и хранение в суровых условиях. Благодаря прочности и стандартизации контейнеры используются во всех видах транспорта.



Водный транспорт

На водном транспорте контейнеры играют ключевую роль, обеспечивая удобную и безопасную перевозку грузов. Судна-контейнеровозы рассчитаны на тысячи стандартных 20- и 40-футовых контейнеров, что значительно ускоряет погрузку и разгрузку. Унификация размеров позволяет легко перегружать контейнеры с кораблей на железнодорожные платформы и автотранспорт. Такой подход особенно важен для доставки грузов в северные регионы по морским маршрутам.



Воздушный транспорт

В воздушных грузоперевозках контейнеры применяются для упрощения и ускорения логистики. Их конструкция адаптирована под размеры и форму грузовых отсеков самолетов. Контейнеры защищают грузы от повреждений и погодных условий во время полета. Благодаря стандартизации их легко перегружать между разными видами транспорта, что важно для доставки товаров в труднодоступные северные районы.

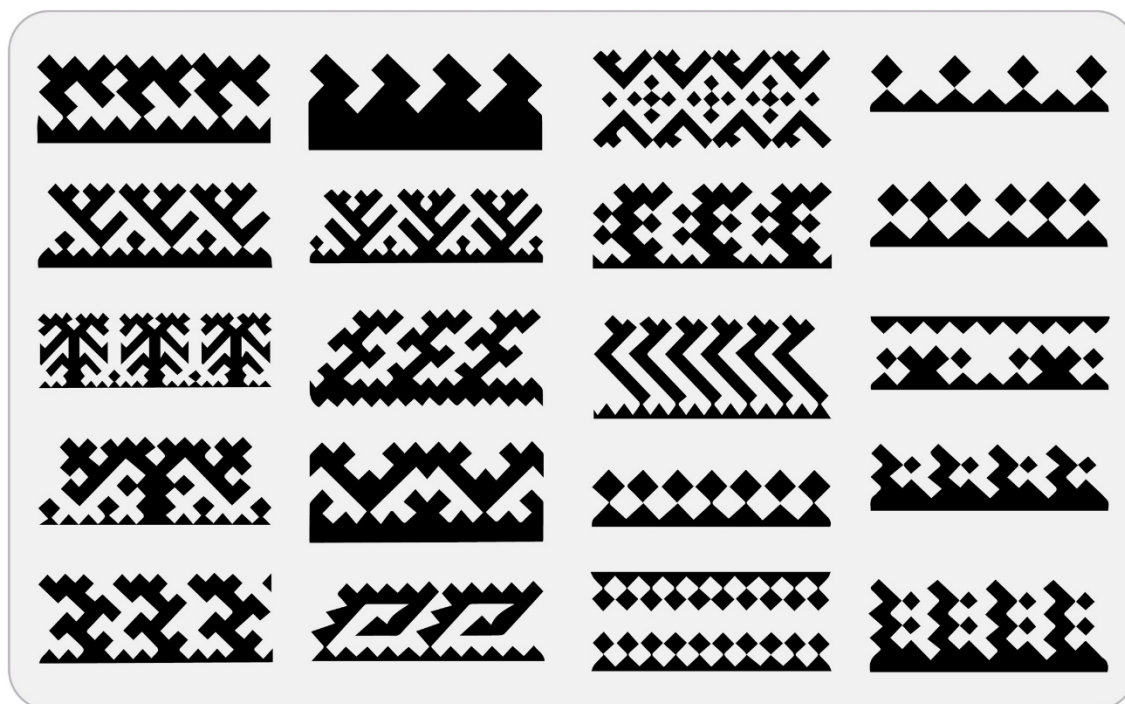
Таблица 14

Схемы применения контейнеров в логистических цепочках

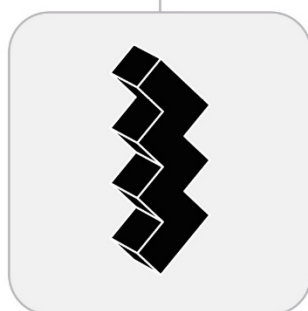
Глава II

2.6. Влияние культурных особенностей региона на архитектуру

УЗОРЫ КОРЕННЫХ НАРОДОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

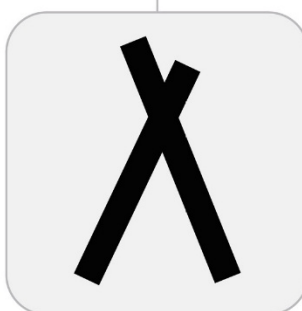


АРХИТЕКТУРНЫЕ ПРИЁМЫ



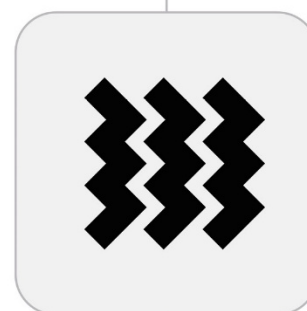
ОБЪЁМ

Использование орнамента и узоров в объёмных композициях и элементах интерьера, таких как колонны и декоративные стойки



ФОРМООБРАЗОВАНИЕ

Отсылки к традиционным формам и жилищам при проектировании архитектурных объектов



ДЕКОР

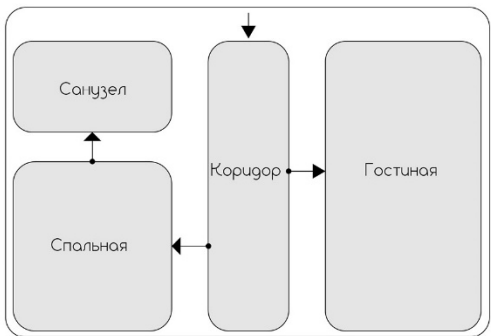
Фасадный и интерьерный декор с применением традиционных узоров и орнаментов

Таблица 15

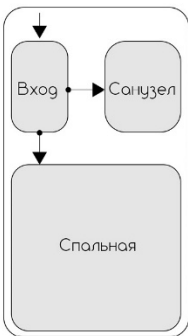
Особенности формообразования традиционных жилищ народов Крайнего Севера

Глава II

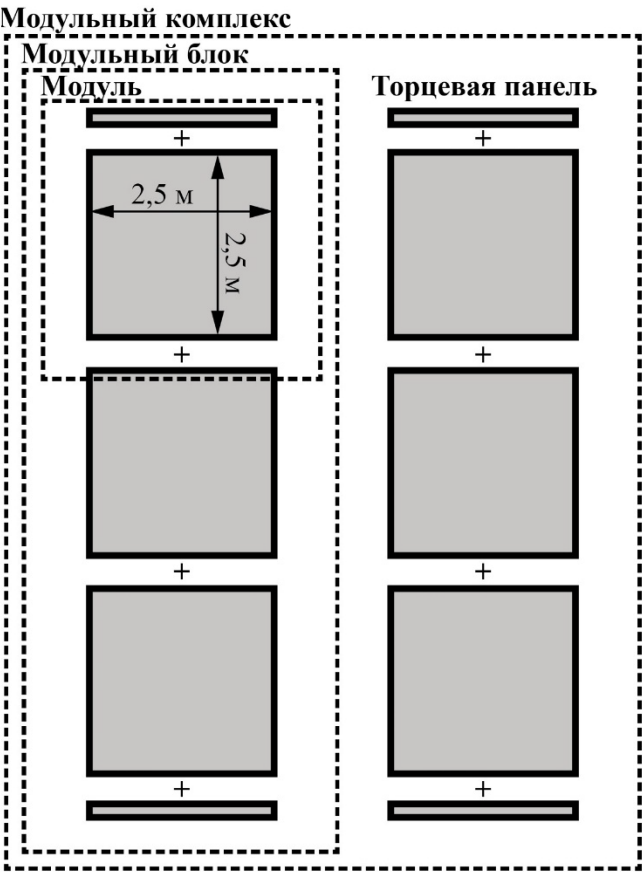
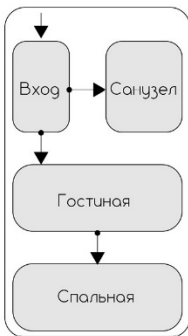
2.7. Архитектурно-планировочные принципы



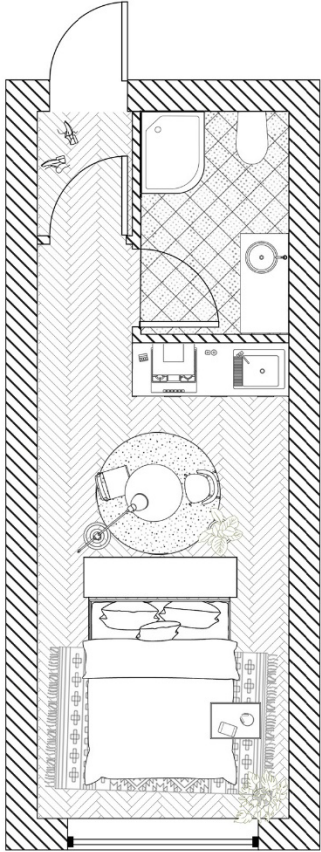
Функциональная схема жилого блока



Функциональная схема модульного жилого блока



Составные компоненты модульной жилой системы



План-схема жилого блока

Таблица 16

Планировочная структура модульных жилых единиц

Глава III

3.1 Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Глемпинг в Александровском лесу



Глемпинг на берегу Чёрного моря



Глемпинг в Быковских бурунах



Таблица 17

Проект глемпингов для концепции развития туристического маршрута Москва-Сочи

Глава III

3.1 Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

GENERALIZATION



The definition of ZERNO in Russia means a seed of plant. This project was inspired by dandelion lifecycle, which can fly for kilometres till it drop down in the fertile ground.

Minimum conditions provoke the growth as well as minimum actions can run the gradual developing of ZERNO's structure.

POLLINATION

5 years



GENERALIZATION



Water tower from time immemorial was one of the most significant structure in traditional Russian cities. Besides the fact that they met the household needs, they also served as a landmark, that showed town progress and success.

Nowadays the majority of preserved towers have become symbols of their towns. Emerging of symbolic value is a significant point in projects which strongly connected with human capital.

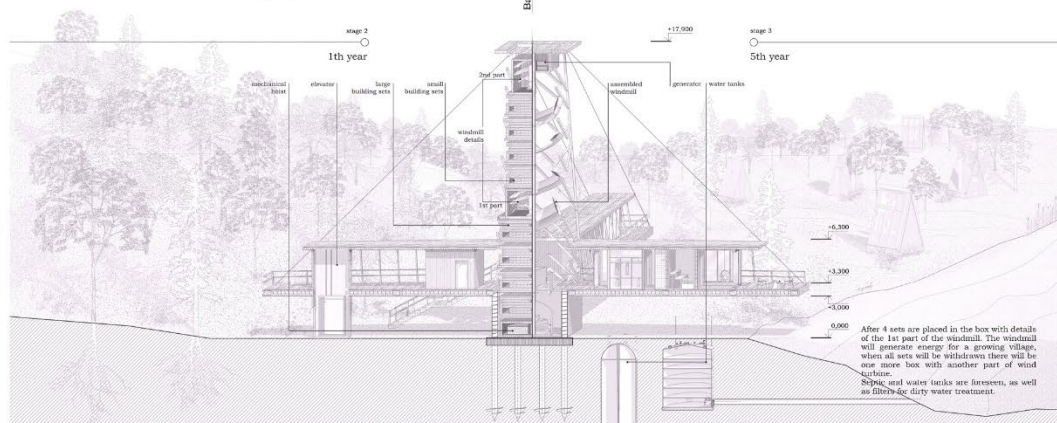
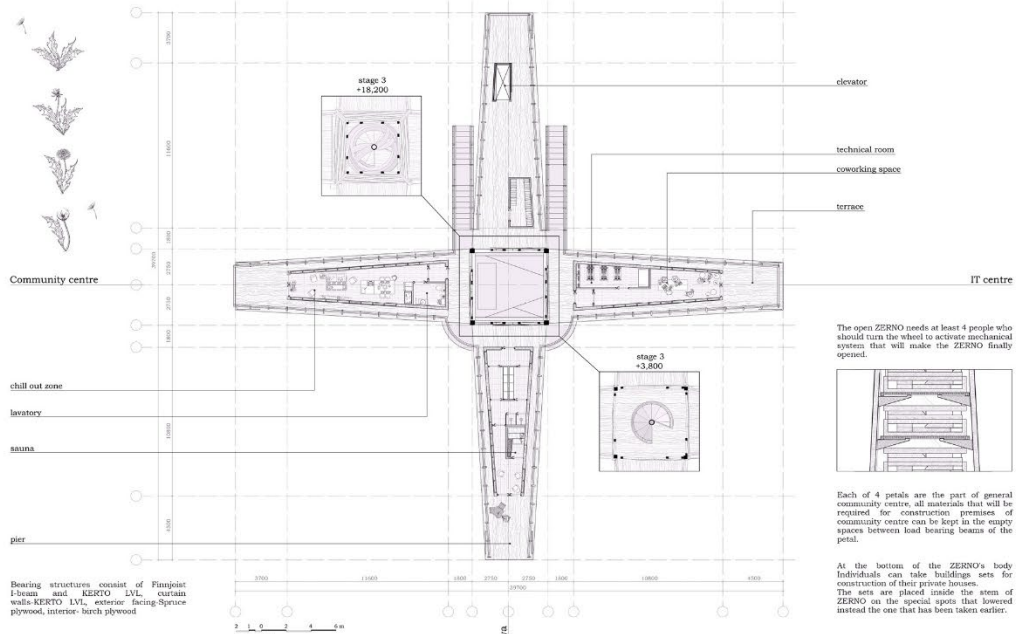


Таблица 18

Конкурсный проект Zerno, разработанный автором для международного конкурса Urban adaptation, подрамник 1

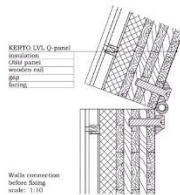
Глава III

3.1 Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

COLLECTION

Since the windmill will be finally completed, another phase of ZERNO lifecycle – Generation will begin. At this stage ZERNO becomes a complex with own ecosystem. Generated energy will be more than enough to create a small IT centre. Before the windmill will be installed, electrical autonomy is achieved by solar panels.

Wall structures consist of KERFO LVL, Q-panel, OCB panel, insulation and facing panels.



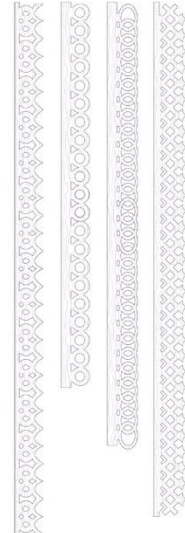
Module prefabricated house units have several, differing in size, types. They are easy to construct, and may be combined with each other.

GENERATION

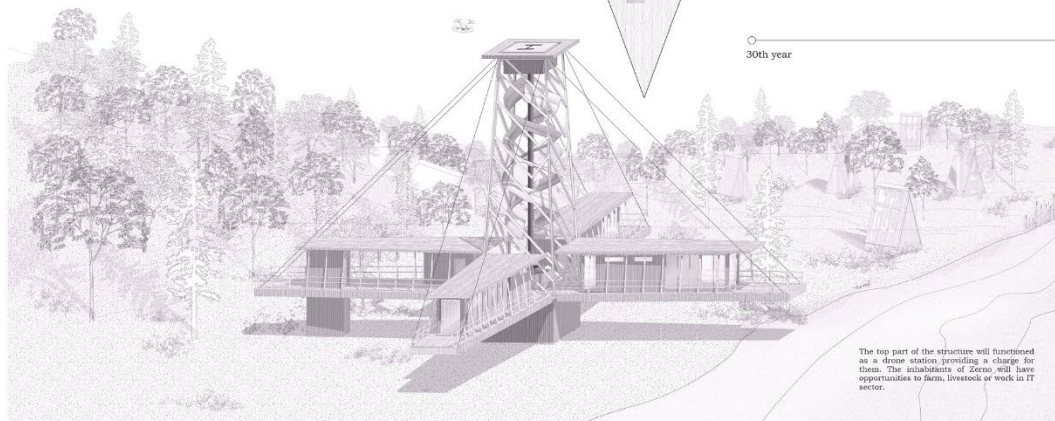
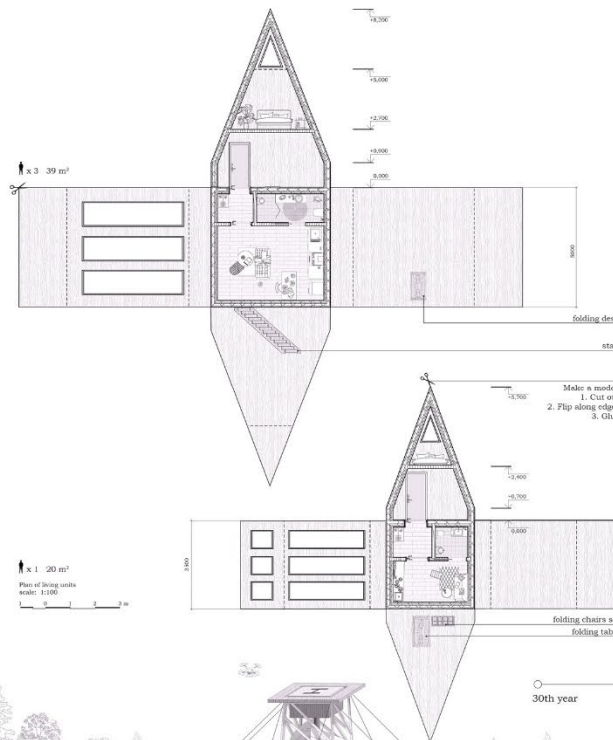
30 years



REDEMPTION



The traditional Russian decorative patterns may be found all around the country. They bring diversity to the houses design and serve as a distinctive feature.



The top part of the structure will functioned as a drone station providing a charge for them. The inhabitants of Zerno will have opportunities to farm, livestock or work in IT sector.

Таблица 19

Конкурсный проект Zerno, разработанный автором для международного конкурса Urban adaptation, подрамник 2

Глава III

3.1 Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Cycle

At the beginning

Circle is extremely simple and perfect form without beginning and ending. This word refers not only to geometry, but to etymology of word "cycle". Cyclicity in nature, emphasized by a circle can be observed in the wood cuts, where rings (circles) signify the years (cycles). Cyclical nature of time and history have long ago turned into full philosophical theories. Movement of celestial objects and human body equally obey to the Cycles.

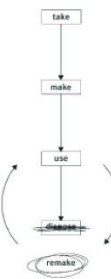
Despite the fact that even traditional clocks have a circle shape, it is just endless repetition and too static shape to define such complicated construct as time.

In the architecture area, circle shape is the most ancient due to the simplicity and widespread both in sacred. Moreover, all things which shaped by circle is extremely ergonomic: wheel, vessel, forms of vernacular dwellings of different peoples (wigwam, tipi, igloo).

In modern days words "circle", "cycle" and the derivatives are used to describe various of economic terms, for instance, "circular economy".

Circular economy:

An economical model of production and consumption, aimed to share, reuse, repair, refurbish and recycle existing materials and products as long as possible.



Helix is shape derivatized from circle. It also exist under certain cycles, but it is the endless form.

According to the Third law of Hegelian dialectic as a result of the negation of the negation, "something becomes its other; this other is itself something; therefore it likewise becomes an other, and so on ad infinitum. Development is the negation process. Progressiveness and repeatability in the movement turn the cycle into a helix. In other words, time and history also can be successfully represented as helix.

Practically helix is used by Eskimos who build the igloo attaching the snow blocks on spiral vector, gradually narrowed to the vault.

Thus, the spiral shape allows to represent the main values of the project: time, pursuit of development and reference to vernacular architecture

In the end

Infinity

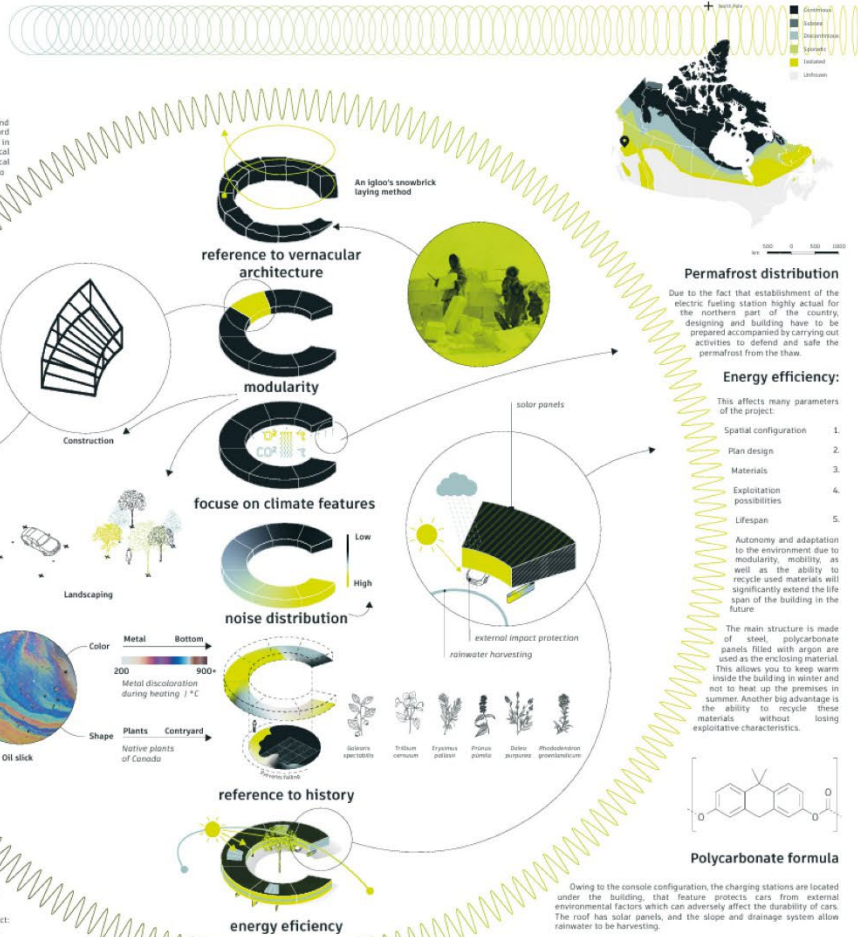


Таблица 20

Конкурсный проект VIM, разработанный автором для международного конкурса The Electric Fueling Station of the Future, подрамник 1

Глава III

3.1 Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

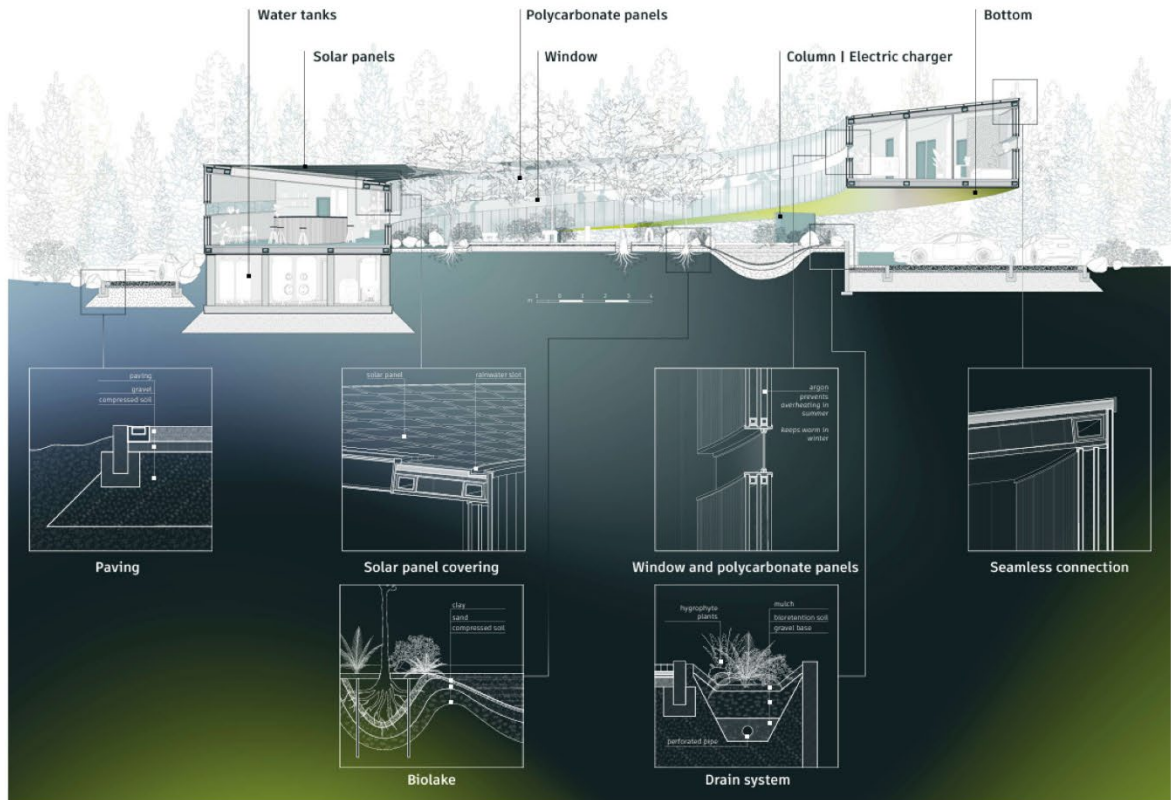


Таблица 21

Конкурсный проект VIM, разработанный автором для международного конкурса The Electric Fueling Station of the Future, подрамник 2

Глава III

3.1 Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



Таблица 22

Конкурсный проект VIM, разработанный автором для международного конкурса The Electric Fueling Station of the Future, подрамник 3

Глава III

3.1 Апробация принципов формирования модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

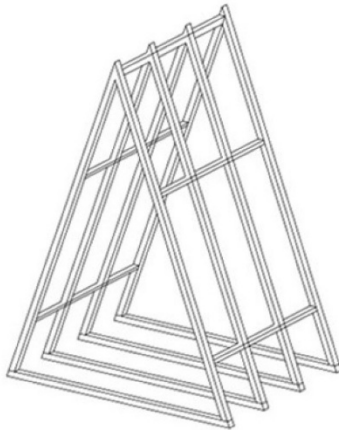


Таблица 23

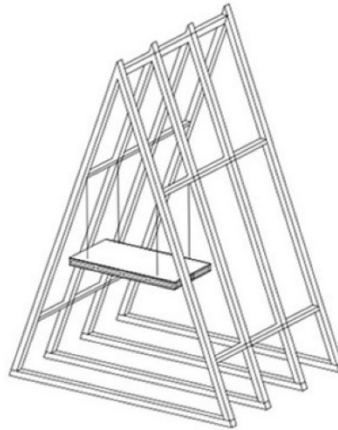
Конкурсный проект Panacea, разработанный автором для международного конкурса New Spatial Reality of Cities Post-COVID 19

Глава III

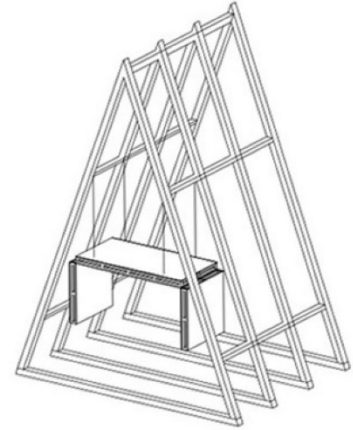
3.2 Проектно-экспериментальное моделирование модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



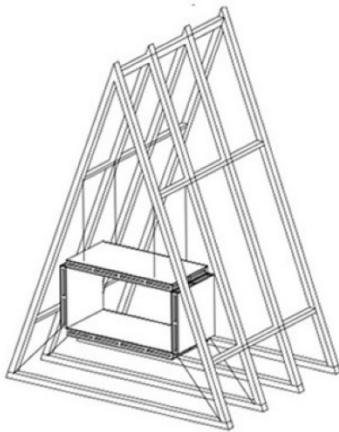
Шаг 1



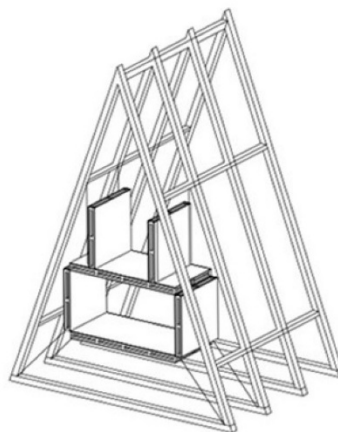
Шаг 2



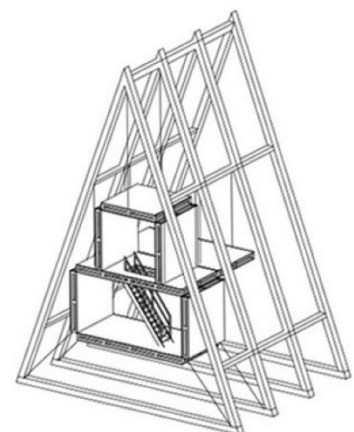
Шаг 3



Шаг 4



Шаг 5



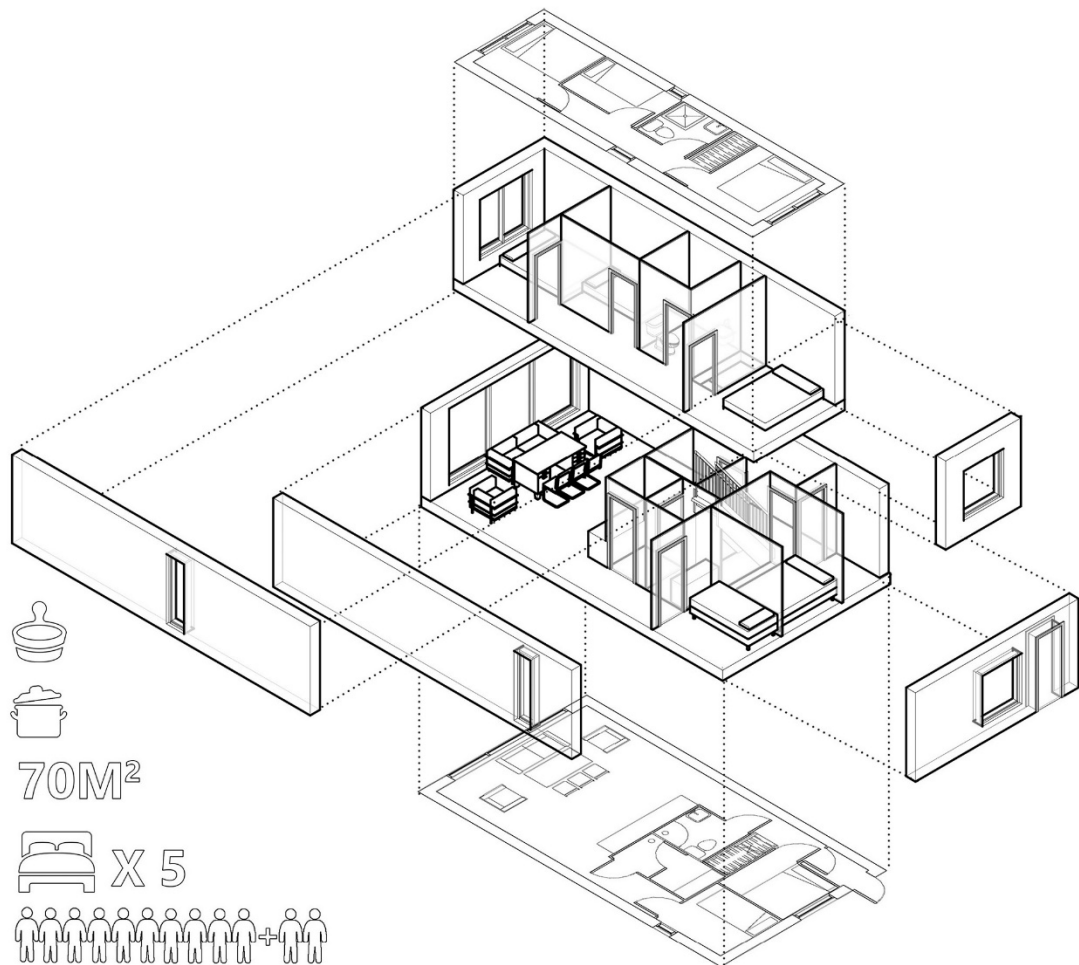
Шаг 6

Таблица 24

Схема пошаговой сборки модульного жилого блока

Глава III

3.2 Проектно-экспериментальное моделирование модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



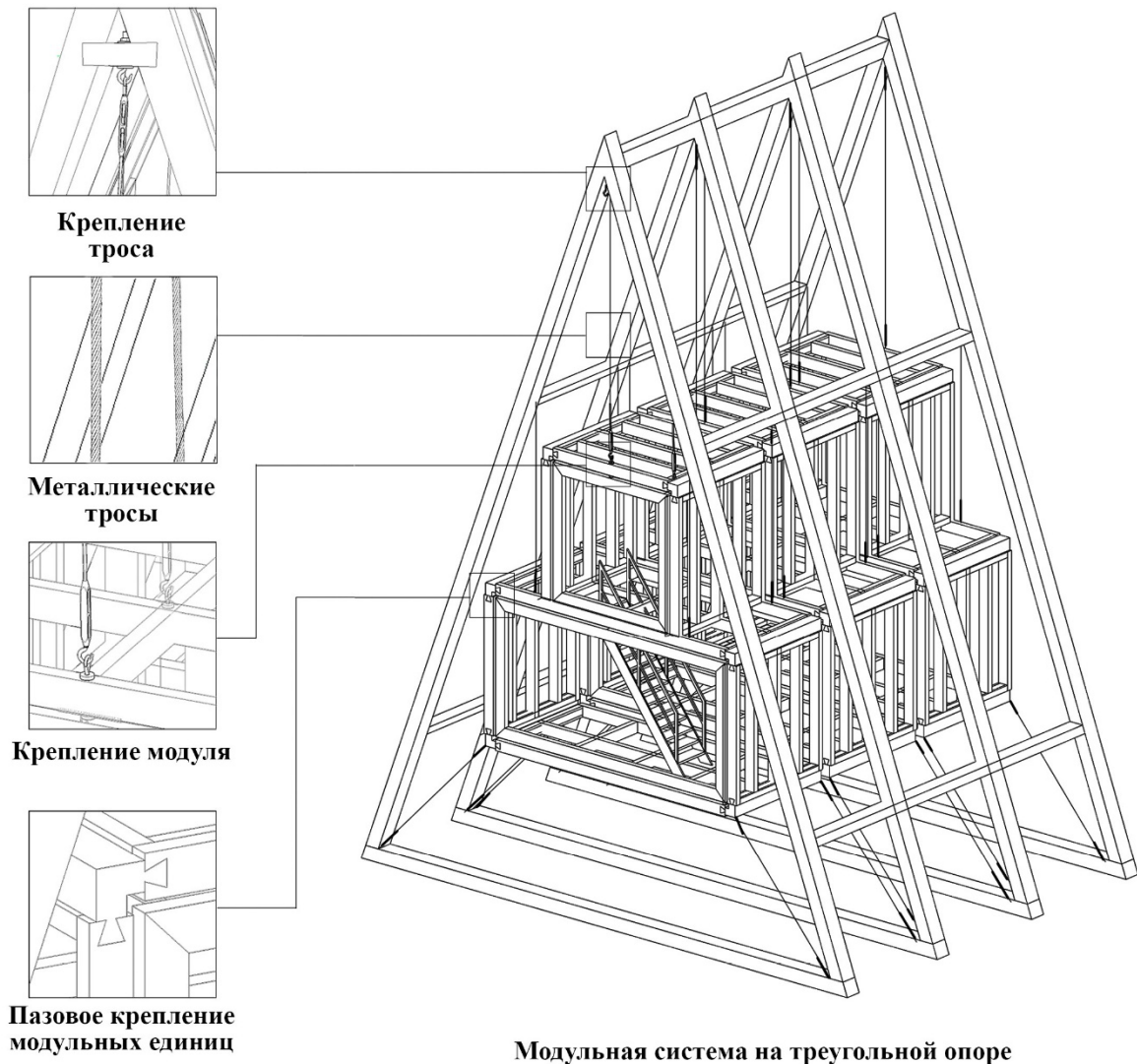
Размеры одного модуля составляют 2,5х2,5 м, благодаря эргономичной компоновке, включающей в себя индивидуальную мебель и трансформируемые перегородки, достигается максимальная функциональность планировочных решений. Для обеспечения большей площади пространств, подразумевающего размещение семей или групп более 2 человек, существует укрупнённый модульный блок с габаритами 2.5м х 5.6м. Планировочные решения с применением укрупнённого модуля, позволяют значительно увеличить вариативность интерьерных решений с возможностью надстройки второго этажа.

Таблица 25

Взрыв-схема укрупненного модульного блока

Глава III

3.2 Проектно-экспериментальное моделирование модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



Треугольная опора, лежащая в основе конструкции для фиксации модулей, представляет собой multifunctional элемент, адаптированный к сложным природно-климатическим условиям Крайнего Севера. Пространственная форма обеспечивает высокую продуваемость грунта, предотвращая накопление снега и способствуя естественной вентиляции грунта, что особенно важно для сохранения вечномёрзлой почвы и предотвращения её деградации. На наклонных поверхностях опоры могут быть закреплены солнечные панели и маломощные ветрогенераторы, что повышает уровень энергообеспечения модулей в удалённых районах.

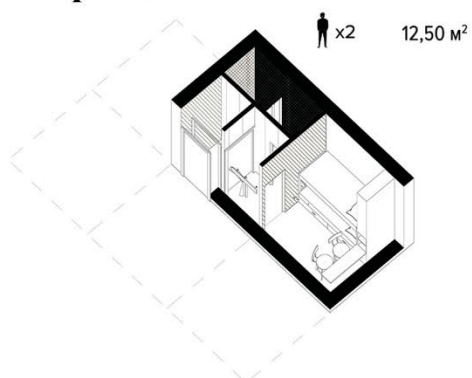
Таблица 26

Схема конструктивного каркаса модульной жилой системы

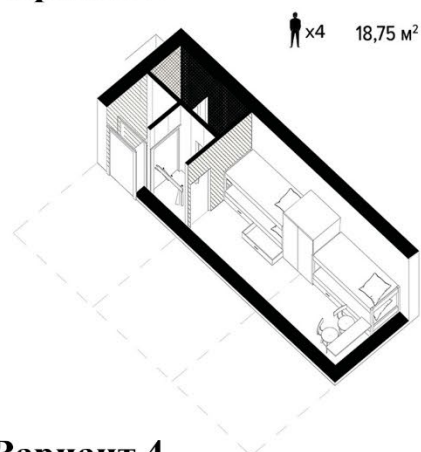
Глава III

3.2 Проектно-экспериментальное моделирование модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

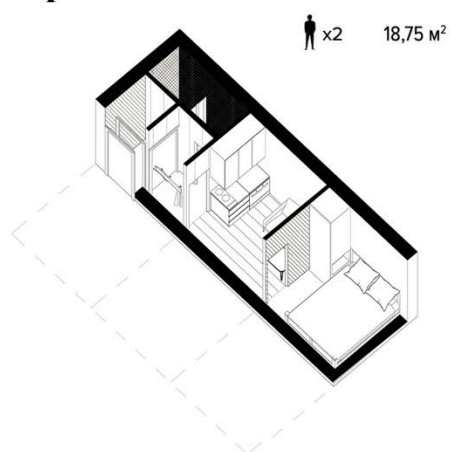
Вариант 1



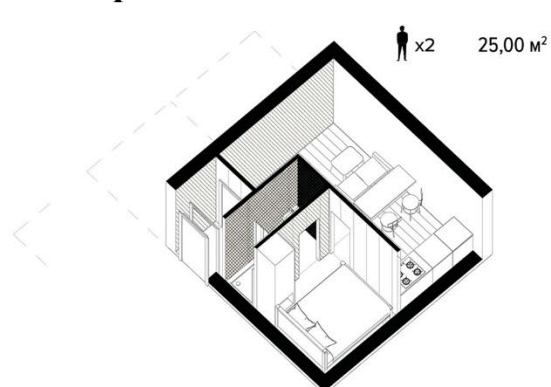
Вариант 2



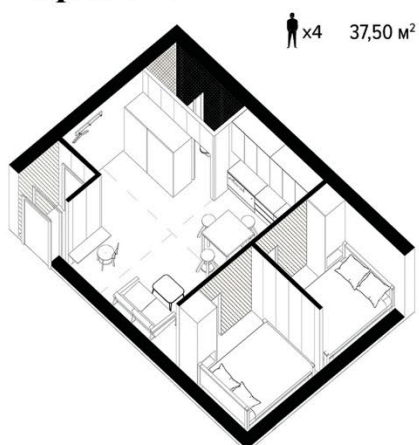
Вариант 3



Вариант 4



Вариант 5



Вариант 6

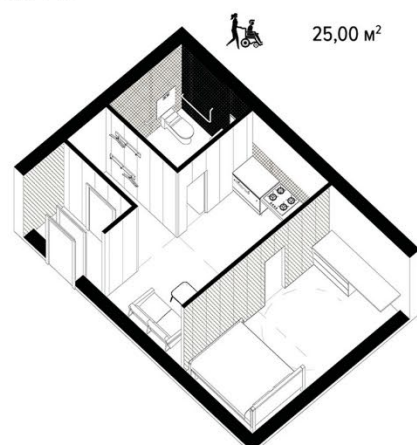


Таблица 27

Варианты компоновки модулей

Глава III

3.2 Проектно-экспериментальное моделирование модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



Таблица 28

Визуализации модульной жилой системы для Крайнего Севера

Глава III

3.2 Проектно-экспериментальное моделирование модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера



Таблица 29

Визуализации модульной жилой системы для Крайнего Севера

Глава III

3.3. Рекомендации по проектированию модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

ТИПОЛОГИ МОДУЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

	УТИЛИТАРНЫЕ	ЖИЛЫЕ	ОБЩЕСТВЕННЫЕ
СРЕДОВЫЕ			
УНИКАЛЬНЫЕ			

МАТРИЦА СООТНОШЕНИЯ ТИПОЛОГИЙ И ПРИНЦИПОВ МОДУЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

				
НЕБОЛЬШАЯ ЭТАЖНОСТЬ				
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ				
ЯРКИЕ ЦВЕТА				
ДЕКОРАТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ				
КУЛЬТУРНЫЕ ОТСЫЛКИ				
УНИКАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ				
УНИКАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН				
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ				

Таблица 30

Схема типовых модульных единиц и характерных принципов каждой типологии

Глава III

3.3. Рекомендации по проектированию модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

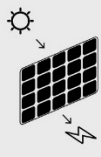
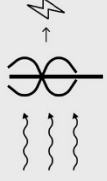
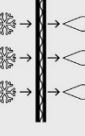
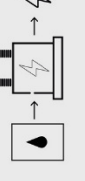
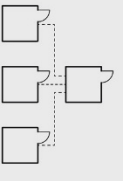
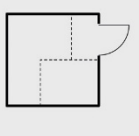
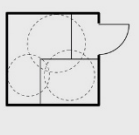
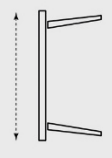
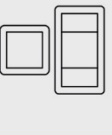
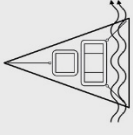
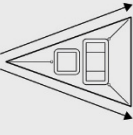
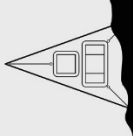
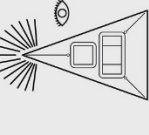
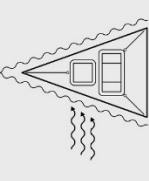
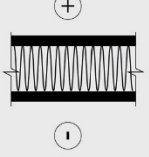
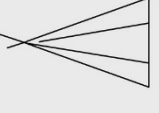
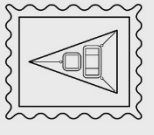
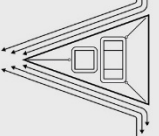
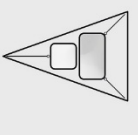
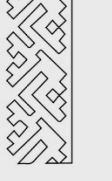
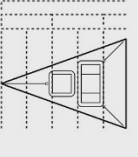
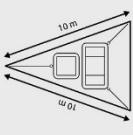
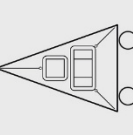
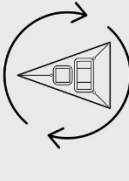
Автономность	 Солнечная энергия	 Ветровая энергия	 Плавление снега	 Фильтрация серых вод	 Топливный генератор	 Экологичность
Трансформирова- тельность	 Модульность	 Вариативность	 Свободная планировка	 Эргономичность	 Компактная мебель	 Блочность
Адаптивность	 Приподнятое основание	 Устойчивость	 Учёт рельефа	 Заметность	 Плавные формы	 Теплоизоляция
Эстетика	 Исторические отсылки	 Узнаваемость	 Форма	 Материал	 Культура	 Пропорции
Логистика	 Фабричное производство	 Габариты	 Транспортировка	 Мобильность	 Повторное использование	 Универсальность

Таблица 31

Систематизация архитектурных принципов