

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский архитектурный институт
(государственная академия)»

На правах рукописи

ГАБИТОВ Саяр Тахирович

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ В
ГОРОДАХ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО И ТАЙМЫРСКОГО РЕГИОНОВ**

Специальность 2.1.12 – Архитектура зданий и сооружений
Творческие концепции архитектурной деятельности

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание степени кандидата архитектуры

Научный руководитель
Кандидат архитектуры, доцент
Барчугова Елена Викторовна

Москва – 2026 г.

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СУЩЕСТВУЮЩИЕ СТРАТЕГИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ГОРОДА	13
1.1 Эволюция стратегий освоения Арктики.....	14
1.1.1 Актуализация целей и задач развития АЗРФ.....	14
1.1.2 Эволюция и ревизия теоретических и практических освоенческих схем Арктики в СССР.....	16
1.1.3 Анализ подходов к освоению Арктики в зарубежных арктических государствах в сравнении с советской освоенческой моделью.....	18
1.1.4 Поиски нового комбинированного освоенческого подхода.....	20
1.2 Специфика архитектурной организации инфраструктурных объектов в Арктике.....	25
1.2.1 Характеристика климатических условий Ямала и Таймыра и их влияние на арктическую архитектуру.....	25
1.2.2 Функциональная комплексность как основа жизнедеятельности арктических населенных мест.....	31
1.2.3 Выявление жизнеобеспечивающих направлений развития арктических городов.....	35
1.3 Подходы к организации гибкости и адаптивности объектов системного жизнеобеспечения.....	47
1.3.1 Пространственно-временная философия культуры северных народов...	47
1.3.2 Модульность и адаптивность в архитектуре XX века.....	48
1.3.3 Особенности архитектурных решений и строительные технологии удаленных арктических и антарктических научных станций.....	52
ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ.....	56
ГЛАВА 2. АРКТИЧЕСКИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА ОБНОВЛЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ ТАЙМЫРСКОГО (ДОЛГАНО-НЕНЕЦКОГО) РАЙОНА И ЯМАЛО- НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА.....	57
2.1 Концепция Арктического специализированного комплекса. Общие объемно- пространственные и конструктивные решения.....	57
2.2 Агропромышленный компонент АСК.....	67
2.3 Логистический компонент АСК.....	78
2.4 Научно-образовательный компонент.....	88

2.5 Медицинский компонент АСК	94
2.6 Энергетический компонент АСК	101
ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ	107
ГЛАВА 3. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ ТИПОЛОГИИ АСК В ГОРОДА РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА И ТАЙМЫРСКОГО ДОЛГАНО-НЕНЕЦКОГО РАЙОНА	108
3.1 Общая схема размещения комплексов АСК – алгоритм определения состава и мощности комплекса.....	108
3.2 Разработка концепции АСК для поселка-изолята на примере пгт Диксон Анализ поселка Диксон: функциональная роль и современное состояние	112
3.3 Разработка концепции АСК для городов субпериферии на примере города Дудинка	121
3.4 Разработка концепции АСК для Арктических столиц на примере города Новый Уренгой.....	125
ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ.....	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	131
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	136
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	136
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ:.....	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ	152
СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ.....	152
Глава 1. Существующие стратегии и актуальные принципы создания объектов жизнеобеспечения арктического города.....	152
Глава 2. Арктический специализированный комплекс как основа обновления жизнедеятельности городов и поселений Таймырского (Долгано-Ненецкого) района и Ямало-Ненецкого автономного округа.....	174
Глава 3. Концептуальные предложения по внедрению типологии АСК в города различного функционального профиля Ямало-Ненецкого автономного округа и Таймырского Долгано-Ненецкого района	204

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Арктический регион на сегодня является объектом повышенного внимания как мирового сообщества, так и Российской Федерации. Освоение региона в СССР началось в 1920-1930-х годах XX века и ознаменовалось появлением крупных промышленных, логистических и научных арктических центров, таких как Норильск, Мурманск, Дудинка, Воркута и т.д. Несмотря на сложные климатические условия и почти полное отсутствие транспортных связей в стране добились передовых результатов в освоении Заполярья. комплексностью разработанного подхода, применявшегося при освоении региона. Населенные пункты создавались на основе главной градообразующей функции и сопровождалась организацией инфраструктуры, обеспечивающей относительную автономность функционирования города в условиях логистической изоляции.

После распада экономической системы СССР жители региона столкнулись с серьезными проблемами: недофинансированием, деградацией инфраструктуры и депопуляцией арктических территорий. За последние 30 лет население Арктики сократилось более чем вдвое, многие города и поселки оказались на грани вымирания. Рыночные отношения, пришедшие в экономику, изменили спрос и предложение на ресурсы и услуги, производимые в Арктике. Резкое сокращение государственного финансирования на разведку полезных ископаемых, закрытие исследовательских баз и заморозка морских экспедиционных проектов привели к сворачиванию научно-исследовательских и инновационных программ.

На протяжении последних 30 лет происходит деградация жилых, промышленных и инженерных объектов, что приводит к ряду проблем, том числе к авариям, таким как разлив нефти в Норильске в 2020 году, затруднениям с энергоснабжением, здравоохранением и доставкой продовольствия. В этом контексте создание нового подхода к поддержанию и развитию арктических поселений становится особенно важным. В Указах Президента № 164 от 05.03.2020 года и № 645 от 20.10.2020 года утверждена стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года^{1,2}.

¹ Указ Президента РФ от 26.10.2020 N 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» (с изменениями и дополнениями) // ГАРАНТ [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/74810556/>

Современный этап развития Арктики характеризуется повышенной геополитической значимостью региона, базирующейся на богатых запасах полезных ископаемых и потенциале Северного морского пути (здесь и далее СМП). Россия активно развивает свою военную, научную и транспортную инфраструктуру в Арктике, участвует в многосторонних форматах сотрудничества, таких как Совет Арктики, Баренцево-Евроарктический совет, Арктический экономический совет.

Поставленная задача многоаспектна по своей природе и может иметь много путей решения. Создание новых городов на Севере, хотя и может быть успешным, не является рациональным для арктической зоны Российской Федерации в текущей ситуации, так как приводит к распылению ресурсов и снижению уровня поддержки существующих населенных пунктов и центров освоения.

В связи с этим, адресная стратегия - работа непосредственно с существующими населенными пунктами путем решения их ключевых проблем, стимулирования развития их функционального профиля - является приоритетной. Ориентация на тренды Устойчивого развития требует создания *специализированных комплексов³ жизнеобеспечения*, восполняющих утерянную функциональную комплексность, обладающих адаптивностью к нестабильным экономическим и социальным условиям Арктики.

Решение поставленной задачи связано с необходимостью анализа специфики и роли конкретных городов в системе связей Арктического региона, область исследования сужена до рассмотрения двух арктических территорий Ямало-Ненецкого автономного округа и Таймырского (Долгано-Ненецкого) муниципального района⁴.

² Указ Президента РФ от 05.03.2020 N 164 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» (с изменениями и дополнениями) // ГАРАНТ [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/73706526/>

³ Специализированный комплекс – новый тип архитектуры общественного назначения, представляющий собой совокупность функциональных модулей, обеспечивающих жизнедеятельность арктического населенного места. Определение автора.

⁴ Ямало-Ненецкий автономный округ – наиболее развитая в промышленном отношении арктическая территория. Округ обладает преуспевающей газодобывающей и газоперерабатывающей промышленностью, ведется добыча других полезных ископаемых.

Таймырский Долгано-Ненецкий район Красноярского края – развитая в промышленном отношении арктическая территория, расположенная на полуострове Таймыр. В районе работают предприятия, связанные с добычей нефти и газа, металлургией, рыбопереработкой.

Город Норильск с городом-спутником (Талнах), поселками-спутниками (Кайеркан, Снежногорск, Оганер) входит в анализ исследуемых городов и территорий вместе с Таймырский Долгано-Ненецким районом.

Среди актуальных подходов к развитию Арктики (рассмотрения арктического региона как «сетевой структуры»; выявления приоритетных линий жизнеобеспечения жителей крупных и мелких населенных мест; определения особых требований, предъявляемых к архитектуре арктических объектов) внимание автора обращено на комплексную аналитику взаимосвязи общих процессов освоения и развития арктической территории с поиском объемно-планировочных решений инфраструктурных жизнеобеспечивающих объектов, которая до настоящего времени никем не была рассмотрена.

Степень изученности темы. Масштабное и системное изучение проблем освоения и развития арктических территорий в мировой науке активизировалось во второй половине XX века. Сложность данной темы состоит в ярко выраженном междисциплинарном характере, что обусловило рассмотрение работ специалистов различных областей: экономики, географии, социологии, архитектуры и инженерии.

Архитектурные и градостроительные вопросы, связанные с северным строительством, рассматривались в ряде советских проектных и научных организаций. В СССР ключевую роль играли ЛенЗНИИЭП и ЛенНИИпроект, а также специализированные НИИ, такие как «Комигражданпроект» и ПечорНИИпроект. Существенный вклад внес и Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений, занимавшийся адаптацией строительных технологий к условиям вечной мерзлоты.

Вопросы экономической географии арктических регионов освещены в работах Р. В. Гончаров, Н. Ю. Замятина, А. А. Медведков, А. Н. Пилясова, А. Е. Полянченко, С. В. Славин, Л. Хаски, И. А. Шамало и др.

Развитием североведения в СССР занимались М. К. Бандман, К. П. Космачев, С. В. Славин. Аспекты современного североведения отражены в работах А. Г. Гранберга, В. Н. Лаженцева.

Изучению вечной мерзлоты и сопряженных с ней строительных работ посвящены труды ученых – Л. А. Братцева, М. С. Водолазкин, В. А. Кудрявцев, М. И. Сумгин, В. К. Яновский. Непосредственно аспекты строительства в вечной мерзлоте изучали В. И. Аксенов, Н. И. Быков, А. В. Брушков, А. Л. Данилов, Г. В. Лепинских, П. И. Мельников, Н. Ф. Цыбина, Л. В. Чистотинов, А. Н. Хименков.

Особенности проектирования объектов гражданской инфраструктуры на северных территориях, включая влияние климатических условий, специфику логистики, градостроительные ограничения и доступность строительных материалов, подробно рассматривались в трудах таких исследователей, как Л. Г. Балаян, Т. В. Брагина, В. В. Докучаева, Г. И. Костиненко, Ю. В. Комаренко, Ю. И. Корюкин, А. В. Махровская, П. И. Мельников, Б. В. Муравьев, Л. С. Нейфах, Б.

М. Полуй, Э. П. Путинцев, А. В. Рябушин, Н. А. Сапрыкина, Н. В. Суханов, Н. С. Сычев, А. И. Шипков, Р. Эрскин, А. В. Яковлев. Существенный вклад в разработку адаптивной арктической архитектуры внесли исследования Н. А. Сапрыкиной.

Проектирование современных объектов научно-исследовательского, сельскохозяйственного и иного назначения освещены в работах Л. М. Баишева, Х. Бротон, Н. И. Диденко, В. А. Савинова, Н. А. Сапрыкина.

Вопросы применения современных технологий и инноваций в арктическом проектировании, включая использование беспилотных летательных аппаратов, внедрение передовых инженерных систем, новых конструктивных материалов и энергетических решений, нашли отражение в работах О. В. Губина, О. С. Девятаева, К. А. Змиева, Н. М. Кузнецова, В. А. Маслобоева, А. А. Спиридонова, А. В. Федотовских, Л. Э. Хаймина, Г. В. Черных, К. Кахилл.

Историко-теоретическая линия северного проектирования дополняется корпусом отечественных и зарубежных проектов, среди которых работы К. Н. Агафонова, С. П. Одновалова, М. В. Цимбал, К. Д. Халтурина, Р. Эрскин.

Систематизация и практическая реализация последних архитектурных, технологических и управленческих инициатив пока остается на недостаточном уровне. Существующие наработки требуют дальнейшего осмысления и комплексного исследования для формирования целостной архитектурной стратегии развития арктических территорий.

Соответствие паспорту научной специальности 2.1.12 – «Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности» по направлениям исследования:

- Архитектурная типология зданий и сооружений;
- Архитектурно-планировочные и конструктивные особенности гражданских и промышленных зданий, сооружений и их комплексов;
- Социально-функциональные основы проектирования зданий;
- Информационные технологии в архитектурном проектировании и виртуальная архитектура;
- Архитектура и климатические изменения среды;
- Региональные особенности современной архитектуры зданий и сооружений;

Цель исследования – разработка принципов функциональной и объемно-планировочной организации новых комплексов системного жизнеобеспечения в городах Ямало-Ненецкого автономного округа и Таймырского Долгано-Ненецкого района.

Задачи исследования:

1. Изучить исторические и актуальные отечественные и зарубежные освоенческие подходы к арктическим территориям. Выявить факторы, обеспечивающие комфортные условия жизни в арктических населенных пунктах.

2. Представить общую концепцию новых специализированных комплексов и их типологию с учетом результата анализа существующих объектов жизнеобеспечения в городах Таймырского Долгано-Ненецкого района и Ямало-Ненецкого автономного округа.

3. Разработать принципы функционирования новых комплексов системного жизнеобеспечения.

4. Предложить адаптивную типологию новых комплексов системного жизнеобеспечения и выявить приемы их объемно-планировочной организации.

5. Выработать алгоритм определения функционального состава новых комплексов системного жизнеобеспечения для конкретных территориальных условий размещения.

6. Представить концептуальные предложения по организации и размещению новых комплексов системного жизнеобеспечения в населенных пунктах разного функционального профиля Ямала и Таймыра.

Объект исследования – существующие объекты и вновь создаваемые комплексы системного жизнеобеспечения⁵ арктических населенных пунктов.

Предмет исследования – функциональный состав и объемно-планировочные схемы новых комплексов системного жизнеобеспечения в населенных пунктах Таймырского Долгано-Ненецкого района и Ямало-Ненецкого автономного округа.

Научная гипотеза. Создание типологического ряда новых комплексов системного жизнеобеспечения населения, восстанавливающих утраченную функциональную комплексность и обеспечивающих многоуровневую систему связей в городах Таймырского Долгано-Ненецкого района и Ямало-Ненецкого автономного округа может явиться иницилирующим фактором увеличения автономности и комфортности проживания в рассматриваемых городах и поселениях.

Границы исследования. Типологическими границами исследования являются новые комплексы системного жизнеобеспечения городов Таймырского Долгано-Ненецкого района и Ямало-Ненецкого автономного округа, их связи между собой. Дальние населенные пункты периферии, не имеющие потенциала

⁵ Объекты жизнеобеспечения – совокупность архитектурных объектов, удовлетворяющих запросы населения арктического населенного пункта.

развития, рассматриваются в исследовании только с точки зрения организации общей системы разрабатываемых новых жизнеобеспечивающих объектов.

Территориально границы исследования представлены административными границами Таймырского Долгано-Ненецкого района и Ямало-Ненецкого автономного округа.

Временные границы исследования охватывают период развития объектов жизнеобеспечения населения в арктических населенных пунктах в XX – XXI вв.

Методы исследования. Исследование базируется на комплексном подходе, который включает следующие методы:

- анализ научных работ по развитию городов и поселений АЗРФ, изучение современной практики проектирования объектов в экстремальных климатических условиях Севера;
- социально-экономический анализ жизнеобеспечивающих запросов населения арктических населенных пунктов АЗРФ: изучение отраслевой структуры экономики, показателей производства и потребления, демографических изменений на основе статистических данных административных, региональных и федеральных источников;
- пространственный анализ территории выделенных округов с использованием открытых картографических данных (Яндекс.Карты, OpenStreetMap, WikiMap, Natural Earth) для выявления закономерностей размещения и связей между арктическими поселениями;
- компьютерное моделирование с применением специализированного программного обеспечения (OpenFOAM, Elk, Butterfly, Ladybug) для расчета параметров ветрового комфорта, инсоляции и пешеходной доступности разрабатываемых комплексов в арктических условиях;
- экспериментальное проектирование концептуальных решений специализированных комплексов для городов Таймырского Долгано-Ненецкого района и Ямало-Ненецкого автономного округа различного функционального профиля;
- системный подход к анализу взаимосвязей между климатическими условиями, социально-экономическими факторами и архитектурно-планировочными решениями в арктических городах и поселениях.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанные принципы функционирования новых комплексов системного жизнеобеспечения – принцип многоуровневой связанности и самообеспечения, принцип функциональной диверсификации и принцип модульности и адаптивности – являются основой возрождения утраченной функциональной комплексности в городах и поселениях Таймырского Долгано-Ненецкого района

(здесь и далее Таймыр) и Ямало-Ненецкого автономного округа (здесь и далее Ямал).

2. Адаптивная типология разрабатываемых комплексов и приемы их объемно-планировочной организации (определение состава и объема каждой составляющей объекта) возникают в ответ на функциональную специфику и масштаб городских образований, делают отзывчивой и гибкой систему жизнеобеспечения города и устанавливают связи на внутригородском, межгородском и региональном уровнях в растянутом арктическом регионе.

3. Модульная система, лежащая в основе объемно-планировочной организации разрабатываемых специализированных комплексов, обеспечивает возможность изменения объема и количества функциональных модулей в зависимости от увеличения или сокращения населения города.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения диссертации опубликованы в 10 научных статьях в периодических изданиях, научных сборниках и коллективной монографии, в том числе 4 статьи – в изданиях, входящих в перечень рецензируемых изданий ВАК при Минобрнауки РФ, 1 статья – в коллективной монографии, 5 статей – в сборниках тезисов конференций и трудов МАРХИ. Отдельные результаты исследования докладывались на научно-практических конференциях: «Современная архитектура мира» (2022, 2023 гг.), Международная научно-практическая конференция «Наука, образование и экспериментальное проектирование» МАРХИ (2023-2025 гг.)

Личный вклад автора. Автором осуществлены: сбор материалов по истории развития подходов к освоению территорий Крайнего Севера, изучение историко-культурных корней северных народов, анализ современного состояния городов и поселений, социологических данных о жителях региона, анализ теоретических и проектных работ по теме исследования, разработка проектных предложений.

Научная новизна работы. В исследовании предложен новый тип архитектурного объекта – общественный арктический специализированный комплекс (здесь и далее АСК), восполняющий функциональную целостность жизнеобеспечения арктических городов и поселений, утраченную вследствие перехода страны на новые капиталистические принципы хозяйствования. Предложения о необходимости создании такого рода общественных жизнеобеспечивающих объектов явилось ответом на возрастающую необходимость увеличения жизнеспособности арктических городов и поселений, поддержания их самых насущных функций, страдающих от удаленности и

суровых условий северного региона: агропромышленность, логистика, медицина, наука и образования и энергетика.

Теоретической основой нового типа общественных многофункциональных комплексов стали разработанные в исследовании принципы системного жизнеобеспечения арктических поселений: принцип многоуровневой связности и самообеспечения, принцип функциональной диверсификации и принцип модульности и адаптивности.

Предложена модель АСК способна адаптироваться под изменяющиеся социально-экономические, природные и климатические условия нестабильного арктического региона, что делает возможным удовлетворение потребностей колеблющегося по численности населения в каждый конкретный момент времени. Разработан типологический ряд АСК для крупных, средних и малых населенных мест Таймыра и Ямала.

Работа строится на актуальном сочетании теоретических положений и практических предложений как ответов на поставленные задачи с использованием возможностей информационно-компьютерных инструментов, таких как OpenFOAM, Elk, Butterfly, Ladybug для расчетов ветрового комфорта и инсоляции разрабатываемых комплексов.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что результаты проведенной работы объединяют и систематизируют широкий круг знаний об аспектах освоения, градостроительства, архитектурного проектирования и эксплуатации зданий в условиях полярных регионов, обобщают большой пласт исторических данных, а также предлагают разработку принципов формирования типологии многофункциональных объектов в Арктической зоне. Проведенное исследование может применяться при:

- проведении перспективных научных/проектных изысканий в Арктических регионах, включая организацию семинарских и лабораторно-практических мероприятий.
- подготовке учебных материалов, формировании учебных курсов, а также осуществлении проектно-экспериментальной и выпускной квалификационной работы студентов архитекторов.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения результатов работы при:

- формировании федеральных и региональных стратегий освоения полярных регионов и северных территориальных образований;
- создании архитектурно-планировочных решений многофункциональных общественных объектов в городах Арктики.

Объем и структура исследования:

Диссертационная работа представлена в одном томе общим объемом 208 стр., включающем текстовую часть, состоящую из введения, трех глав, заключения, списка литературы (190 источников) и приложения с иллюстрациями.

ГЛАВА 1.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СТРАТЕГИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ГОРОДА

Арктика – колоссальный по своему потенциалу и, в то же время, экстремальности своих условий регион. Значительные запасы полезных ископаемых, биологические ресурсы и возможности развития СМП играют ключевую роль в экономике России (Рисунок 1).

В настоящее время Арктика является депрессивным регионом с попытками возрождения, предпринимаемыми последние 30 лет. Многолетнее недостаточное финансирование, экономический и социальный кризисы, а также неопределенность относительно будущего привели к деградации жилой, социальной, промышленной и логистической инфраструктуры [54]. Изменение этой ситуации невыполнимо единичными проектами, сконцентрированными на решении одной сферы задач. Необходимо рассмотрение взаимосвязанных проблем, формирующих единую систему жизнедеятельности региона [51, 63], что приводит к мысли о необходимости анализа важнейших принципов и форм жизни ее населения и, как следствие, созданию основы для разработки проекта устойчивой системы жизнедеятельности населения.

Первая глава исследования посвящена выявлению особенностей функционирования арктического города и определению приоритетных задач, решаемых средствами архитектуры и стратегического планирования. В ее рамках изучается существующий отечественный и зарубежный опыт архитектурного проектирования, практики организации жизнедеятельности северных городов и текущие состояния их пространственной, социальной, производственной и транспортной систем. По результатам этого анализа формируется функциональная программа разрабатываемых объектов системного жизнеобеспечения и исходные требования к их составу и взаимосвязям. На основе полученных выводов во второй главе работы будут сформированы объемно-планировочные приемы организации заявленных объектов системного жизнеобеспечения.

1.1 Эволюция стратегий освоения Арктики

Первый параграф работы посвящен анализу текущего состояния арктического региона и эволюции подходов к его освоению. Исследование направлено на актуализацию целей развития Арктической зоны Российской Федерации с учетом мирового и отечественного опыта процессов освоения северных территорий.

Автор обращается прежде всего к общим темам: экономическим вопросам, определившим цели и задачи арктической архитектуры, к организации системы расселения, к анализу жизни в крупных и малых населенных пунктах. Комплексное рассмотрение темы позволит сформировать принципы функционирования разрабатываемых комплексов системного жизнеобеспечения и выявить механизмы их межрегионального и межотраслевого взаимодействия.

В соответствии с поставленной задачей в параграфе будут рассмотрены следующие вопросы:

- **Анализ освоенческих стратегий:** исследование исторических и современных стратегий освоения Арктики в России и за рубежом, позволяющий выявить успешные подходы, применяемые при разработке новых планов развития региона и избежать ошибок прошлого.
- **Анализ роли межгородских и межрегиональных связей в развитии Арктики:** исследование принципов взаимодействия Арктических городов между собой, сложившихся институциональным или вернакулярным путем.

1.1.1 Актуализация целей и задач развития АЗРФ

Для определения целей освоения Арктики в постиндустриальную эпоху необходимо проанализировать основы существования арктических городов, их текущее состояние и логику развития.

Несмотря на изменения в структуре экономики страны и мира, города АЗРФ в подавляющем большинстве по сей день продолжают развиваться по логике норм индустриальной эпохи, что закономерно приводит их к постепенному исчезновению по мере исчерпания месторождения [61]. В современном дискурсе по-прежнему предлагаются проекты новых городов при месторождениях вместо приоритетного развития существующих центров и агломераций, где наблюдается тенденция к сжатию. Такая стратегия, обусловленная краткосрочной экономической выгодой, ускоряет деградацию существующей инфраструктуры.

Для обоснования необходимости и целей функционирования и развития арктических городов стоит обратиться к существующему мировому опыту,

который несмотря на различия в климатических, логистических и прочих составляющих, содержит интересные решения, актуальные для АЗРФ⁶. Важно выделить заметно большую диверсифицированность экономики городов зарубежной Арктики, и практически полное отсутствие в их системе расселения типичных для АЗРФ городов-при-месторождения (Рисунок 2).

Стремительное сжатие Российской Арктики с момента развала СССР часто становится предметом споров о причинах, обусловивших его появление [165]. Сокращение населения в арктических городах, таких как Воркута и Мурманск, связано с переходом к рыночной экономике и технологическим прогрессом, уменьшающим потребность в рабочей силе [63]. Однако, несмотря на это, мы видим рост моногородов, таких как Новый Уренгой, и появление новых ресурсных баз, таких как Сабетта и Новый Порт, в то время как центры снабжения удаленных районов окончательно приходят в упадок. Это свидетельствует о необходимости реконфигурации системы расселения, при которой Арктика воспринимается преимущественно как «сырьевой придаток», а не как территория развития. Изменение данной ситуации требует пересмотра стратегии расселения и создания новых экономических и социальных основ функционирования региона [50, 21]. Исследования Н.Ю. Замятиной и А.Н. Пилясова посвящены пересмотру текущих подходов к рассмотрению региона и подходов к его освоению.

Авторами обосновывается необходимость кардинального смещение фокуса развития с построения сырьевых баз на организацию продуманной системы логистических, административных и научных центров в активно меняющемся мире. Арктическая зона, являясь наиболее уязвимой территорией Российской Федерации, должна стать центром экономической и идеологической трансформации [109]. Архитектура и система расселения, учитывающие региональную специфику, будут определять жизнеспособность и устойчивость арктических городов России [50, 107].

Рассматриваемый регион уже обладает сформированной сетью крупных центров с выраженными функциями и потенциалом развития, таких как Норильск, Дудинка, Новый Уренгой, Салехард и прочие. Сохранившийся научно-технологический и человеческий капитал может служить основой для региональной трансформации. Первостепенная задача – изменить восприятие Арктических городских образований: рассматривать их не как деградирующие

⁶ АЗРФ – арктическая зона Российской федерации

центры добычи, а как зоны роста, поселения с научными и административными функциями, играющие ключевую роль в социально-экономическом и научно-технологическом развитии страны.

1.1.2 Эволюция и ревизия теоретических и практических освоенческих схем Арктики в СССР

Рассмотрение эволюции освоенческих схем необходимо для формирования целостной концептуальной базы, накопленной в период активного развития Арктики. Их анализ позволяет выявить ключевые сильные стороны и успешные практики, подтвердившие свою эффективность и влияющие на формирование стратегий развития территорий. Полученные знания служат основой для разработки программ функционирования сетей объектов, предполагаемых к широкому внедрению в арктическом регионе; их глубокое понимание является необходимым условием для создания устойчивой и взаимосвязанной инфраструктуры.

Советская школа, как наиболее масштабная по результатам своей работы, отличается способностью проводить процесс освоения не обособленно, но как составную часть общего национального процесса по размещению и управлению производительными силами страны [108]. Исследователи опирались на триаду «размещение производительных сил — экономическое районирование — территориально-производственные комплексы». С.В. Славин, основоположник советского североведения, подчеркивал, что «Освоение Севера целиком вытекает из непосредственных задач развития народного хозяйства СССР» [127]. Основной чертой советской модели являлось стремление к созданию однородности индустриализируемых арктических территорий по уровню освоенности.

В советской школе сформировались два ключевых направления с различным восприятием пространства освоения [108]. **Экономико-географическое** направление (В.А. Дергачев [48], Ю.Г. Саушкин [26]) рассматривало Арктику как внутренне неоднородное пространство с уникальной ландшафтной и этнической структурой. **Регионально-экономическое** направление (А.Г. Гранберг, М.К. Бандман) воспринимало пространство как однородное и абстрактное, что упрощало макроэкономическое моделирование территориально-производственных комплексов в районах пионерного освоения.

Исследования 50-60-х годов XX века акцентировали внимание на пространственных аспектах освоения, однако впоследствии фокус сместился на решение локальных экономических проблем, и пространство утратило роль активного элемента в освоенческих процессах. Несмотря на разработку многочисленных подходов к освоению Арктики, ни один из них не получил полноценного практического развития в масштабе всей Арктической зоны

Российской Федерации. Стратегии пространственной организации реализовывались лишь на локальном уровне, что наглядно демонстрируют примеры Норильска, Игарки и других арктических городов. Необходимо выделить три основных подхода, в большей степени сформировавших текущее состояние АЗРФ. Первый из них относится к экономико-географической школе, тогда как последние представляют регионально-экономическую парадигму.

Метод территориально-производственных комплексов (ТПК) разработанный С.В. Славиным в 1950-60 годы, предполагал создание многофункциональных комплексов из компактных производственных узлов [137, 27]. Преимущество ТПК заключалось в эффективном сочетании производственных объединений и инфраструктуры, включая сельское хозяйство и транспорт. Таким образом, его подход предполагал создание сложных по структуре территориально-производственных комплексов, состоящих из компактных производственных узлов. Важной особенностью данного подхода являлась его систематичность: Арктика рассматривалась как замкнутый, автономный и взаимосвязанный регион, где каждый город является частью общего процесса и создается как комплексное образование, что обеспечивает его устойчивое развитие. (Рисунок 3)

Метод опорно-тыловых баз предложенный И.Л. Апаринным и М.Е. Криницкой в 1960 году [14], предусматривал создание опорно-тыловых баз различного уровня в зависимости от характера обслуживания (межрайонный, районный и местный). Эффективность подхода определялась устойчивостью, достигаемой за счет перегруппировки населения на компактной площади при истощении ресурсов одного из месторождений или производства: работники могли быть переведены на другое предприятие группы без изменения места жительства. Ученые предлагали идею формирования группы связанных поселений разной функциональной специализации и размера, имеющих экономические, социальные, культурные, бытовые и инженерные связи. (Рисунок 4)

Данный метод акцентировал внимание на развитии определенных кластеров и агломераций, рассматривая Заполярье как трансформируемый регион, где центральное место занимают кадровые вопросы.

Концепция интерзональных систем, предложенная В.В. Владимировым в 1975 году, предполагала переход к вахтовым и вахтово-экспедиционным методам во взаимодействии с опорными городами, расположенными южнее арктической зоны [15, 137]. В рамках этой концепции должны были быть сформированы «опорные центры» на базе существующих крупных городов вне арктической зоны – на территории «ближнего Севера». Помимо этого, планировалась организация

«базовых городов» - подцентров и размещение вахтовых поселков на территории «дальнего Севера» [137]. Рассматриваемая теория наиболее близка к современной практике, где ключевые арктические города сохраняют важность для системы расселения, концентрируя высококвалифицированные кадры и научно-аналитическую деятельность. (Рисунок 5)

Как отмечалось ранее, ни один из подходов не стал доминирующим и применялся фрагментарно – в зависимости от исторического периода и актуальных задач. При этом в рассмотренных подходах отчетливо прослеживается эволюция представлений об Арктике, связанная с изменением транспортной доступности и степени проницаемости ее пространства [52].

С. В. Славин разрабатывал свои схемы в парадигме полной изоляции, исходя из необходимости создания автономных и самодостаточных центров освоения в условиях арктической пустоши. Позднее, по мере развития Северного морского пути и расширения возможностей авиационного сообщения, в новых теориях усиливался акцент на мобильности населения и внешнем обеспечении производств, что снижало требования к локальной автономности.

К настоящему моменту, несмотря на рост технологических возможностей, инфраструктура, обеспечивавшая мобильность (транспорт, малая авиация), была в значительной мере утрачена. Это привело к увеличению экономических издержек на содержание региона и возросшему интересу к возрождению элементов территориально-производственных комплексов и части промышленных компетенций как фактору повышения устойчивости арктических территорий. Объединяющим аспектом всех описанных подходов является восприятие Арктики как специфического региона, где неприменимы классические стратегии индустриализации. Это обуславливает необходимость рассмотрения АЗРФ как целостной территории, объединенной региональной спецификой проблем и экономикой, а не как набора разрозненных городов и производственных объектов.

1.1.3 Анализ подходов к освоению Арктики в зарубежных арктических государствах в сравнении с советской освоенческой моделью

В середине XX века советская система достигла значительных успехов в развитии арктического региона [126], что привлекло внимание других стран, в частности Канады, рассматривавшей советский опыт как образец освоения труднодоступных территорий. СССР разрабатывал и адаптировал стратегии, технологии и производства для Арктики, в результате чего российская арктическая зона до сих пор остается наиболее густонаселенным арктическим регионом в мире. Количество городов, промышленных центров здесь многократно превышает аналогичные показатели других арктических государств [63].

Однако несмотря на успехи, концепция СССР «Освоим Арктику навсегда» [24] оказалась методологически уязвимой. Восприятие города как постоянного образования не оправдалось. В качестве примера можно привести стремительный взлет и дальнейшее увядание Игарки – первого порта Северного морского пути [58]. Условия Арктики не терпят постоянства и стагнации. Города, построенные «на века» по аналогии с поселениями средней полосы, через полстолетия стали обузой. Уничтожение арктической комплексности во второй половине XX века привело к неустойчивости поселений [50]. Чрезмерный акцент на городском развитии вызвал значительный демографический дисбаланс и высокие показатели миграции.

Полученный северными городами ресурсный импульс с переходом российской системы от социалистической к капиталистической модели развития начал постепенно угасать, что в свою очередь привело к социально-экономическому кризису региона, его депопуляции [54, 21]. Сегодня значение и важность развития Арктики, ее восприятие как «фронта», требующего нестандартных решений, вновь начали приобретать большую значимость [57, 51]. Причем данный процесс начался не только в РФ, но и в других арктических государствах.

Подходы государств к освоению арктических регионов можно разделить на две категории. Первая группа опирается на постоянные урбанизированные центры (Швеция, Норвегия, Россия). Эта группа рассматривает Арктику как полноценную часть территории страны и стремится развивать классическую для нее городскую среду в экстремальных условиях. Вторая группа полагается на временные поселения (США, Канада). Она фокусируется на освоении территорий с опорой на малые вахтовые поселения. Данный подход снижает экономические издержки, но ограничивает возможности долгосрочного закрепления в регионе (Рисунок 6).

Освоение Арктики циклично. Зачастую появление нового поселения связано с началом разработки очередного месторождения, по мере исчерпания которого населённый пункт также прекращает свое существование [20, 58]. Традиционно считается, что основа арктической урбанизации – промышленные города и поселки. Однако последние исследования, в том числе российских ученых, выявляют растущую роль административного и научно-образовательного факторов. Так, драйвером экономического развития Арктики становится экономика знаний. Анализ динамики развития зарубежной Арктики демонстрирует зависимость жизнеспособности города от его адаптивности к изменяющимся условиям. Показателен пример Фэрбенкса (США, Аляска), где создание университета обеспечило сохранение города после окончания золотой

лихорадки [59]. Научно-образовательная специализация направлена на формирование специфического "северного знания" [19, 50], адаптированного к экстремальным арктическим условиям в различных областях - архитектуре, медицине, геологии. Это соотносится с методологией В. Н. Ткачева, по учету природно-климатических условий в архитектурном проектировании [28]. Актуальный подход может быть интегрирован в стратегию комплексного решения задач жизнеспособности арктических городов

Вахтовый метод в зарубежной Арктике не препятствует развитию северных столиц, их логистического и научно-образовательного потенциала. Опыт других арктических государств показывает, что именно перечисленные функции становятся стимулом роста населения, развития туристической отрасли, промышленных производств и сервисов. Административно-научная компетенция городов выступает ключевым активом, создающим возможности для диверсификации экономики.

Существующие центры промышленного освоения Арктической зоны Российской Федерации, за редким исключением (агломерация Норильск-Дудинка), недостаточно развиты как городские базовые центры освоения Заполярья и не обладают необходимой насыщенностью административных, логистических и научно-образовательных функций. Жизненный цикл промышленного города при месторождении ограничен сроком истощения ресурсов. Зарубежный арктический опыт свидетельствует, что решением данной проблемы является диверсификация экономики арктических центров и развитие специфических локальных компетенций. Такой подход позволит запустить эффект возрастающей отдачи, описанный П. Кругманом [60, 73], и стимулировать генерацию новых технологических решений и сфер экономики российского Заполярья.

1.1.4 Поиски нового комбинированного освоенческого подхода

В России сегодня применяется подход, при котором экономические эффекты формируются в рамках конкретного города или проекта, что соответствует европейской модели развития экономики. В отличие от советской школы, где эффекты обеспечивались деятельностью крупных комбинатов в составе обширных комплексов, современная экономическая отдача достигается через локализованные кластеры, снижающие высокие северные цены и издержки. Примерами служат флагманские проекты золоторудного освоения Магаданской области и Чукотского автономного округа, а также новые нефтегазовые проекты Ямала, Югры, Якутии и арктического шельфа [108, 138].

На новом этапе освоения золотодобывающей промышленности в Магаданской области произошла централизация геологических экспедиций:

квалифицированные кадры сосредоточены в Магадане, что иллюстрирует переход к центрo-периферийной модели развития территории или города [108]. При этом специализированные функции прежних периферийных центров теряются.

Помимо этого, следует отметить приемы улучшение жилой и рабочей среды вахтовых поселков, применяемых нефтегазовыми корпорациями, с применением модульных решений и современных инженерных систем. В качестве примера можно привести проекты Ванкор «Роснефти» (Рисунок 7) и проект Новый Порт «Газпромнефти» (Рисунок 8). В них, помимо классических модульных решений, используются системы «умного дома», такие как, автоматизированные системы учета и управления ресурсами, системы мониторинга параметров среды, сервисные приложения для персонала. Такими решениями компании добиваются повышения комфорта проживания персонала, повышают организацию труда.

Приведенные в качестве примера модели демонстрируют возможности организации связей между опорными и удаленными центрами освоения, типологическими однородными с точки зрения функционала. Концентрация знаний в опорных центрах требует постоянной координации с подчиненными территориями. Между населенными пунктами формируются три типа связей: постоянные (обеспечивающие устойчивость системы), периодические (учитывающие сезонность и климатическую нестабильность) и эпизодические (реагирующие на текущие потребности, например, экстренные ситуации) [50].

Ключевой особенностью рассмотренных подходов к развитию населенных мест является концентрация экономического и агломерационного потенциала на специально выделенной площадке [164, 180]. Производственные, научные и институциональные ресурсы сосредотачиваются в ключевых точках системы расселения, что позволяет избежать их рассеивания, характерного для советских методов освоения Арктики.

С точки зрения автора исследования такая концентрация профессиональных кадров, производственных, транспортных и других объектов в рамках единой системы представляется наиболее подходящей для достижения эффективных результатов. Описанный подход также акцентирует внимание на развитии существующих городских агломераций, в отличие от чрезмерной урбанизации, свойственной советскому периоду.

Особенностью освоительского процесса в Арктике является высокая степень институциональной централизации, необходимая для эффективной мобилизации ресурсов и координации действий на экстремальных территориях. В условиях пространственной разреженности, логистической уязвимости и инфраструктурной зависимости региона, именно централизованная модель управления позволяет обеспечить системность и целенаправленность освоения.

В начале XXI века децентрализация и усиление роли корпоративных акторов, таких как «Газпром» и «Роснефть», привели к фрагментации освоения: распылению ресурсов, изоляции производств и дублированию инфраструктуры (например, вахтовых поселков в пределах одного ресурсного узла) или, напротив, выводу из эксплуатации объектов, значимых для локальных сообществ [79]. Например, закрытие железнодорожных веток, ранее обслуживавших не только промышленные нужды, но и повседневную мобильность населения [64]. Отсутствие координации спровоцировало конфликты при эксплуатации Севморпути. Лишь передача управления СМП «Росатому» позволила выстроить устойчивую логистическую систему [114].

Эффективное освоение Арктики требует единого стратегического института, координирующего логистику, инфраструктуру, человеческий капитал и экологическую устойчивость. Без централизованного оператора невозможна реализация долгосрочной политики, включая развертывание и воспроизводимость концепции автора, предполагающей широкий охват населенных пунктов Ямала и Таймыра.

Арктика как растянутый сетевой регион. Анализ исторических и современных подходов к освоению Арктики позволяет утверждать, что развитие этого макрорегиона невозможно на основе изолированных проектов. Необходима комплексная стратегия, объединяющая инициативы различных уровней в единую функционально интегрированную систему. Арктика, особенно ее западная часть, демонстрирует черты сетевого региона, сравнимого с Ганзейским союзом или Средиземноморьем, – региона, где узлы связаны горизонтально и обладают высокой степенью проницаемости пространства [106].

Современная теория регионального развития использует концепцию «многомерной близости», где социальная, организационная и институциональная связанность компенсирует удаленность, обеспечивая взаимодействие между арктическими городами. В условиях слабой транспортной доступности общность климатических, инженерных и социальных вызовов способствует формированию устойчивых межгородских связей [53]. Такие связи выражаются в формировании международных и межрегиональных институтов – Арктического совета, UArctic, Северного форума, ассоциаций зимних городов. Внутри России ключевые роли «сетевого региона» играют Архангельск и Мурманск: первый – как центр навигации и медицины, второй – как логистический узел и база поисково-спасательной инфраструктуры. Взаимодействие между этими и другими городами реализуется как через институты, так и через обмен технологиями и локальными решениями, например, распространение норильских технологий строительства на вечной мерзлоте по всему Северу.

Метод рассмотрения Арктики как сетевого региона впервые был предложен российскими географами Н. Ю. Замятиной, А. Н. Пилясовым и их коллегами. Он лег в основу исследования «Опорные населенные пункты Российской Арктики», выполненного при разработке государственной стратегии «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» и «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» (утверждены распоряжением Правительства РФ от 15.04.2021 г. № 996-р) [19].

Согласно данной теории, конкурентоспособность арктических городов определяется их способностью выполнять узкоспециализированные функции. Устойчивость обеспечивают локальные знания и уникальные производственные компетенции, как, например, у машиностроительного завода в Магадане, выпускающего оборудование для колымских месторождений, что позволило ему сохраниться, несмотря на исчезновение всех прочих производств.

Формы межгородских связей зависят от функций: продовольственные – формируют производственные узлы с распределением продукции, научно-образовательные – строятся по модели «центр–опорный пункт», медицинские – через многоуровневую иерархию с центром в региональной столице. Логистика поддерживает всю сеть, обеспечивая транспортное и информационное сопряжение. Системы связей и процессы, формирующиеся в рамках расселения Арктики, подробно исследованы Е. А. Чайкой. Ее разработки стали методологической основой для настоящего исследования, определив подход к анализу арктической сети поселений [137] (Рисунок 9).

В условиях экстремального климата, низкой транспортной доступности и пространственной разобщенности устойчивость достигается сочетанием горизонтальных связей между населенными пунктами внутри Арктики и вертикальных связей с опорными центрами за пределами Арктической зоны. Горизонтальные связи позволяют городам приобретать собственную специализацию внутри системы расселения и обеспечивают обмен ресурсами, информацией, продукцией и услугами, что снижает логистические издержки и предотвращает дублирование функций внутри системы. В качестве примера можно привести связь между Норильском и Дудинкой: первый создает промышленную продукцию, тогда как второй обеспечивает ее экспорт по СМП [19].

По своему характеру взаимодействия горизонтальные связи делятся на постоянные (стабильный обмен товарами и услугами между населенными пунктами, например стройки, научные компании), эпизодические (периодический

обмен с прогнозируемыми пиками спроса) и спорадические (обмен в случае чрезвычайных ситуаций, например авария или катастрофа).

Вертикальные связи, в свою очередь, соединяют Арктику с внешними опорными центрами. Они критически важны для поставок сложного оборудования, технологий и кадров, поскольку даже при курсе на повышение автономности полная независимость северных территорий экономически нецелесообразна.

Таким образом, современная арктическая урбанизация представляет собой не строгую управленческую иерархию, а гибкую сетевую модель, где даже небольшие населенные пункты могут выполнять незаменимые стратегические функции.

Выводы по параграфу:

Арктика с начала системного освоения формировалась как целостный регион с разветвленной системой межгородских и межрегиональных связей – постоянных, периодических и эпизодических. С 1970-х годов значительная часть этих связей была утрачена, что ослабило структурную целостность региона. Современные подходы вновь ориентированы на их восстановление ввиду высокой экономической и стратегической значимости взаимодействий. Отсюда – необходимость проектировать инфраструктуру населенных мест не как набор изолированных объектов, а как элементы единой пространственной сети: каждый населенный пункт рассматривается как узел «сетевого региона», вносящий специфический вклад в устойчивость всей арктической территории.

Так формулируется **принцип многоуровневой связности и самообеспечения**. Его задача – восстановить устойчивые системы жизнеобеспечения, разрушенные после 1970-х, и повысить автономность в условиях рыночной зависимости от внешних поставок; современные технологии позволяют возродить комплексный потенциал региона и поддержать автономное развитие [75].

Разрабатываемые в работе новые специализированные комплексы системного жизнеобеспечения, заявленные как объект исследования, должны отвечать этим вызовам через систему из различных функциональных компонентов, выявлению которых посвящен параграф 1.2 [84]. Их скоординированное взаимодействие должно создавать синергетический эффект, повышающий устойчивость и эффективность каждого элемента [21]. Эффективность обеспечивается не суммой разрозненных вложений, а их взаимной поддержкой в рамках разрабатываемого комплекса [50].

Скоординированное взаимодействие обслуживающих инфраструктурных объектов увеличивает долю самообеспечения в организации цикла

жизнедеятельность арктического населенного пункта. Интеграция в одном архитектурном объекте разнообразных функциональных компонентов снижает издержки за счет экономии средств на строительство отдельных объектов инфраструктуры и выстраивает единую адаптивную межгородскую систему обмена услугами.

1.2 Специфика архитектурной организации инфраструктурных⁷ объектов в Арктике

В соответствии с задачей определения функционального состава создаваемого арктического специализированного комплекса, в данном параграфе рассматривается общая специфика функционирования объектов жизнеобеспечения в арктических условиях. Такой анализ позволяет выявить уникальные требования и вызовы, с которыми сталкиваются арктические города, а также оценить их влияние на создание и эксплуатацию архитектурных объектов как таковых.

1.2.1 Характеристика климатических условий Ямала и Таймыра и их влияние на арктическую архитектуру.

Ямал и Таймыр расположены в пределах Субарктического и Арктического поясов, которые отличаются экстремально низкими температурами, сезонной инсоляцией и широким распространением многолетней мерзлоты, накладывающей значительные ограничения на освоения территорий. Зимние температуры достигают -48°C . Лето в регионе короткое и прохладное, сопровождается значительным количеством комаров в связи с широкой распространенностью термокарстовых озер. Регион характеризуется круглогодичными низкими температурными, наличием полярной ночи и дня, а также повышенной ветровой нагрузкой.

Ключевым вызовом для пространственного развития Арктики является многолетняя мерзлота. Активный слой почвы оттаивает лишь на 1–2 м, а сезонное пучение и образование морозобойных трещин (Рисунок 10) приводят к деформациям и утрате устойчивости фундаментов [157]. Такие трещины, достигающие 15 см в ширину и нескольких метров в глубину, заполняются влагой и расширяются при замерзании. При этом растительный покров, особенно мох, играет критическую роль в стабилизации теплового режима грунтов: удаление мха повышает температуру почвы на $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$, что ускоряет деградацию мерзлоты.

⁷ Под инфраструктурными объектами населенных мест в работе понимаются предприятия жизнеобеспечения населения, за исключением инженерных коммуникаций и транспорта

С начала XXI века в Арктике фиксируется устойчивое потепление. В 2011 году среднегодовая температура превысила норму на 5 °С, а в 2021 году в Верхоянске зарегистрированы +38 °С в летнее время [69] (Рисунок 11). Нарушение термической стабильности мерзлоты приводит к выбросу метана – мощного парникового газа, усиливающего глобальное потепление. Последствия включают просадки грунтов, разрушение фундаментов и выход из строя инфраструктуры. Так, авария в Норильске в 2020 году была вызвана разрушением резервуара из-за потери несущей способности основания [175].

Экономический ущерб от деградации мерзлоты значителен. Уже в 2017 году потери от ЧС в северных регионах оценивались в 775 млн рублей, а к 2030 году могут достичь 5% валового регионального продукта. Годовой ущерб для зданий и инфраструктуры – около 200 млрд рублей, а к концу века совокупные потери могут составить до 1,2% ВВП России [83]. Это усиливает как инфраструктурные, так и социальные риски, особенно в районах с высокой плотностью населения.

В условиях нарастающей климатической нестабильности архитектурно-инженерные решения в Арктике требуют высокой степени адаптивности [161]. Ключевыми становятся принцип модульности, обеспечивающий быстрое развертывание, демонтаж и ремонт объектов, а также мобильности, необходимой для их перемещения в случае угроз разрушения или чрезвычайных ситуаций.

В рамках разработки концепции новых системных комплексов жизнеобеспечения необходимо обратиться к архитектурным программам концептуальных проектов XX века, сыгравших ключевую роль в формировании специфического подхода к освоению Арктики. Если первый этап, начавшийся в 1920-х годах, характеризовался отсутствием четких ориентиров и понимания условий среды, то к 1950–1970-м годам в практике арктического строительства оформились первые осмысленные архитектурные концепции. Данные проекты представляют для исследования особый интерес, поскольку предлагали новые модели организации жизнедеятельности в условиях Арктики.

Данные проекты, в своем большинстве, ориентировались на создание замкнутых климатически контролируемых пространств, ограничивающих контакт человека с внешней средой. Характерной их чертой было стремление приспособить архитектурную среду к особенностям Арктики.

Одним из первых предложений в данной категории проектов, стала концепция К. Д. Халтурина (1948) (Рисунок 12). В нем автор предлагал соединять здания между собой крытыми переходами на уровне чердаков. В дальнейшем данное решение было реализовано в поселке Удачный, однако переходы в нем были устроены на уровне первого этажа (Рисунок 13). Аналогичные концепции также разрабатывались и в Канаде. Ярким примером является проект Frobisher-

Вау (Рисунок 14). Особого внимания заслуживает проект С. П. Одновалова и М. В. Цимбал (1961). Проектом предполагалось создание поселка на 10 тысяч жителей с центральным купольным пространством, цилиндрическими жилыми блоками, теплицами и разветвлённой сетью крытых переходов (Рисунок 15). В основе замысла лежало стремление объединить все необходимые функции под единой оболочкой с регулируемым микроклиматом – тем самым нивелировав транспортную и логистическую изолированность территории [118].

В качестве примера продолжения описанной концепции можно привести современный проект 2023 года «Доступная Арктика» С. В. Расторгуева – концепция освоения арктического побережья через сеть автономных поселений из стандартизированных геодезических куполов [112]. Каркас из треугольных ячеек и ограждения из ETFE-панелей обеспечивают малый вес, энергоэффективность и стойкость, что критично в условиях транспортной изолированности и отсутствия инженерной инфраструктуры. Внутреннее зонирование куполов организуется по принципу радиальной композиции с «внутренним оазисом», создающим замкнутый биоклимат, пригодный для длительного проживания и выращивания сельскохозяйственных растений. Базовый купол рассчитан на 110 жителей; укрупненный комплекс – до 1500, при этом модули соединены теплыми переходами (Рисунок 16). Энергоснабжение осуществляется за счет ветровых энергоустановок.

Важным направлением развития арктической архитектуры стали исследования Н. А. Сапрыкиной, представленные, в частности, в монографии *«Мобильное жилище для Севера»* (1986) [25]. Автор предложила концепцию мобильных жилых поселений для новых промышленных объектов Арктики, где требовалось быстрое возведение комфортабельного жилья в условиях сурового климата.

Ключевой идеей ее работ было создание модульной типологии объектов, быстрых с точки зрения их монтажа и рассчитанных на многократное использование. По возникновению потребности такие объекты можно было перевезти на новый участок. Подобный подход позволял более гибко и экономически эффективно подходить к проекту освоения Арктики, а также значительно повышало комфорт и качество среды рабочих вахтовых поселков. Все это делало поселения технологичными и адаптивными к меняющимся условиям [25].

Параллельно с концепцией полной изоляции в арктической архитектуре развивалась противоположная идея – стремление к сохранению связи с окружающим ландшафтом. Ее сторонником был Ральф Эрскин, чьи проекты ориентированы на защиту от экстремальных факторов без полной

пространственной изоляции человека от внешней среды [154]. Самые известные из его реализованных проектов – г. Фермон в Канаде, и ныне не функционирующий городок Сваппавара [167].

Город Фермон был основан в начале 1970-х годов для эксплуатации месторождений железной руды. Центром поселения является не его географическая сердцевина, а здание общественного-многофункционального комплекса, в виде стены, которое выполняет функцию ветрозащиты (Рисунок 17). Комплекс вмещает в себя не только общественные функции, в виде библиотеки, магазинов и пр., но и жилые объекты, отель и т.д. Таким образом общественный центр является сердцем поселения, обеспечивающим город всем необходимым. Весь остальной город состоит из одноэтажных типовых жилых домов, дешевых в строительстве, сносе и эксплуатации. Предлагаемые решения делают город восприимчивым к непостоянной численности населения, позволяют сохранять эффективность несмотря на цикл сжатия-расширения, а также предлагают модель комплексного объекта, выполняющего общественную, техническую, образовательную и пр., функции одновременно [154].

Сравнивая советский и зарубежный подходы, можно прийти к выводу о том, что каждый из них обладал собственными достоинствами, учет которых в дальнейшей работе необходим. Советские принципы освоения Заполярья отличаются вниманием к комфорту жизни человека и масштабности подхода в целом. Западный же подход, развивающийся в условиях капитализма, в большей степени отдает предпочтение достижению максимальной эффективности архитектурных решений, как с экономической, так и с психологической точки зрения (обеспечения связи человека с ландшафтом).

Современные российские проекты демонстрируют стремление к многофункциональности и интеграции разнотипных программ в рамках крупных общественных объектов. Их общая логика – не просто совмещать функции, а формировать устойчивые, управляемые и адаптивные среды, где синергия компонентов повышает качество городской жизни и эффективность эксплуатации.

Показателен Парк будущих поколений SAKHA_Z в Якутске (Рисунок 18). Он объединяет образовательные пространства, городской парк и общегородское событийное ядро. Ландшафтные решения парка направлены на обеспечение комфортного микроклимата даже при экстремально низких температурах. Пространственная структура проекта целенаправленно универсализируется за счет комбинации разработанных модулей SAKHAblock, что позволяет гибко наращивать и перестраивать функциональные сценарии использования пространства без ущерба для целостности композиции [102].

Схожие приемы организации пространства развивает в 2025 году компания «Новая Земля» в концепции локальных социальных центров для городов Дальнего Востока и Арктики (Рисунок 19). Предлагается создание многофункциональных социальных комплексов, в которых ключевые услуги и общественные пространства малых городов собираются в единую, климатически защищенную и экономически рациональную структуру. Концентрация функций в структуре снижает издержки содержания, упрощает эксплуатацию и повышает доступность сервиса для жителей, что особенно важно в условиях сурового климата и ограниченных ресурсов [86].

Аналогичные приемы многофункциональности прослеживаются и в зарубежных примерах. Так, канадская научная станция CHARS включает не только исследовательские помещения, но и пространства, ориентированные на потребности местного сообщества, предоставляя площадку для общественных мероприятий на территории станции (Рисунок 20). Тем самым научная инфраструктура становится частью городской (или поселковой) экосистемы, усиливая социальную связность и расширяя спектр повседневных функций [150].

В России интерес к модульному строительству в условиях АЗРФ заметно усилился. Одним из центров разработок стал Инженерно-строительный институт СПбПУ, где формируется инструментарий проектирования быстровозводимых поселков и полевых лабораторий (Рисунок 21) [93]. Проект предусматривает конструктивную модульность (быструю сборку и мобильность), применение энергоэффективных материалов, скрытую прокладку инженерных сетей и адаптацию к короткому строительному сезону и суровому климату. Аналогичные предложения были также разработаны компанией «Теплориум» [136, 144] (Рисунок 22).

Рассмотренные проекты в целом согласуются с выводами предыдущих разделов. Вместе с тем они дополнительно подкрепляют позицию, которой придерживается автор: любой объект городской среды в Арктике следует рассматривать не изолированно, а как звено в общем жизненном цикле человека в этом регионе. Именно поэтому объекты, несущие критически важные функции, должны сохранять способность к оперативной трансформации, не теряя при этом функциональной эффективности.

С архитектурной точки зрения это требует проектирования структур, одновременно адаптированных к экстремальным климатическим условиям и сохраняющих актуальность в меняющемся природно-социальном контексте. Эффективность архитектурных решений обеспечивается соблюдением ряда фундаментальных принципов:

Принцип минимизации площади оболочки относительно объема. Для условий Арктики здания проектируются максимально компактными, чтобы уменьшить отношение площади наружных ограждений к отапливаемому объему и тем самым сократить теплопотери; это достигается выбором простых, обтекаемых форм и ограничением периметра и развитости фасадов. На градостроительном уровне выражается в компактной и плотной застройке и сокращением пешеходных маршрутов [41].

Принцип частично автономной эксплуатации объектов [41]. Изоляция арктических поселений требует зданий с автономным энергоснабжением и отоплением. Это подтверждают примеры научных станций и жилых проектов в Якутске (2017), оснащенных резервными системами на случай ЧС [120].

Принцип защиты от климатических условий с помощью элементов застройки [41]. Высокие ветровые нагрузки Арктики привели к разработке в XX веке ветрозащитной застройки, аэродинамических групп зданий и систем искусственного климата, защищающих население от ветра, предотвращающих снегоотложения и в целом повышающих комфорт горожан в экстремальной среде [110]. Современные подходы к ветрозащите, аэродинамике зданий и ресурсосберегающему формообразованию на основе биоклиматического проектирования активно развиваются в трудах П. А. Казанцева [22].

Принцип сохранения вечной мерзлоты [41]. Наличие в Арктике многолетней мерзлоты, чье разрушение приводит к деградации жилой и промышленной среды создает предпосылки для разработки методов для ее сохранения. Самым распространенным решением является использование продуваемого подполья – здания на опорах 1,5–2 метра над уровнем земли. Важно отметить, что применение данного принципа требует проведения аэродинамического проектирования территории, поскольку значительные снегоотложения также приводят к нарушению температурного баланса грунтов основания [130].

Интерес представляют сложившиеся конструктивные и архитектурные решения, применяемые архитекторами и проектировщиками в России и зарубежом в условиях арктического климата.

Фасадные решения. Высокие снеговые и ветровые нагрузки Арктики накладывают специфические требования к фасадным решениям зданий. В первую очередь требование касается необходимости минимизации выступающих элементов фасада, поскольку любая неровность в случае метели становится зоной повышенного снегонакопления, что уже в свою очередь создает риски для безопасности.

Входные группы проектируются с наветренной стороны, ориентированными вдоль фасада. Такое решение позволяет сохранить доступ в здание вне зависимости от погодных условий, и широко применяется в Норильске, Якутске, Дудинке и т.д. [178]. Форма кровли также подчинена требованиям снеговой безопасности [166, 178].

Конструктивные решения. Конструктивные решения в условиях Арктики направлены на стабилизацию вечной мерзлоты. Наиболее распространенным методом остаются продуваемые подполья на сваях, предотвращающие тепловое воздействие на грунт. Однако ускоряющееся таяние мерзлоты требует новых решений. В условиях ограниченного доступа к тяжелой технике растет значимость легких, модульных конструкций. Наиболее эффективны металлические и деревянные системы с упрощенным продуваемым основанием, распространенные в Канаде и Скандинавии, – они позволяют быстро возводить и демонтировать здания без сложной логистики [166]. Дополнительно используются технологии активной термостабилизации, среди которых наибольшую эффективность демонстрируют двухфазные термосифоны. Эти устройства предназначены для охлаждения грунтов основания, за счет активного охлаждения грунтов основания, что стабилизирует многолетнюю мерзлоту под объектом [124].

Проведенный анализ специфики объемно-пространственных решений объектов в Арктике, формирует ряд требований к разрабатываемым в рамках исследования новым специализированным комплексам системного жизнеобеспечения. В первую очередь данные объекты должны соответствовать четырем приведённым принципам, характерным для Арктики. В его основе должна лежать модульная структура, направленная на повышение скорости монтажа, удобства ремонта и демонтажа. Кроме того, фундаменты обязаны учитывать требования по защите многолетней мерзлоты, в целях обеспечения долговечности структуры.

1.2.2 Функциональная комплексность как основа жизнедеятельности арктических населенных мест

Исследование северных городов требует понимания их специфических особенностей. На основе работ ведущих ученых, занимающихся проблемами Арктики: М.А. Данькина [19] (генеральный директор Экспертного центра «Проектный офис развития Арктики»), Н.Ю. Замятиной [20] (специалист в области социально-экономической географии), А.Н. Пилясова [21] (российский экономико-географ, доктор географических наук) и других ученых, а также архитекторов В.Г. Танкаяна [12], Н.А. Сапрыкиной [25], М.В. Шубенкова [141], градостроителей Е.А. Чайки [13], И.Р. Красноперовой [72], Е.А. Калеменовой [68],

М.В. Винницкого [41,42] и др., выявлены ключевые характеристики арктических городов:

1. В Арктике отсутствуют крупные города и агломерации в традиционном понимании. Население крупнейшего заполярного города не превышает 350 тысяч человек, что не позволяет применять стандартные принципы пространственного освоения, ориентированные на развитие крупных агломераций.

2. Арктика является наиболее урбанизированным регионом в мире, где более 90% населения сконцентрировано в городах. Пять мировых арктических агломераций формируют более половины всего населения региона.

3. Арктические города преимущественно располагаются вдоль южной границы арктической зоны, что обусловлено более мягкими климатическими условиями и лучшей транспортно-логистической доступностью. Некоторые города, например Ноябрьск, целенаправленно создавались на территории Арктической зоны для получения дополнительных льгот [137].

4. Население арктических городов характеризуется неустойчивостью. Показатели миграции значительно превышают среднемировые как по въезжающим, так и по выезжающим. В мировом масштабе арктическое население растет, тогда как в России наблюдается его сокращение вследствие истощения месторождений, недостаточного развития транспортно-логистических технологий, передислокации предприятий и нерентабельности производства при переходе к рыночной экономике.

5. Арктические города отличаются узким профилированием. Относительно крупные населенные пункты Арктической зоны Российской Федерации имеют парадоксально узкую специализацию. В зарубежной Арктике из 50 крупных поселений (с населением более 5 тысяч человек) 13 являются университетскими городами, что составляет 52% всего городского населения зарубежной Арктики. В России из 55 урбанизированных образований только 4 города имеют университетский статус [20, 63].

Российская Арктика существенно отличается от зарубежных моделей урбанизации. Около 17% ее городского населения проживает в «городах при месторождениях» – типе поселений, достаточно редком в других странах. В то время как зарубежная Арктика представлена преимущественно портовыми городами (Рейкьявик, Торсхавн, Тромсе), в России преобладают изолированные внутриконтинентальные города [63, 36] (Рисунок 2). Это особенно парадоксально на фоне наличия Северного морского пути, активизация которого происходит в условиях деградации прибрежной инфраструктуры и ликвидации многих ключевых портов (Амдерма, Диксон, Тикси).

Характерным примером фрагментации является слабое взаимодействие между Норильском и Игаркой. Несмотря на историческую взаимосвязь, сегодня города развиваются обособленно: Игарка административно подчинена Красноярску, что приводит к логистическим парадоксам, включая транспортировку пациентов на 1300 км при наличии необходимых ресурсов в Норильске, расположенном в 200 км. Тем не менее, неформальные связи сохраняются: жители Игарки продолжают использовать Норильск в качестве центра медицинских и торговых услуг.

Феномен утерянной арктической комплексности. Российская модель организации жизнеобеспечения населения изначально строилась на принципе автономной комплексности. В условиях низкой плотности населения и удаленности урбанизированные образования проектировались как самодостаточные системы, объединяющие промышленность, сельское хозяйство, строительство, культуру, здравоохранение и науку. Эту особенность подчеркивал Ю. В. Яременко, указывая на тенденцию создания предприятий по самообеспечению города при отсутствии стабильных межрегиональных связей. Яркими примерами таких комплексных функциональных узлов стали Норильск и Магадан [30].

Ключевым фактором трансформации стала институциональная смена модели хозяйствования в постсоветский период: отказ от плановой системы и переход к рыночным механизмам привел к усилению частных секторальных интересов, сворачиванию локальных производств и утрате городской многофункциональности [91]. На этом фоне развитие СМП и создание новых транспортных артерий усилило уже сложившиеся тенденции, закрепив ориентацию товарных потоков на «северный завоз». В результате отдельные сектора теряли рентабельность, потребности населения все чаще покрывались завозной продукцией, а города утратили самодостаточность и часть высокотехнологичного потенциала. Так, Магадан, ранее выпускавший стройматериалы, не выдержал конкуренции с предприятиями европейской части страны [21]. Попытки точечного восстановления комплексности в рыночных условиях наталкиваются на ограниченный масштаб и не дают устойчивого эффекта [32]. Это подтверждает тот факт, что локальные проекты без стратегической интеграции не обеспечивают устойчивости. Требуется системный подход, включающий согласованное развитие производственной, логистической, социальной и энергетической инфраструктуры региона.

Проблема усугубляется удаленностью большинства арктических городов от транспортных магистралей. Поддержание жизнедеятельности даже в таких активно функционирующих городах как Норильск и Дудинка, становится

объектом государственных дотаций, что ставит под вопрос долгосрочную эффективность существующей модели. В этих условиях концепция комплексности предполагает переход к «сетевой модели» в противовес масштабной советской системе. Речь идет о создании системы взаимосвязанных поселений, формирующих общий рынок обмена ресурсами и продукцией, а не о концентрации жизнеобеспечивающих производств вокруг одного города, обеспечивающих его автономность. Ядром сетевой структуры выступает логистика, объединяющая населенные пункты между собой.

Аналогичные процессы происходят в Республике Саха (Якутия), где в рамках территорий опережающего развития создаются высокотехнологичные производства, удовлетворяющие бытовые потребности населения. Это подтверждает жизнеспособность моделей, основанных на локализации критически важных функций [120].

Специфика развития арктических поселений в условиях циклов сжатия и расширения. Стратегия развития Арктики в СССР была ориентирована на формирование уровня жизни, в среднем превышающего общесоюзный. Хотя эта цель была социально обоснована, она привела к распылению ресурсов и неустойчивости модели расселения. Создавались избыточные, не связанные между собой населенные пункты, которые по мере истощения полезных ископаемых оказались либо излишними, либо неспособными адаптироваться к изменяющимся условиям.

Сегодня большинство арктических городов России находятся в фазе сжатия. Технологическое развитие и автоматизация производства сократили потребность в постоянном массовом присутствии работников на промышленных объектах и перестроили привычные трудовые и пространственные связи. Население потянулось в более устойчивые регионы страны; государство не стало противодействовать этому процессу, а напротив, подкрепило его программами организованного переселения. Параллельно сжимается и управленческое присутствие государства в арктических территориях: реальные рычаги все активнее сосредотачиваются в руках частных добывающих корпораций.

Главной проблемой становится нестабильность урбанизационных циклов: периоды роста сменяются резкими фазами спада. Это делает неэффективной традиционную практику капитального строительства на длительную перспективу. Сжатие происходит дисперсно: жилье пустеет по мере индивидуального оттока, что снижает социальную связанность, плотность взаимодействий и приводит к экономической инерции и маргинализации городской ткани. Показательным примером адаптации к этим процессам является Воркута, где в рамках муниципальных программ осуществляется переселение населения из

периферийных районов в центральную часть города для стабилизации урбанистического ядра и повышения эффективности эксплуатации городской инфраструктуры.

Исходя из этих наблюдений, развитие арктической урбанизации должно базироваться на развитии опорных городов и региональных центров. Приоритетами в процессе преобразований становятся функциональная диверсификация, экологическая устойчивость и архитектурная гибкость среды, способной адаптироваться к расширению и сжатию. Объекты должны быть энергоэффективными и минимально воздействовать на окружающую среду. Функционирование арктических городов должно основываться на устойчивых межпоселенческих связях, обеспечивающих не только базовые потребности, но и воспроизводство социальной и экономической активности. Только на этой основе возможна организация устойчивой системы жизни населения.

1.2.3 Выявление жизнеобеспечивающих направлений развития арктических городов

Анализ арктической урбанизации позволяет сформулировать ключевые выводы о характере и перспективах российских городов в регионе. Во-первых, несмотря на экстремальные природные и социально-экономические условия, арктические города сохраняют стратегическую значимость и обладают потенциалом устойчивого развития. Во-вторых, Арктика формирует особый тип пространственной организации – «растянутый сетевой регион», основанный на функциональной и институциональной, а не традиционной физической связанности [19].

Устойчивость таких городов и поселений определяется диверсификацией функций и переходом к постиндустриальной модели с преобладанием сервисных, управленческих, научных и образовательных задач. При этом высокая мобильность и нестабильность населения, обусловленные трудностями жизнеобеспечения и ограниченными возможностями профессионального роста, усиливают отток жителей Заполярья и фиксируют негативные тенденции в развитии арктической зоны. Преодоление этих процессов требует системного пересмотра подходов к развитию систем жизнеобеспечения. Приоритетом становится создание условий для удержания человеческого капитала и формирования среды генерации «локального знания» [25], то есть компетенций, адаптированных к условиям Севера.

К аналогичным выводам о многофункциональности и необходимости опоры на постиндустриальную модель развития арктических городов приходит Н. Ю. Замятина в работе «Опорные населенные пункты Российской Арктики», где устойчивость населенных мест связывается с расширением спектра функций и

усилением сервисных, управленческих и научных направлений. В архитектурном измерении это выражается в насыщении объектов нетипичными для их первоначального профиля функциями. К таким примерам относятся исследовательская станция CHARS, проекты Ральфа Эрскина, а также современные отечественные разработки. В одном из флагманских проектов Норильска, согласно мастер-плану, жилая застройка объединяет не только жилые и коммерческие помещения, но и рекреационные пространства, общественные и деловые зоны, формируя устойчивую многофункциональную среду.

Аналогичным образом решаются проекты российских арктических баз «Северный клевер» и «Арктический трилистник». Эти объекты представляют собой административно-жилые комплексы, рассчитанные на долговременную автономную работу гарнизона. Внутренние пространства организованы по принципу распределения функций: жилые помещения, штабные и учебные классы, медицинский модуль, спортзал и актовый зал, столовая с кухней и продовольственными складами, кинозал, а также зимний сад с живыми растениями для психологической поддержки персонала. Комплексность планировочных решений повышает устойчивость объекта и снижает зависимость от внешней инфраструктуры.

Еще один пример – комплексные центры, сочетающие науку, обучение и общественные функции. Еще один показательный пример – Шпицбергенский научный центр в Лонгйире (Svalbard Science Centre). Здание, открытое в 2006 году, стало крупнейшим на архипелаге и объединяет под одной крышей Университетский центр, офисы международных научных организаций и музеев. В едином объеме сосредоточены аудитории, лаборатории, библиотека и выставочные зоны, что демонстрирует эффективность интеграции научных, образовательных и общественных функций в арктических условиях.

В развитии архитектуры в Арктике на протяжении последних десятилетий есть устойчивая тенденция к многофункциональности. На всех этапах, от ранних концепций до реализованных проектов, заметно стремление сочетать различные виды деятельности в единой пространственной системе. Такой подход выбирают для реализации определенных целей: повысить устойчивость населенных пунктов, удержать человеческий капитал и накопить компетенции, необходимые для долгосрочного развития арктических территорий.

Анализ научных работ обосновывает ведущую роль следующих направлений развития населенных мест: энергетика (М. О., Моргунова, Л. В. Нефедова.) [94, 98], транспорт (Е. П. Воронина, Н.А. Серова) [43, 123], агропромышленность (В. А. Иванов, А. С. Наумов, Н.Д. Найденов) [65, 97, 96], здравоохранение (А. В. Григоришин, А.А. Макаревич-Константинова) [44, 18], наука и образование (М.

А., Данькин Н. Ю. Замятина., А. Н. Пилясов) [19, 20], архитектуры (К. Н. Агафонова, С. П. Одновалова, В.Г. Танкаян [12], М. В. Цимбал, К. Д. Халтурина, Р. Эрскин). Подчеркивается острая необходимость развития соответствующих обслуживающих функций арктических городов.

1. Энергетика. Для арктических населенных пунктов надежное энергоснабжение – базовое условие выживания и развития. Традиционно многие удаленные города Севера питаются от завозного дизельного топлива, что дорого и ненадежно [94, 98]. Поэтому в Арктике активно ищутся новые модели генерации, адаптированные к суровому климату и изолированности. Перспективы, в том числе отраженные в документах стратегического развития, и ряде уже реализованных практических решения является внедрение адаптивных моделей генерации (малые АЭС, ВИЭ, модульные системы) [103, 92, 95];

2. Транспорт и логистика. Географическая разобщенность населенных пунктов в Арктике – серьезный барьер для развития. Многие города и поселки Ямала и Таймыра не имеют круглогодичной наземной связи с «большой землей»; сообщение поддерживается зимниками, сезонной навигацией и авиацией [43]. Отсюда – дороговизна и нерегулярность поставок, социальная изоляция. Поэтому вторым ключевым компонентом комплекса выбраны транспортно-логистические решения, направленные на восстановление связности опорных пунктов расселения. Большую перспективу в данном направлении имеют беспилотные летательные средства, нивелирующие проблему нехватки кадров, обеспечивающие лучшие показатели гибкости и адаптивности под нестабильные условия АЗРФ.

3. Агропромышленный сектор. Продовольственная безопасность – больная точка арктических регионов. Практически все свежие продукты традиционно завозятся с «материка», что означает высокие цены, сезонные перебои и ограниченный ассортимент (особенно зимой) [65, 96, 97]. Для повышения автономности городов Ямала и Таймыра необходимо развивать локальное производство пищи. Как отмечалось ранее подобное направление производства ранее присутствовало в регионе (фермы в Игарке), и до сих пор сохраняется ряд отдельных кластеров подобных производств (в Норильске, Игарке и других арктических городах). Интеграция в городскую ткань современных гидропонических и тепличных ферм, может стать значимым фактором в обеспечении продовольственной безопасности ЯНАО и Таймыра.

4. Здравоохранение. Система здравоохранения в арктических регионах нуждается в особом подходе. Большие расстояния, малое население и экстремальные условия ведут к тому, что доступ к квалифицированной медицинской помощи затруднен. В многих небольших населенных пунктах нет

постоянного врача, а до ближайшей больницы – сотни километров по тундре или несколько часов лету. В этих условиях очевидно, что традиционные методы организации медицины «как на материке» работать не будут. Требуются инновационные решения, и в последние годы таким решением стала телемедицина и создание распределенной сети медицинского обслуживания [46].

5. Наука и образование. Последним, но не по значению, компонентом предложенного комплекса является научно-образовательный сектор. Его роль двудеиная: с одной стороны, обеспечить подготовку кадров и распространение знаний, необходимых для освоения и обслуживания всех упомянутых выше технологий; с другой – стать генератором новых идей и решений, опирающихся на специфику региона. Создание сети научно-образовательных центров (НОЦ) в Арктике уже рассматривается на государственном уровне как драйвер инновационного развития Севера [19, 21].

В рамках первой главы ставится задача изучения существующего опыта организации жизнедеятельности и архитектурного проектирования в арктических городах, а также фиксации их текущего состояния; на этой основе во второй главе исследования будут разрабатываться объемно-планировочная организация заявленных новых системных жизнеобеспечивающих комплексов.

Объемно-планировочная организация рассматриваемых объектов, даже при размещении их в арктических условиях, будет определяться протекающими в них процессами и в целом соответствовать планировкам одноименных объектов в средней полосе России. Например, для медицинских объектов при проектировании фельдшерско-акушерских пунктов основой останутся установленные группы помещений и санитарно-технические узлы, обеспечивающие стандартный цикл оказания помощи. Специфические арктические требования к объектам заключаются в применении дополнительных мер теплозащиты и энергоэффективности, а также в обеспечении бесперебойного и резервируемого энергоснабжения и повышенной надежности инженерных систем.

Особенности объемно-планировочной организации разрабатываемых решений проявятся в адаптации к циклам сезонного «сжатия–расширения» и вытекающей из них необходимости изменять объемы обслуживания при колебаниях численности населения.

Вопросы трансформации объемно-планировочных приемов при организации динамических процессов осуществления выделенных пяти функций будут рассмотрены во второй главе исследования.

Перспективные методы энергоснабжения городов Арктики. Энергоснабжение остается одной из ключевых проблем Арктической зоны России

[91]. Более 70 % генерации энергии обеспечивается за счет завоза топлива – угля и мазута, что в условиях высоких логистических издержек и изношенной инфраструктуры приводит к кратному росту тарифов по сравнению со среднероссийскими и требует масштабных бюджетных субсидий, усиливая социальную напряженность.

Климатические и пространственные особенности региона – транспортная изоляция, продолжительный отопительный сезон, деградация вечной мерзлоты – делают традиционные схемы неэффективными [94]. В этих условиях необходим переход к комбинированным моделям энергоснабжения, сочетающим традиционные и возобновляемые источники энергии. Одним из перспективных решений являются автономные гибридные энергетические комплексы (АГЭК), интегрирующие дизельные, угольные, солнечные и ветровые установки с автоматизированным управлением. Они снижают расход топлива и повышают надежность снабжения [127].

Солнечная генерация [128] уже показала эффективность в Якутии: СЭС⁸ в поселке Батагай (1000 кВт) позволяет экономить свыше 300 тонн топлива в год. Ветровая энергия перспективна вдоль 12 тыс. км арктического побережья; крупнейший проект – Кольская ВЭС (201 МВт) (Рисунок 23), интегрированная с водородным кластером для хранения энергии.

Малые атомные станции [88], разработанные на основе технологий атомного флота, обеспечивают надежное и экологически безопасное снабжение удаленных территорий, независимо от погодных условий. Примером служит действующая ПАТЭС «Академик Ломоносов» в Певеке (Рисунок 24) и проектируемая малая АЭС⁹ в Якутии [103].

Внедрение подобных комплексов представляется актуальным для всей исследуемой территории. Это обусловлено значительными сложностями, возникающими при транспортировке произведенной энергии на большие расстояния в условиях Арктики. Исключение могут составлять лишь компактно расположенные города, такие как Норильск и Дудинка на Таймыре, где потребление и генерация сосредоточены в непосредственной близости (Усть-Хантайская ГЭС).

С учетом климатических условий Ямала и Таймыра и стабильно высоких ветровых нагрузок, в малых и средних населенных пунктах, как, например,

⁸ СЭС – солнечная электростанция

⁹ АЭС - атомная (ядерная) энергетическая станция

Диксон и Дудинка, наиболее рационально применение ветровых электростанций. В более крупных промышленных центрах, таких как Салехард, Новый Уренгой и Норильск, в перспективе рационально рассмотреть возможность снабжения энергией при помощи малых атомных электростанций.

Анализ перспективных систем обеспечения АЗРФ продуктами питания. Российская и зарубежная практика последних десятилетий показывает, что современные агротехнологии можно адаптировать к условиям Арктики [97]. Это подтверждают проекты вроде вертикальных теплиц Plantagon в Швеции (Рисунок 25), и российские инициативы вроде «Арктической грядки» в Якутии. Создание таких объектов в условиях Арктики, хоть и требует значительных капитальных затрат, тем не менее, в долгосрочной перспективе решает проблему зависимости региона от северного завоза, снижает логистические издержки и в целом повышает устойчивость населенных пунктов [120, 65].

Северный завоз как инструмент снабжения арктических населенных пунктов неэффективен по причине своей дороговизны и особенностей морской навигации в Заполярье. Это в свою очередь повышает актуальность локального производства. Свежие продукты питания имеют ограниченный срок хранения, что в свою очередь приводит к повышению стоимости продуктов для потребителя, снижая общий объем потребления у населения. Это становится причиной дефицита витаминов и клетчатки в рационе жителей Заполярья. Пример Игарки, где в 2021 году были закрыты одни из последних предприятий сельского хозяйства из-за экономической неэффективности в условиях ограниченного рынка и низкого спроса, также лишний раз подчеркивает необходимость перехода к сетевой модели функционирования [58]. Согласно ей, специализированные центры производства продукции снабжают соседние районы с учетом климатических и транспортных условий.

Ключевым решением, способным повысить эффективность всей системы в целом, являются технологии гидропоники и аэропоники, позволяющие достигать высокой урожайности при минимальных затратах ресурсов. Помимо этого, эта технология позволяет гибко встраивать производства в городскую среду [183]. Вертикальные фермы при этом могут выполнять не только функцию производства продуктов питания, но и функцию общественного, социального пространства.

Исследования показывают, что даже 5% локализации производства продуктов питания в условиях Арктики могут обеспечить базовую продовольственную безопасность [96]. Для полного покрытия годовой потребности Норильска в овощах достаточно около 10 тыс. кв.м. таких ферм, что делает модель масштабируемой и применимой к другим арктическим городам.

В рамках анализа были рассмотрены успешные инициативы создания вертикальных ферм в мире:

Крупномасштабный проект: AeroFarms (Ньюарк, Нью-Джерси, США). Одна из крупнейших вертикальных ферм мира размещена в переоборудованном промышленном здании площадью 6,5 тыс. кв.м. (Рисунок 26). Производит до 900 тонн продукции в год на основе аэропонной технологии, позволяющей выращивать растения без почвы и солнечного света. Водопотребление снижено на 95 %, урожайность в 75 раз превышает показатели открытого грунта. Благодаря автоматизации, климат-контролю и территориальной близости к потребителю модель отличается высокой эффективностью, снижает логистические издержки и создает занятость в депрессивных зонах [145]. Применение подобного типа объектов возможно в крупных арктических городах, такие как Новый Уренгой, Норильск и др.

Среднемасштабный проект: Plenty Richmond Farm (Вирджиния, США) «Салат Завод №1» (АгроРУС, Брянск). Ферма замкнутого цикла ориентирована на круглогодичное производство клубники (Рисунок 27). В проекте используются вертикальные башни, ИИ-аналитика и автоматизированное управление климатом. Модульная структура позволяет адаптировать технологию и размещать производство в плотной городской застройке, включая интеграцию в офисные здания. Планируемый объем производства – свыше 1,8 тыс. тонн в год, с созданием около 60 рабочих мест. Проект сокращает выбросы и транспортные издержки за счет близости к рынкам сбыта [173].

В России также реализуются проекты вертикальных ферм, например, предприятие АгроРУС в Брянске. Это крупная городская вертикальная ферма площадью около 5 тыс. м² размещена в переоборудованных промышленных корпусах бывшего завода. Ее специализация – производство более 25–50 видов салатов, зелени и пряных трав с текущим объемом выпуска порядка 3–3,5 т в месяц. Планировочная структура комплекса организована по принципу «чистых комнат» с изоляцией от внешней среды. Функциональные зоны включают: посев, проращивание, выращивание, срезку и упаковку продукции. Для персонала предусмотрены санитарные пропускники и технологические шлюзы, обеспечивающие соблюдение гигиенических норм. Производственные линии построены на базе многоярусных стеллажных систем проточной гидропоники (PFAL), оснащенных централизованной системой климат-контроля и LED-досветки. Применение подобного типа объектов возможно в крупных, но значимых городах, вроде Дудинки, Салехарда и т.д.

Маломасштабный проект: модульные вертикальные фермы в Канаде. Контейнерные установки и модульные постройки, применяемые в отдаленных

северных поселениях Канады (например, общественная ферма в г. Инувик), представляют особый интерес для АЗРФ. Подобные объекты обеспечивают не только круглогодичное производство локальных продуктов питания, но и вовлекают местное население в процесс производства. Это, в свою очередь, приводит к росту социальной активности, появлению новых востребованных компетенций и повышению устойчивости населенного пункта.

Данный тип объектов наиболее рационален для применения в населенных пунктах АЗРФ, где изолированность поселения делает снабжение нестабильным и крайне затратным, а создание крупных комплексов нерационально. Модульный формат позволяет гибко настраивать масштаб производства и в короткие сроки интегрировать объекты в населенный пункт (Рисунок 28).

Исходя из распределения плотности населения и спроса на продукты питания, можно сделать вывод о том, что наибольший спрос на локальное производство на сегодняшний день формируется в ключевых опорных пунктах освоения Арктики (Норильск, Салехард, Дудинка и др.). Этот вывод подтверждается значительными объемами самостоятельного выращивания продовольствия жителями в условиях квартир и частных домов, что отражает объективную необходимость в устойчивом обеспечении продовольствием в регионах с ограниченной транспортной доступностью. Следовательно, именно эти населенные пункты должны стать основными центрами будущего агропромышленного производства. При этом приоритет в размещении крупных производственных комплексов целесообразно отдавать городам с наиболее развитой логистической инфраструктурой, что позволит обеспечить эффективную транспортировку произведенной продукции в другие арктические и приарктические районы.

Характеристика транспортно-логистической ситуации в регионе.

Транспортный комплекс Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) играет ключевую роль в обеспечении мобильности населения и устойчивости социально-экономических процессов. Как системообразующий элемент регионального развития, он формирует пространственную связанность и напрямую влияет на качество жизни в условиях Крайнего Севера [89]. Текущее состояние транспортной инфраструктуры и темпы внедрения новых технологий определяют перспективы перехода к инновационной модели устойчивого развития, обозначенной в государственной политике России [3, 1]. Несмотря на стратегическое значение, транспортная доступность арктических территорий остается крайне низкой. Плотность наземных коммуникаций существенно уступает среднероссийским показателям [123] из-за совокупности факторов: экстремального климата, экологической уязвимости, территориальной

разобщенности и удаленности от производственных центров. Это обуславливает сезонность транспортных потоков и увеличивает издержки на строительство и эксплуатацию.

Серьезный удар по транспортной связанности Арктики нанес переход к рыночной модели в 1990-е годы XX века [89]. Ликвидация централизованной системы снабжения, приватизация инфраструктуры и управленческий кризис разрушили прежние интегрированные логистические схемы. Аналогичные процессы затронули авиацию: к середине 1990-х прекратили работу более 70 % авиапредприятий, централизованная сеть распалась.

В результате пространственная связанность арктических территорий ослабла. Несмотря на наличие сетевого потенциала, связи между регионами преимущественно формальны и не обеспечивают устойчивого обмена ресурсами, товарами и информацией. В контексте формирования системы взаимосвязанных населенных пунктов [53], встает задача создания эффективной внутри- и межгородской логистической инфраструктуры, способной интегрировать населенные пункты в единую транспортно-информационную систему.

Приоритетом должно стать восстановление утраченных логистических объектов и внедрение инновационных решений. В данном контексте особую актуальность приобретают автономные транспортные системы, в частности беспилотные летательные аппараты, что особенно важно в условиях кадрового дефицита в сфере малой авиации. Использование дронов, по мере повышения их грузоподъемности и радиуса действия, позволяет эффективно связывать арктические населенные пункты между собой, сокращая логистические издержки и обеспечивая возможность доставки ресурсов в труднодоступные районы.

Эффективность применения БПЛА в таком контексте подтверждается рядом действующих проектов, в частности проектом Zipline по доставке лекарственных препаратов в Нигерии [155] (Рисунок 29). Разработки дронов последних десятилетий, как в России, так и за рубежом, демонстрируют устойчивый рост грузоподъемности, дальности полета и уровня безопасности перевозок [134], что позволяет сделать вывод о перспективности их использования в условиях Арктики. Интеграция инфраструктуры для БПЛА в существующие логистические центры Ямала и Таймыра позволит существенно повысить связность территорий между собой, вовлечь малые изолированные населенные пункты в сетевую систему расселения. Так, в контексте Таймыра малые населенные пункты, такие как Носок, Караул, Диксон, могут быть включены в систему снабжения на базе логистического центра в Дудинке, что позволит, в свою очередь, оптимизировать логистические маршруты. Аналогичная система в контексте Ямала может функционировать с центрами в Салехарде и Новом Уренгое. Основными рисками

применения БПЛА в Арктики являются ограничения технического, инфраструктурного и конструктивного характера.

- **Высокочувствительное навигационное оборудование.** Для успешного функционирования беспилотной логистики требуется высокоточное навигационное оборудование, устойчивое к помехам, сбоям и внешнему вмешательству, что является риском в контексте суровых условий Арктики.
- **Отсутствие наземной инфраструктуры.** Несмотря на то, что БПЛА значительно менее требовательны к инфраструктуре, чем водный транспорт или малая авиация, дроны с высокой грузоподъемностью тем не менее потребуют создания капитальной инфраструктуры, широкое развитие которой в Арктике будет происходить впервые.
- **Требования к конструктивным параметрам.** Суровые климатические условия Арктики накладывают на БПЛА высокие требования с точки зрения их летных качеств, что потребует разработки специальных решений для региона.

Анализ объектов здравоохранения в арктическом городе

Арктическая зона Российской Федерации характеризуется низкой плотностью населения, экстремальными климатическими условиями и высокой пространственной фрагментированностью, что делает традиционные модели медицинского обслуживания неэффективными [32]. Ограниченная инфраструктура, дефицит кадров и слабая транспортная доступность снижают потенциал устойчивого развития человеческого капитала.

В этих условиях здравоохранение региона трансформируется в сторону мобильных и дистанционных форм [188]. Наиболее эффективны – выездные бригады, мобильные амбулатории и телемедицинские платформы [181]. Пандемия COVID-19 ускорила цифровизацию, но телемедицина требует дальнейшего институционального и технического укрепления.

Несмотря на строительство фельдшерско-акушерских пунктов, кадровый дефицит сохраняется. Отсутствие арктической специализации в медицинском образовании дополнительно снижает эффективность помощи. Средняя продолжительность жизни в АЗРФ на 10 лет ниже общероссийской, что указывает на системную уязвимость существующей модели.

Характерным примером неадаптированной инфраструктуры является Оганерская больница в Норильске (Рисунок 30). Спроектированная под индустриальную модель, больница утратила актуальность после демографического спада, и все чаще функции стационарной помощи фактически заменяются эвакуацией пациентов на материк. Пересмотр модели концентрации объектов здравоохранения и их интеграция в единую систему позволят

восстановить значимость и повысить эффективность медицинского обслуживания населения.

Развитие здравоохранения в Арктике требует перехода к гибридной модели: стационарные медицинские центры в ключевых городах должны дополняться мобильными медицинскими модулями, беспилотной доставкой медикаментов и единой цифровой платформой управления. Система здравоохранения должна функционировать как распределенная, логистически и информационно связанная сеть, обеспечивающая базовую медицинскую безопасность и поддерживающая устойчивое развитие арктических территорий. Например, фельдшерско-акушерский пункт в малом поселении (Диксон, Игарка), опираясь на телемедицинские технологии и региональный центр, сможет оказывать квалифицированную помощь, а при необходимости транспортировать пациента для госпитализации в ближайший арктический медицинский центр (Норильск).

Особенности организации объектов науки и образования в АЗРФ

Развитие научно-образовательной инфраструктуры в АЗРФ напрямую связано с целями по достижению большей устойчивости функционирования Заполярья. Экстремальные климатические условия региона и его изолированность от центральных территорий требуют развития особого «локального» знания, адаптированного к специфике Арктики [152].

Многие города АЗРФ, как уже упоминалось ранее, создавались как центры добычи и по мере истощения сырьевой базы столкнулись со стагнацией, постепенной утратой своей функции и последующей депопуляцией. Так произошло, например, в Воркуте и Игарке. Альтернативную модель демонстрируют некоторые зарубежные арктические города и поселения.

Город Фэрбенкс (Аляска), изначально возникший как центр добычи, переосмыслил свою роль благодаря учреждению Университета Аляски [61] (Рисунок 31). В настоящее время это крупнейший исследовательский центр Арктики с широкой филиальной сетью и развитой научной инфраструктурой. Аналогичная структура действует и в Анкоридже, где университет координирует деятельность нескольких колледжей, охватывая малые населенные пункты. Архитектурная адаптация кампусов к суровому климату и территориальная распределенность позволяют эффективно сочетать подготовку специалистов, научные исследования и поддержку локальных сообществ.

Международный опыт показывает, что интеграция образования, науки и культуры в единую сеть – это не только условие для профессиональной подготовки, но и ключевой фактор устойчивости северных городов. Такая модель позволяет формировать неиндустриальные точки роста и создавать арктические

города нового типа – научно-ориентированные, сетевые и жизнеспособные вне рамок ресурсной зависимости.

В России исследовательская деятельность в Арктике развивается как в формате традиционных научно-исследовательских институтов, так и в рамках создаваемых на их базе научно-образовательных центров, например центра «Российская Арктика», что подтверждает высокую востребованность данного направления.

В условиях Ямало-Ненецкого и Таймырского округов ключевыми научно-образовательными узлами целесообразно рассматривать крупные арктические опорные города – Норильск, Новый Уренгой и Салехард. На их базе может быть сформирована сеть малых научных станций в поселениях Арктики, что позволит обеспечить комплексное развитие научных исследований и образовательных инициатив, включая наиболее удаленные и труднодоступные районы.

Выводы по параграфу

В Арктике сформировался острый запрос на диверсификацию экономической структуры населенных пунктов, которые в значительной степени остаются промышленными поселениями индустриальной эпохи. Необходимо развитие социально направленных, административных и научно-исследовательских функций. Анализ практических проектов и теоретических работ показал, что в первую очередь востребованными оказываются следующие пять функций: энергетика, агропромышленность, наука и образование, здравоохранение, логистика.

Таким образом, формулируется базовый принцип функционирования характерный для региона – **принцип функциональной диверсификации**. Советская практика показала, что жизнеспособность арктических урбанизированных образований обеспечивалась сочетанием промышленных, научных и социальных функций, тогда как моноотраслевая зависимость делает современные города уязвимыми к изменениям внешней конъюнктуры [50]. Зарубежный опыт подтверждает, что исчерпание ресурсной базы вынуждало арктические города перестраивать свою структуру через развитие новых компетенций. Диверсификация должна учитывать локальный потенциал и осуществляться поэтапно, расширяя функциональную базу – от энергетики и агропромышленности до науки, образования, здравоохранения и логистики, – укрепляя существующие специализации и адаптируя города к меняющимся задачам и потребностям [132, 19].

1.3 Подходы к организации гибкости и адаптивности объектов системного жизнеобеспечения

Хозяйственное освоение Арктической зоны Российской Федерации всегда осложнялось экстремальными природно-климатическими условиями, негативно влияющими как на строительство и эксплуатацию инфраструктуры, так и на психологическое состояние населения. Во второй половине XX века, на фоне активной индустриализации, началось целенаправленное изучение воздействия арктического климата на человека и среду обитания [159], что способствовало разработке специализированных проектных и технологических решений, адаптированных к суровым условиям Арктики.

Тем не менее, современные климатические трансформации ставят под сомнение эффективность ранее применявшихся подходов [100]. Ускоряющееся потепление оказывает комплексное воздействие на северные города, обостряя необходимость переосмысления методов проектирования, коррекции инженерных решений и социальной устойчивости.

Настоящий раздел посвящен поиску новых типологических и архитектурных решений, направленных на снижение рисков и формирование более гибкой, адаптивной архитектурной среды Арктики. Цель заключается в разработке проектных подходов, способных учитывать климатическую изменчивость, пространственные ограничения и социально-экономические вызовы региона, создавая устойчивую основу для его долгосрочного развития.

1.3.1 Пространственно-временная философия культуры северных народов

Разработка заявленной концепции невозможна без учета философии жизни коренных народов Арктики, традиционно ведущих кочевой образ жизни. Исследования, в частности «Атлас кочевых технологий», выделяют фундаментальные принципы пространственной организации жизни, адаптированной к экстремальным условиям Севера [17].

Первый принцип – единство пространства и времени. В номадическом сознании понятия времени и пространства взаимосвязаны между собой и ощущаются через «движение», через смену стоянок на пути кочевья. Отдельные объекты, инструменты и само жилище при этом также является частью этого жизненного цикла.

Второй – мобильный модуль. Данный принцип реализуется в виде семейного жилища – аргиша. Это автономная, мобильная, гибкая структура, которая развивается и изменяется во времени подобно живому организму. Перемещаясь от стоянки к стоянке аргиш дополняется новыми элементами, его детали заменяются или модернизируются. Такой подход позволяет быстро адаптировать жилую среду к внешним условиям (Рисунок 32).

Третий принцип – «кочевой трансформер». Принцип отражает цикличность жизни и ее форм. Переход от стоянки к движению и обратно приводит кочевников к необходимости рационально использовать ресурсы, адаптироваться к конкретным условиям (Рисунок 33).

Четвертый – северная эстетика¹⁰. В восприятии кочевников красота неотделима от функции, красиво то, что хорошо работает, что практично. Любое решение должно быть гибким и рациональным, а также быстрым, поскольку любое промедление может быть фатальным.

Арктика в восприятии коренных кочевых народов это пространство, неразрывно связанное с движением и необходимостью адаптироваться. Главными ценностями при этом являются гибкость, мобильность и практичность. Использование этих идей в формулировании концепции заявленного в диссертации комплекса позволит разработать адаптивную архитектурную типологию, способную быстро встраиваться в городскую среду и изменяться по мере изменения окружающих условий. Далее рассмотрим, как перечисленные принципы находили отражения в архитектурных концепциях XX века и в проектах арктически и антарктических научных станций.

1.3.2 Модульность и адаптивность в архитектуре XX века

В истории архитектуры можно назвать множество примеров организации адаптивных архитектурных форм, построенных на основе повторяющихся элементов, яркие примеры таких архитектурных концепций сформировались во второй половине XX века. Этот период был ознаменован необходимостью масштабного обновления городской инфраструктуры и обеспечения жильем широких слоев населения в условиях послевоенного восстановления. На этом фоне оформились архитектурные движения, стремившиеся преодолеть ограничения традиционного проектирования за счет внедрения гибких, адаптируемых решений. Два ярких примера – японский метаболизм и европейский структурализм. Обе концепции опирались на принципы модульности и адаптивности, предполагая использование стандартных элементов и возможность их трансформации в ответ на изменяющиеся условия. Однако подходы к реализации этих принципов различались. Метаболисты (Кэндзо Тангэ, Кисе Курокава и др.) воспринимали города и здания как живые организмы, растущие за счет добавления модулей. Структуралисты (Герман Герцбергер,

¹⁰ Северная эстетика – синтез пользы и красоты в представлениях арктических кочевников. Автор: Головнев Д.А.

Альдо ван Эйк и др.), напротив, искали «структуру» – устойчивый каркас, внутри которого возможны изменения и вариации.

Архитектурное движение Метаболизм зародилось в Японии в начале 1960-х годов. Главная идея движения – здания и города должны постоянно обновляться и расти, подобно живым организмам. Кэндзо Тангэ, выступая идеологом движения, и молодые архитекторы его круга (Кисе Курокава, Киенори Кикутакэ, Фумихико Маки и др.) предложили концепцию архитектурных мегаструктур, способных трансформироваться со временем. Основной принцип – разделение здания на постоянный «скелет» (структура-носитель) и сменяемые модульные элементы, которые можно добавлять, заменять или перемещать. Благодаря этому здание или целый город может адаптироваться к изменению потребностей, демографии, технологий.

Принцип модульности реализовывался за счет использования типовых автономных блоков. Они производились в заводских условиях с высокими показателями точности и готовности, после чего монтировались на строительной площадке. Принцип адаптивности при этом выражался в способности заменять старые и добавлять новые модули по мере роста или сжатия структуры. Ниже рассмотрены два наиболее знаковых проекта данного движения: градостроительный план Токио (Рисунок 34) (1960) за авторством К. Тангэ и башня «Накагин» (1972) за авторством К. Курокавы [162] (Рисунок 35).

План развития Токио, представленный К. Тангэ в 1960 году стал манифестом движения метаболистов. Концепция предполагала радикальную перестройку города за счет освоения территории акватории Токийского залива. Идея проекта заключалась в создании «скелета» в виде транспортно-логистических магистралей, на которую в свою очередь нанизывалась гибкая, модульная архитектура. Вместо традиционного «расползающегося» города, проект предлагал трехмерную модульную систему, которая оптимизировала процесс городского развития. Хотя проект и остался нереализованным, он, тем не менее, оказал большое влияние на международную градостроительную теорию.

Одним из не многих реализованных проектов метаболистов является Башня «Накагин» (1972) в Токио, за авторством К. Курокавы. Комплекс состоял из двух железобетонных стволов, выступающих в качестве «скелета». К нему были пристыкованы 140 капсул с размером 4х2,5 м, вмещавших в себе мини-апартаменты для одного человека. Капсулы производились полностью оснащенными инженерными системами и мебелью. Гибкость подхода заключалась в идеи, что по мере эксплуатации объекта капсулы можно будет заменять, без вмешательства в структуру здания. По задумке архитектора, жизненный цикл одной капсулы составлял до 30 лет, а их обновление продлевалось

бы жизнь здания, без его сноса. Однако, несмотря на заявленную гибкость, ни одна капсула так и не была заменена. Потенциал адаптации остался нереализованными, а сама башня была демонтирована в 2022 году.

Движение метаболистов предложило новый взгляд на здание, как не статичную структуру. Такая архитектура опережала свое время и во многом осталась экспериментом, но заложила фундамент принципов, востребованных и сегодня – модульного строительства, быстрой сборки и трансформации, учета жизненного цикла здания. Принцип «ядро + сменные части» (Рисунок 36), впервые ясно сформулированный метаболистами, позже стал применяться в разных контекстах – от офисных небоскребов до современных модульных домов [172].

В конце 1950-х – 1960-х годов в Европе сформировалось архитектурное направление структурализм. В отличие от метаболистов, уподоблявших здания живым организмам, структуралисты воспринимали архитектуру как язык или сеть отношений, акцентируя внимание на связях между элементами и масштабом человека. Ведущими теоретиками выступили Альдо ван Эйк и Герман Герцбергер. Они разработали концепцию «открытой структуры» – долговечной системы, внутри которой допускается трансформация [179]. Это выразилось в принципе «структура + наполнение»: каркас или модульная сетка задаются изначально, а внутреннее пространство – перегородки, функции, сценарии использования – адаптируются со временем (Рисунок 37). Модульность в структурализме основывалась на ячеистой организации пространства. В отличие от автономных капсул метаболистов, модули структуралистов – комнаты или блоки – были взаимосвязаны, формируя единую пространственную сеть, подобную квартальной структуре города. Адаптивность достигалась не заменой модулей, а многообразием их использования.

Идеи движения вдохновлялись структурализмом в гуманитарных науках (К. Леви-Стросс, теория языка) и традиционными формами городской ткани. Архитектура должна была стать «вторым домом», пространством для индивидуализации и коллективного взаимодействия. Наиболее выразительно это проявилось в двух проектах – приюте в Амстердаме Альдо ван Эйка и здании Centraal Beheer Германа Герцбергера.

Построенный в 1960 году на окраине Амстердама, приют для детей-сирот в Амстердаме Альдо ван Эйка воплотил новую концепцию: здание как маленький город (Рисунок 38). Вместо одного большого корпуса архитектор разбил программу (спальные крылья, учебные, хозяйственные помещения) на множество небольших павильонов, соединенных переходами [158].

Основу композиции составила сетка модулей. Ван Эйк использовал стандартный модуль-павильон квадратной формы, перекрытый купольной бетонной крышей на четырех колоннах. Модули двух размеров – меньшие для жилых комнат и большие для общих залов – повторяются более 300 раз, образуя единый ансамбль. Адаптивность проекта достигается на уровне использования пространства: один и тот же модуль может служить и спальней, и классом, а благодаря сквозной планировке помещения могут сливаться или разделяться исходя из текущих потребностей.

Другой знаковый проект структурализма – офисное здание компании Centraal Beheer в Апелдорне, спроектированное Германом Герцбергером и построенное в 1972 году (Рисунок 39). Здание Centraal Beheer представляет собой трехмерную решетку из бетонных кубов размером $\sim 9 \times 9 \times 3$ м каждый, расставленных с равным шагом по плану и по высоте. Всего в четыре этажа уложены 60 таких кубических модулей, расположенных блоками и смещенных относительно центральных «улиц»-проходов внутри здания [176].

Каждый модуль-куб – небольшое пространство открытого офиса, рассчитанное примерно на 6–8 рабочих мест – выступает в роли «строительного блока» всего здания. Но при этом Г. Герцбергер сумел избежать монотонности за счет соединения модулей по-разному. Он сгруппировал кубы вокруг двух внутренних атриумов-«улиц», проходящих крестообразно через здание. Таким образом образовались своеобразные «кварталы» внутри офиса. В местах пересечения блоков были организованы открытые пространства общего пользования – атриумы, лестницы. Таким образом архитектор при помощи модульной сетки создал разнообразное пространство, напоминающее городской квартал с улочками и площадями [176]. Адаптивность объекта реализовалась в 2020-м году, когда здание было перепроектированным из офисов в жилье. Проект продемонстрировал философию структурализма, а именно, что в структуре важнее отношение между элементами, чем сами элементы [176].

Структуралисты сформировали представление о здании, как об гибкой, адаптивной структуре, рассчитанной на изменения в процессе эксплуатации. Архитектура формировалась вокруг концепции «двухслойности»: несущая структура и изменяемое «наполнение», что открыло возможности для изменения среды под нужды человека.

Метаболизм и структурализм, несмотря на общую тягу к гибкости, представляют собой почти противоположные подходы. Метаболисты мыслили масштабно и техно-утопично: сменные модули на неизменном острове, здания как машины для роста города. Структуралисты же исходили из человеческого масштаба: гибкая пространственная сетка, где жизнь и связи людей сами

формируют среду внутри устойчивого каркаса. Если выразить суть каждой теории метафорой, то метаболизм – это «дерево с плодами-модулями», а структурализм – «пчелиные соты».

Для формирования выдвинутой автором концепции эти различия открывают два потенциальных вектора: метаболизм обеспечивает системную наращиваемость и технологическую автономность в условиях удаленности и ограниченности ресурсов, а структурализм предлагает модели устойчивых пространственных матриц, способных адаптироваться под социокультурные и климатические сценарии. Модульная логика в обоих случаях позволяет строить архитектуру, готовую к изменениям, но выбор между ними определяет логику самого роста: экспансивную или трансформативную.

В рамках разрабатываемого комплекса ключевыми требованиями к архитектурной модели становятся одновременно системная наращиваемость, технологическая автономность и способность к адаптации в условиях изменяющейся социально-экономической и климатической обстановки. Это в свою очередь обуславливает необходимость применения гибридной логики, сочетающей принципы как метаболизма, так и структурализма.

Архитектурная концепция должна сочетать идею постоянного структурного каркаса и сменяемых модульных компонентов, реагирующих на внешние изменения. Внутри самих модулей рационально применять подход структуралистов, а именно, выделение долговременной несущей структуры и гибкого, поддающегося трансформации наполнения. Такая логика позволит создать устойчивую и адаптивную архитектурную программу разрабатываемого комплекса.

1.3.3 Особенности архитектурных решений и строительные технологии удаленных арктических и антарктических научных станций

Анализ применения модульных решений в Арктике требует особого внимания к проектам научно-исследовательских станций. Именно здесь применяются наиболее совершенные технологические решения, применяются актуальные технологии строительства и архитектурного проектирования. Помимо этого, данные объекты эксплуатируются в экстремальной климатической среде, с высокими ветровыми нагрузками, снеговыми заносами [11].

Практически все современные арктические станции проектируются на основе принципов модульности и адаптивности. Выделяются два основных подхода: подход на основе унифицированных элементов и подход, использующий объемно-пространственные блоки.

Примером первого подхода является франко-итальянская станция «Конкордия» (2005 г.), расположенная в глубине Антарктиды (высота 3230 м над

уровнем моря) (Рисунок 40). Основное сооружение станции состоит из двух многоугольных цилиндрических модулей диаметром около 18 м и высотой около 10 м, соединенных крытым переходом. Эти корпуса собраны из предварительно изготовленных стандартных контейнерных блоков (~20 футов), доставленных на место в разобранном виде. Функциональное зонирование обеспечено разделением на «тихий» корпус (жилье, лаборатории, медблок) и «шумный» (технические помещения, генераторы, мастерские), что минимизирует вибрационное и акустическое воздействие на жилые зоны [185].

Дополнительно к основным корпусам с обеих сторон примыкают технические вспомогательные модули (дизельная электростанция и гаражи для техники), которые выполнены по блочно-модульному принципу и размещены на специальных полозьях (салазках). Это позволяет перемещать их для технического обслуживания и очистки территории от снега. Основные здания станции подняты над снежной поверхностью примерно на 2,5 м при помощи гидравлических самоподнимающихся опор. Конструкция опор позволяет периодически поднимать сооружение выше, предотвращая его погружение под растущий снежный покров. Цилиндрическая форма корпусов обеспечивает равномерное распределение ветровых нагрузок, минимизируя образование снежных заносов [185].

Инженерные решения станции также адаптированы к экстремальным условиям. Конструкция включает эффективную теплоизоляцию на основе панелей с наполнителем из каменной ваты, системы плавления снега и очистки сточных вод с замкнутым циклом до 90%, и изготовлена из негорючих и морозостойких материалов. Элементы здания производились во Франции и Италии и транспортировались более 1000 км тяжелым тракторным караваном от береговой линии Антарктиды. «Конкордия» стала образцом успешного международного сотрудничества, демонстрируя надежность модульных решений на протяжении более 15 лет эксплуатации при температурах ниже -75°C [185].

Бельгийская антарктическая станция «Принцесса Елизавета» (2009 г.) является примером объемно-пространственного модульного подхода (Рисунок 41). Станция расположена в горах Антарктиды (Земля Королевы Мод). Здание предварительно собиралось и тестировалось в Брюсселе, а затем разобранное было отправлено в Антарктиду. Основной конструктивный каркас состоит из четырех стальных опор, заглубленных примерно на 6 метров. На них монтируется деревянный каркас из клееной древесины и многослойных сэндвич-панелей толщиной 500 мм. Панели облицованы нержавеющей сталью. Такая конфигурация элементов обеспечивают высокую теплоизоляцию и при этом быструю сборку на месте [163].

Функционально станция разделена на два уровня. Верхний уровень вмещает в себя жилые и лабораторные помещения. Нижний уровень выполняет технические функции (гаражи, мастерские, хранилища).

Монтаж производился по принципу конструктора, что позволило завершить сборку объекта за два месяца рабочей командой из 8 человек. Здание обладает скругленными фасадами, минимизирующими снеготаносы и рассчитано на восприятия ветровых нагрузок до 250 км/ч. Объект реализован по принципу продуваемого подполья, здание приподнято на 2 метра над скалой, что помимо защиты грунтов основания, обеспечивает требуемые показатели снеготраноса. Здание адаптировано к температурным и сейсмическим деформациям, благодаря независимой подвижности опор [163].

Помимо этого объект спроектирован исходя из принципа энергетической автономности, в связи с чем на территории комплекса были установлены ветровые турбины и солнечные панели, что позволило отказаться от дизельного топлива даже зимой при температурах ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ [163].

Примером второго подхода, основанного на применении объемных модульных блоков, являются станции Halley VI (Великобритания) [174], Bharati (Индия) [170] и Neumayer-Station III (Германия) [148, 156]. В этих проектах заранее изготовленные крупногабаритные модули собираются непосредственно на месте строительства в единую интегрированную структуру.

Станция Halley VI, построенная в 2012–2013 годах британским архитектурным бюро Hugh Broughton Architects совместно с компанией AECOM, является первой полностью перемещаемой антарктической станцией, предназначенной для эксплуатации на нестабильном шельфовом леднике (Рисунок 42). Конструкция станции состоит из восьми взаимосвязанных ярко-синих модулей, установленных на гидравлических опорах с массивными лыжами. Такая компоновка позволяет легко перемещать отдельные модули с помощью тракторов в случае угрозы разрушения ледника. Опоры способны гидравлически поднимать станцию до 4 метров над снегом, обеспечивая защиту от снежных заносов. Инженерные решения включают гидравлические цилиндры с морозостойкой жидкостью (до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$), каркас из сверхпрочной стали и имеет аэродинамическую форму модулей со скошенными углами для минимизации снеготаносов. Важной особенностью Halley VI является автономность систем жизнеобеспечения и возможность сезонного отключения станции с переводом в полностью автоматический режим [174].

Индийская станция Bharati (Рисунок 43), открытая в 2012 году на берегу залива Прюдс в Восточной Антарктиде, представляет собой пример использования стандартных морских контейнеров в полярной архитектуре.

Станция состоит из 134 двадцатифутовых контейнеров, объединенных в трехэтажное здание, заключенное в единую аэродинамическую оболочку из теплоизоляционных сэндвич-панелей (Рисунок 44). Контейнеры сварены между собой и образуют жилые и технические помещения, лаборатории и энергетические модули. Станция поднята над землей на 1,2 метра на стальных опорах, что препятствует образованию снежных наносов. Конструкция обеспечивает легкость сборки, разборки и замены элементов при необходимости перемещения или утилизации станции. Bharati полностью автономна в энергетическом плане, сочетая дизель-генераторы с рекуперацией тепла, солнечные панели и ветротурбины [170].

Немецкая станция Neumayer-Station III, введенная в эксплуатацию в 2009 году на шельфовом леднике Экстрем в море Уэдделла, является примером комплексного решения с использованием объемно-пространственных контейнерных модулей и адаптивной платформы (Рисунок 45). Центральное здание (размером $\sim 68 \times 24$ м) включает около 100 контейнеров, выполняющих различные функции: жилые помещения, медицинский блок, лаборатории и технические помещения. Конструкция станции стоит на 16 гидравлических опорах-колоннах, которые ежегодно могут поднимать ее примерно на метр, компенсируя приrost снежного покрова и движение ледника. Под основным зданием устроен подледный гараж-ангар, обеспечивающий защиту транспорта и складских помещений. Контейнеры легко заменяются и переоборудуются, не нарушая общий конструктивный каркас. Neumayer III оснащена гибридной системой энергоснабжения, сочетающей дизель-генераторы, ветряные установки и солнечные батареи [148, 156].

В рамках разрабатываемой концепции примеры полярных научно-исследовательских станций представляют значительный практический интерес как с точки зрения реализуемых архитектурно-инженерных решений, так и применяемых технологических подходов. Согласно проведенному исследованию выявлено, что многие современные станции ориентируются на модульные системы, что соответствует изначальной авторской модели проектируемого комплекса.

Большинство станций, за исключением проекта Halley VI, реализованы по логике движения структурализма. Проекты изначально создаются исходя из идеи внутренней планировочной гибкости. При этом, стоит отметить, что все объекты спроектированы как завершенные структуры, не предполагающие дальнейшего масштабирования или напротив сжатия. В данном контексте станция Halley VI представляет собой уникальный пример, в котором не только заложена возможность пространственной адаптации (расширения или сжатия), но и в целом

возможность перемещения объекта в ходе его эксплуатации, что в большей степени схоже с идеями метаболизма.

Помимо этого, в некоторых проектах, таких как станция Конкордия, можно наблюдать внедрение идей модульной трансформации. Инженерные и вспомогательные модули присоединяются к центральной структуре по упрощенной схеме, что соответствует идеям метаболистов.

Так, подтверждается обоснованность высказанной гипотезы автора, основанной на гибридном подходе, сочетающем структурную устойчивость характерную для структурализма и пространственной адаптивностью созвучной идеям метаболизма. Дополнительным обоснованием гипотезы выступает философия коренных народов Арктики, акцентирующая внимание на связях между объектом, ландшафтом и изменяющимися условиями жизни.

Выводы по параграфу

Интеграция четырех принципов северного номадизма – единства пространства-времени, мобильного модуля, циклической трансформируемости и «северной эстетики» (функциональной рациональности) – формирует методологическую основу проектирования в экстремальных условиях. Принципы определяют приоритет модульности, мобильности, быстрой реконфигурации и оперативного развертывания. В условиях динамичных и жестких природно-климатических факторов это обуславливает отказ от жестких «капитальных» решений в пользу трансформируемых. Теоретически данное требование наилучшим образом выражает метаболический подход: исходный несущий каркас с ячейками, заполняемыми модулями разных масштабов, обеспечивает большую свободу масштабирования, замены, сжатия и расширения по сравнению со структурализмом и тем самым повышает отзывчивость к меняющимся климатическим и функциональным условиям Арктики. Отсюда вытекает базовый принцип функционирования арктических объектов – модульность и адаптивность, то есть способность архитектуры оперативно реагировать на внешние воздействия и изменяться вместе с ними.

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

Север играет в экономике РФ ключевую роль драйвера роста, не только в качестве источника ресурсов, но и как стимул технологического инновационного развития страны. Процесс освоения Арктики сегодня, не достигает желаемого результата из-за неравномерности его осуществления, что блокирует дальнейшее планомерное развитие региона.

Сравнение подходов к освоению Арктики в XX- начале XXI вв. привело к выводу о том, что для устойчивого развития арктических территорий необходима диверсификация экономической базы и обеспечение не только географических,

но и управленческих, социальных и экономических взаимосвязей, характерных для сетевого региона. Выявлены 5 ключевых направлений развития функций жизнеобеспечения: энергетика, агропромышленность, логистика, медицина, наука и образование.

Выявлены три основных принципа, которым должен подчиняться объект жизнеобеспечения:

- **Многоуровневая связность и самообеспечение** – интеграция арктических городов в единую сетевую систему, обеспечивающую обмен ресурсами и устойчивость в условиях изоляции.
- **Функциональная диверсификация** – отход от моноспециализации, развитие в каждом городе новых функций (энергетика, агропромышленность, наука, логистика, медицина) для повышения устойчивости.
- **Модульность и адаптивность** – разработка гибких архитектурных и технологических решений, позволяющих быстро адаптироваться к изменяющимся условиям Арктики.

Показано, что интеграция пространственно-временной философии северных народов в концепцию арктических жизнеобеспечивающих комплексов требует гибкости и адаптивности архитектурных объектов жизнеобеспечения в условиях эксплуатации. Такое понимание пространства жизни созвучно теории «открытой формы» в архитектуре второй половины XX века.

ГЛАВА 2.

АРКТИЧЕСКИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА ОБНОВЛЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ ТАЙМЫРСКОГО (ДОЛГАНО-НЕНЕЦКОГО) РАЙОНА И ЯМАЛО- НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

2.1 Концепция Арктического специализированного комплекса. Общие объемно-пространственные и конструктивные решения

Суммируя выявленные теоретические принципы, которым должны соответствовать новые объекты жизнеобеспечения арктических городов, выделяются: - принцип многоуровневой связанности и самообеспечения разрабатываемых объектов (Рисунок 46); - принцип функциональной диверсификации (Рисунок 47); - принцип модульности и адаптивности архитектурных объектов (Рисунок 48). Современный этап освоения Арктической зоны требует смены архитектурной парадигмы: от жесткого монофункционального зонирования к созданию адаптивных структур, способных гибко реагировать на климатические и социально-экономические вызовы. В

противовес традиционным подходам, предлагается внедрение новой планировочной единицы – Арктического специализированного комплекса (АСК).

АСК определяется не просто как архитектурный объект, а как автономный инфраструктурный узел, компенсирующий дефицит базовых сервисов в удаленных локациях. Это модульная полифункциональная структура, ориентированная на создание замкнутых циклов жизнеобеспечения и снижение зависимости от «северного завоза». АСК в малых поселениях функционирует как самодостаточный многофункциональный комплекс, в крупных городах же он функционирует как интегрированный распределенный комплекс (Рисунок 49, Рисунок 50).

Архитектурно-планировочная стратегия АСК базируется на синергии пяти выявленных в первой главе функций:

- Энергетический компонент: направлен на децентрализацию и повышение надежности энергоснабжения.
- Агропромышленный компонент: обеспечивает продовольственную безопасность.
- Медицинский компонент: решает задачи сохранения здоровья в экстремальной среде.
- Научно-образовательный компонент: призван восстановить и развить научно-исследовательский и образовательный потенциал региона.
- Логистический компонент: обеспечивает связность отдельных модулей АСК и отдельных поселений и обмен товарами и информацией между ними.

Типология АСК вариативна и определяется функциональным профилем города или поселения. Масштабируемость заложена в основу проекта: от компактного моно-модуля жизнеобеспечения вахтового типа до разветвленного мультехаба в структуре города (Рисунок 49, Рисунок 50, Рисунок 51). Например, в транспортных узлах (порт Дудинка, Тикси) должны доминировать складские и логистические блоки АСК, тогда как в промышленных центрах (Норильск, Новый Уренгой, Салехард) усиливаются энергетический и исследовательский сектора (Рисунок 52). Таким образом, АСК должен отвечать следующим критериям:

• **Типологическая серийность:** разработка линейки унифицированных решений вместо уникальных проектов.

• **Климатическая адаптивность:** объемно-пространственные решения, минимизирующие теплопотери и снеготаносы за счет аэродинамической формы объекта.

• **Конструктивная гибкость:** возможность оперативного изменения конфигурации, расширения или консервации блоков без нарушения целостности общей системы.

• **Сетевая структура:** способность функционировать в единой цифровой и логистической сети, связывающей разрозненные поселения Арктики в единый каркас расселения.

Вариативность АСК

Как было отмечено в параграфе 1.2.1, условия Арктики характеризуются крайней неоднородностью даже в пределах одного региона. Градостроительная ситуация, природно-климатические факторы и запросы населения существенно варьируются, что позволяет сделать вывод: АСК как система не может быть универсальной, а должна трансформироваться в зависимости от конкретной локации. В рамках исследования выделяются три основных типа пространственных решений:

1. Удаленные населенные пункты (с. Ныда, с. Газ-Сале и др.). Для таких поселений целесообразно применять объекты, простые с точки зрения доставки и монтажа. Основная задача – обеспечить функциональность без использования сложных архитектурных решений. Детальная типология таких объектов в данном исследовании не рассматривается.

В основе проектных решений лежит модель «Тимптон», разработанная институтом Ленгипрогор в 2008 году. Эта модель создавалась для поселков строителей каскада ГЭС на реке Тимптон в Якутии в условиях ограниченной транспортной доступности и дефицита материалов. Ключевая особенность модели – подключение объектов к единому инженерному коридору (Рисунок 53). Этот коридор выполняет две функции: служит транзитной зоной и коробом для прокладки магистральных сетей. Такая схема позволяет гибко изменять объем и состав многофункционального объекта без остановки работы всего комплекса.

Основой конструкции выступает модульная сетка размером 6×6×3 м. В процессе комбинации она позволяет создавать объемы площадью от 72 до 972 кв.м. Несущие конструкции комплекса выполняются из клееного бруса сечением 320×320 мм (Рисунок 54). Это обеспечивает достаточную несущую способность конструктивной системы, нужный предел огнестойкости и все еще позволяет перевозить элементы конструкции в стандартных транспортных контейнерах. Ограждающие конструкция выполняются из многослойных панелей, соответствующих требованиям СП 131.13330.2020 для арктической зоны. Интерьеры также отделываются древесиной, для повышения тактильности и комфортности среды.

Также согласно СП 25. 13330.2020, применяется свайный фундамент с высоким продуваемым подпольем (не менее 1,5 м). Концепцией предполагается возможность установки термосифонов, для охлаждения многолетней мерзлоты, при необходимости.

2. Малые города периферии и субпериферии с потенциалом развития (пгт Диксон, с. Хатанга, г. Игарка). Для данной категории поселений предлагается использование унифицированных модульных объектов, с выразительными архитектурными решениями. Это в первую очередь связано с растущей геополитической и экономической значимостью Арктики, а также сопутствующей необходимостью формирования современного образа АЗРФ. Архитектура в таком контексте решает следующие функции: создает узнаваемый образ поселения и региона в целом, повышает привлекательность для привлечения и закрепления специалистов. Проектные решения этой типологии объектов опираются на опыт современных арктических и антарктических научных станций. В дальнейших параграфах именно эта типология объектов будет рассматриваться наиболее подробно.

3. Крупные промышленные и логистические центры (г. Дудинка, г. Норильск, г. Салехард, г. Новый Уренгой). Данный тип населенных пунктов выполняет роль опорных пунктов освоения Арктики. В связи с этим для этой группы целесообразно применять наиболее архитектурно выразительные типологии застройки, в большей степени характерных для средней полосы России, но адаптированных к суровым климатическим условиям Арктики. Крупные арктические города обладают развитой, по сравнению с остальным регионом, инфраструктурой, относительно стабильным населением, и заинтересованностью со стороны добывающих корпораций по развитию этих поселений, в целях удержания кадров. Следовательно, социально и общественно-значимые объекты должны обладать выразительной архитектурой, в целях формирования современного образа развития и освоения АЗРФ, повышения престижа работы в регионе и создания комфортной городской среды.

Пространственная программа АСК

При проектировании комплекса АСК ключевым фактором, определяющим форму здания, стал анализ аэродинамических нагрузок и возможности снеготранспорта. В основе комплекса лежит обтекаемая пространственная структура. Такая геометрия минимизирует турбулентность и предотвращает скопление снега у входных групп и вдоль фасадов. Комплекс приподнят над уровнем земли на высоту около 2 метров. Это обеспечивает свободный проход ветра и снега под зданием, исключая образование сугробов (эффект продуваемого подполья) (Рисунок 56).

Базовым элементом конструкции является пространственная секция шириной 23,4 метров и длиной 6 метров. Комбинируя такие секции в длину, формируется полноценный функциональный модуль. Полученные модули могут

использоваться как автономно, так и объединяться в крупные multifunctional объекты.

Пространственная организация АСК реализуется не как монолитное здание, а как гибкая полицентрическая система – своего рода «инфраструктурный конструктор». Структура комплекса строится на четкой иерархии и сочетании четырех групп элементов, что позволяет адаптировать проект под задачи конкретной местности:

Функциональные модули. Данный тип представляет собой основу АСК, именно в нем располагаются его функциональные компоненты. Объединение модулей может осуществляться в рамках единого объекта, или через коммуникационный модуль.

Коммуникационный модуль. Связующее звено, которое объединяет функциональные модули (Рисунок 57). Помимо транзитной функции, этот модуль играет роль социального буфера и общественного пространства для резидентов.

Вспомогательные модули. Данный тип модулей выполняет функцию повышения комфорта горожан и работников комплекса АСК. Они дополняют основную программу комплекса, и могут быть представлены различными типами объектов. В рамках научной работы предполагается два типа функций, которые могут располагаться в рамках данного типа:

- **Жилой модуль** (Рисунок 58) организован по гостиничному типу с акцентом на приватность и тишину.
- **Модуль рекреации и социализации** (Рисунок 59) выполняет роль общественного пространства.

Конструктивная схема АСК

Разработанная конструктивная концепция АСК базируется на адаптации принципов индустриального деревянного домостроения к экстремальным нагрузкам I климатического района. Выбор клееных деревянных конструкций (КДК) научно обоснован их высоким коэффициентом конструктивного качества, определяемым как отношение прочности к плотности материала.

Обоснование применения КДК. Применение КДК в условиях АЗРФ обусловлено рядом экономических и технических преимуществ, характерных для данного типа материалов. Во-первых, конструкции из КДК заметно легче чем аналогичные железобетонные или металлические конструкции. Из этого следуют преимущества с точки зрения удобства доставки и транспортировки в труднодоступные регионы. Помимо этого, меньший вес здания также означает меньшую нагрузку на многолетнюю мерзлоту грунтов основания. Низкая теплопроводность материала ($\lambda=0,09-0,18$ Вт/(м·°C)) способствует энергоэффективности ограждающих конструкций. Помимо этого, повышенная

огнестойкость означает более длительное сохранение несущей способности конструкций в случае пожара.

Модульная конструктивная система. Конструктивная система АСК формируется на основе унифицированного пространственного модуля размером $23,4 \times 6 \times 12,5$ м для двухэтажных объектов (Рисунок 60, Рисунок 61, Рисунок 62) и $23,4 \times 6 \times 15,9$ м для трехэтажных объектов (Рисунок 63, Рисунок 64, Рисунок 65), где несущие элементы (балки, колонны) выполняются из клееного бруса сечением от 320×320 мм. Ширина пролета при этом составляет 6 метров. Шаг конструктивной сетки обусловлен исходя из оптимальных размеров контейнеров для транспортировки конструкций.

. Массивность сечения обеспечивает требуемый предел огнестойкости за счет предсказуемой скорости обугливания древесины ($0,7-0,8$ мм/мин для хвойных пород). Модульная система позволяет формировать объекты площадью от 216 м^2 до 2592 м^2 с фиксированной шириной здания до 24 м при возможности создания двухсветных пространств для социальных нужд (Рисунок 68).

Для перекрытия большепролетных зон агропромышленных и общественных модулей (12 м) применяется система усиления клееных деревянных балок, ферм и арок, разработанная ЦНИИСК (С.Б. Турковский) [23]. Технология предусматривает наклонное вклеивание арматурных стержней под углом к волокнам древесины, что значительно повышает сдвиговую прочность и жесткость узловых соединений (Рисунок 66). Эффективность данного конструктивного решения подтверждена опытом эксплуатации трехшарнирных арок пролетом 25 м в спорткомплексе пансионата «Буран» (Московская область) (Рисунок 67), где КДК успешно функционируют в условиях повышенной влажности при наличии организованной вытяжной вентиляции. Система ЦНИИСК оптимальна для агропромышленных блоков АСК, где сочетаются требования больших свободных пространств и повышенной влажности от гидропонных установок.

Обеспечение пространственной жесткости. Пространственную жесткость надземной части обеспечивает жесткое ядро и система вертикальных стен из CLT панелей. Эти элементы размещены в зонах коммуникационных узлов (лестнично-лифтовые блоки, технические шахты) и воспринимают горизонтальные нагрузки от сильных ветров. Горизонтальную жесткость создают перекрытия из CLT-плит толщиной 160–200 мм и балочные конструкции из клееного бруса. Они объединяют каркас в единую систему. Такое решение позволяет равномерно распределять ветровые нагрузки на свайное основание с высоким ростверком. Клееная древесина также гасит вибрационные нагрузки.

Узловые соединения и технология сборки. Технология строительства основана на принципе максимальной индустриализации. Большая часть работ переносится со строительной площадки на заводы в опорных городах за пределами Арктической зоны.

Сборка каркаса выполняется с помощью скрытых анкерных систем – вклеенные металлические стержни и соединения типа «ласточкин хвост». Крепеж располагается внутри массива древесины. Это исключает «мостики холода», предотвращает промерзание узлов и защищает металл от коррозии.

Изготовление и контрольная сборка крупных модулей происходят на производственных базах в опорном городе. Оптимизация производственно-логистической схемы позволяет выполнять до 85% работ на заводе, по примеру модульных объектов, реализуемых в Китае [190].

Доставка на площадку в Арктике осуществляется в контейнерах (Рисунок 69). Монтаж ведется «сухим» способом на болтовых и нагельных соединениях. Это критически важно для минимизации сроков работ в короткое полярное лето. Унификация элементов позволяет собрать один функциональный блок за 5–7 дней.

Фундаменты и основания. Проектирование оснований комплекса исходит из прогнозируемой деградации вечной мерзлоты. Для обеспечения устойчивости сооружений принята схема свайного фундамента с высоким проветриваемым ростверком согласно СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» [7]. Используются металлические трубчатые сваи с антикоррозийным покрытием, объединенные пространственной рамой из стального проката.

Организация вентилируемого подполья высотой не менее 1,5 м обусловлена аэродинамическими требованиями по предотвращению снегозаносов и необходимостью сохранения температурного режима грунтов. В качестве превентивной меры против образования чаши оттаивания под пятном застройки пассивное проветривание может дополняться термосифонами, работающими автономно без подвода энергии. Узел опирания модулей на ростверк выполняется через регулируемые винтовые опоры, что позволяет нивелировать возможные подвижки основания в процессе многолетней эксплуатации без нарушения целостности несущего каркаса.

Ограждающие конструкции. Ограждающие конструкции АСК разработаны по принципу «пассивного здания». Основой служит многослойная система общей толщиной до 600 мм (всего 9 слоев). Несущий каркас выполнен из массивных панелей клееной древесины (ель или сосна), которые обеспечивают необходимую жесткость.

Тепловой контур включает слой эффективного утеплителя толщиной около 400 мм. Это позволяет достичь требуемых показателей теплозащиты для климата региона. Особое внимание уделено стыкам конструкций: они спроектированы так, чтобы исключить появление «мостиков холода» – участков, через которые теряется тепло. Это критически важно для энергоэффективности здания.

Внешняя отделка представляет собой герметичную оболочку, защищенную листами нержавеющей стали или планкеном. Окна вписаны в аэродинамическую форму фасада. Используются энергоэффективные стеклопакеты с аргоновым заполнением и усиленными терморазрывами, устойчивые к экстремальным перепадам температур. Все решения соответствуют нормам СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [5].

Архитектурно-художественные решения.

Облик АСК формируется на основе синтеза утилитарных требований климатической защиты и задач визуальной гуманизации среды. Объемно-пространственное решение комплекса рассматривается как функциональная система, обеспечивающая минимизацию негативного воздействия климатических факторов и компенсацию сенсорной недостаточности.

Фасадные решения и световой дизайн. Материалы облицовки подбираются с учетом требований ремонтпригодности и логистической унификации. В зависимости от климатического подрайона и функционального назначения блока применяются различные типы облицовочных систем. Для зон с экстремальной ветровой нагрузкой и абразивным воздействием используются композитные и металлические панели, обеспечивающие высокую механическую прочность и долговечность. В жилых и общественных блоках может применяться термомодифицированная древесина (планкен), использование которой способствует визуальной интеграции объекта в городской ландшафт и повышению тактильных качеств архитектурной среды.

Базовое освещение комплекса проектируется в теплом спектре с цветовой температурой 2700-3000 К. Данное решение направлено на создание визуального контраста с естественным освещением арктической зоны, характеризующимся преобладанием коротковолнового синего спектра, что способствует психологической стабилизации резидентов. Интеграция в фасадную оболочку светодиодных сеток позволяет формировать динамическую световую среду: медиафасады используются для трансляции визуальной информации и реализации сценариев адаптивного освещения, имитирующих природные циркадные ритмы (Рисунок 70).

Для обеспечения пространственной ориентации в условиях критически низкой видимости (метели, туманы) предложена система визуальной

идентификации на основе крупноформатной навигационной маркировки. На плоскостях фасадов размещаются контрастные идентификаторы, выполненные в технике суперграфики или в виде световых коробов, что обеспечивает читаемость навигационной информации для пешеходов и операторов техники на значительном удалении от объекта.

Энергетическая оптимизация фасадной системы достигается интеграцией фотоэлектрических модулей в плоскости ограждающих конструкций. Размещение солнечных панелей на фасадах, аналогично решению антарктической станции Princess Elisabeth (Рисунок 71, Рисунок 72) обусловлено спецификой инсоляционного режима полярных широт, где солнце в период полярного дня находится под малыми углами к горизонту. Вертикальное или наклонное расположение панелей на южных и юго-западных фасадах обеспечивает оптимальный угол падения солнечных лучей и минимизирует снегонакопление на поверхности модулей. Фотоэлектрические элементы интегрируются в навесную фасадную систему с возможностью быстрой замены отдельных секций

Гибкость и адаптивность АСК. Ключевая характеристика комплекса – способность адаптироваться к изменяющимся демографическим и функциональным потребностям без потери эксплуатационных качеств. Проект реализует концепцию «открытой формы», где здание рассматривается не как завершенный объект, а как развивающаяся система. На основе принципов модульной координации разработаны два базовых сценария трансформации.

Сценарий 1: Расширение через коммуникационный модуль (Рисунок 73). Применяется при необходимости добавления новых функциональных блоков к существующему зданию. К одному функциональному модулю через коммуникационный модуль подключается дополнительный функциональный блок.

Магистральные инженерные сети в торцевых зонах галерей оборудуются запорной арматурой и быстроразъемными соединениями, законсервированными до начала расширения. Это обеспечивает подключение нового модуля без остановки систем жизнеобеспечения действующего комплекса. Фундаменты нового блока возводятся на расстоянии, исключающем дестабилизацию грунтов под существующим зданием. Монтаж выполняется укрупненными элементами заводского изготовления в ограниченные погодные окна. Последовательность ввода: замыкание теплового контура → подключение к инженерному коллектору → внутренняя отделка.

Сценарий 2: Создание отдельно стоящего здания (Рисунок 74). Применяется при необходимости значительного увеличения площадей или добавления нового функционального назначения. На площадке возводится новое

отдельно стоящее здание. Между существующим и новым зданием может быть установлен коммуникационный коридор (теплый переход), объединяющий их в единый комплекс.

Для реализации этого сценария в каждом функциональном модуле заранее предусмотрены конструктивные узлы для потенциальной установки коридора. Эти узлы законсервированы и могут быть активированы при необходимости. При этом установка коридора не является обязательной – здания могут функционировать полностью автономно.

Монтаж коридора осуществляется методом внешнего капсулирования: сначала монтируется и герметизируется новый переход с автономным прогревом, после чего демонтируется участок ограждающей конструкции в зоне примыкания. Это исключает прерывание эксплуатации основного здания и позволяет проводить работы без нарушения теплового контура (Рисунок 75).

Стратегия пространственного развертывания и этапы реализации (Рисунок 76)

Реализация концепции АСК предполагает переход от точечного строительства к формированию единой инфраструктурно-сервисной экосистемы Арктики. Стратегия базируется на иерархической модели, связывающей производственные тыловые базы, опорные арктические города и периферийные поселения. Процесс развертывания разделен на три взаимосвязанных этапа.

Этап I: Институциональный каркас

На начальном этапе формируется организационно-технологическая основа системы. Создается Единый оператор, ответственный за полный жизненный цикл объектов и внедряющий цифровую платформу мониторинга на базе BIM и ГИС-технологий. В промышленных центрах тыловых зон (Тюмень для ЯНАО, Красноярск для Таймыра) развертывается производство КДК-модулей с укрупненной заводской сборкой, минимизирующей объем работ в заполярных условиях. Разрабатывается федеральная «Библиотека типовых решений АСК» и нормативная база для эксплуатации беспилотных логистических систем и автономных энергоустановок.

Этап II: Формирование опорного каркаса

Второй этап предусматривает интеграцию АСК в структуру крупных городов (Салехард, Новый Уренгой, Норильск, Дудинка), выполняющих функции логистических и сервисных хабов. Комплексы размещаются в транспортно-пересадочных узлах и общественно-деловых зонах, формируя современные сервисные кластеры. Опорные города становятся площадками пилотного внедрения агропромышленных вертикальных ферм и гибридных энергоцентров (ВИЭ + накопители). Создается инфраструктура беспилотной авиации

(дропопорты) для связи с периферийными поселениями, а также базируются вахтовые сервисные команды для обслуживания удаленных АСК.

Этап III: Расширение в городах периферии и субпериферии

Завершающий этап предполагает масштабирование сети на малые и труднодоступные населенные пункты. В поселки поставляются автономные мини-комплексы, адаптированные к локальным условиям (ветровой режим, тип грунтов), доставка которых осуществляется в период навигации или по зимникам. Периферийные АСК функционируют в режиме энергетической автономии при сохранении интеграции в единую информационную сеть с Центром управления.

Следует отметить возможность реализации третьего этапа на более ранних стадиях при наличии обоснованной программы возрождения населенного пункта. Примером служит интеграция АСК в структуру поселка Диксон, рассматриваемая в третьей главе исследования. Результатом поэтапного внедрения становится выравнивание качества жизни, снижение зависимости от сезонного завоза, обеспечение продовольственной безопасности и доступа к квалифицированным услугам, что способствует закреплению населения на стратегически важных территориях.

2.2 Агропромышленный компонент АСК

Политика продовольственной безопасности в Арктике является одной из центральных в вопросе обеспечения устойчивого и планомерного развития региона. Арктические города обладают значительным потенциалом для развития на своей территории современных агропромышленных комплексов [171]. Такие комплексы способны в значительной степени снизить зависимость региона от поставок продуктов питания, сбалансировав тем самым диету северного жителя. Причины и актуальность интеграции агропромышленного компонента или предприятий в структуру арктических городов, а также существующие архитектурные примеры реализации городского сельского хозяйства, подробно рассматривались выше в главе I в подпараграфе 1.2.2.

В качестве технического решения данной задачи была выбрана технология вертикального фарминга. Вертикальная ферма представляет собой высокоавтоматизированный агропромышленный комплекс для выращивания культурных растений методами гидропоники или аэропоники в закрытых помещениях внутри специально спроектированного или адаптированного для этого здания. Главными отличиями вертикальных агропроизводств от традиционных тепличных хозяйств являются многоярусное размещение насаждений и полностью контролируемый в закрытом помещении климат.

Современное применение многоуровневых стеллажей в сочетании с фитоосвещением на основе светодиодов, автоматизация ирригации и подачи

удобрений позволяют в 5 и более раз повысить урожайность с единицы площади на вертикальных фермах по сравнению с традиционными методами земледелия. По состоянию на 2020 год в мире существовал эквивалент около 30 га действующих вертикальных сельхозугодий.

Типология объектов агропромышленного компонента АСК

В рамках научно-исследовательской работы выдвинута гипотеза о том, что агропромышленный комплекс в структуре АСК включает следующие типы объектов, которые в зависимости от городского контекста могут существовать как отдельные объекты, или складываться в общую единую многофункциональную структуру:

1. Отдельно стоящие крупные агропромышленные фермы (Таблица 1).

Подобные городские сооружения предназначены для вышеупомянутого обеспечения продовольственной безопасности. Объект представляет собой крупный агропромышленный комплекс с применением современных технологий гидропоники, аэропоники и т.д. Данная типология ориентирована на масштабное производство продуктов питания и предполагает расположение в крупных опорных пунктах Заполярья. Важно отметить, что данный тип объекта не предполагается к комбинированию с другими модулями АСК, и располагается отдельно.

2. Агропромышленный блок в структуре АСК (Таблица 1).

Концепция АСК позволяет комбинировать модули и компоненты в зависимости от размера города и его особенностей. Так, в случае малого или изолированного поселения, где численность населения обуславливает нерациональность создание крупных агропромышленных комплексов, а общая структура поселения не требует создания разветвленной сети отдельно стоящих фермерских модулей, агропромышленный компонент становится частью многофункционального комплекса АСК, который объединяет в себе медицинский, агропромышленный и научно-исследовательский модули.

3. Отдельно стоящий городской общественный агропромышленный модуль (Таблица 1).

Городской общественный агропромышленный модуль в первую очередь предназначен для широкого использования горожанами арктического города и выполняет функцию обеспечения психологического комфорта, а также способа выращивания агропромышленных культур самими жителями. Данный тип объектов предполагается располагать в районах жилой застройки.

Таблица 1. Типология агропромышленного компонента АСК

Тип объекта	Отдельно стоящие крупные агропромышленные фермы	Агропромышленный блок в структуре АСК	Отдельно стоящий городской общественный агропромышленный модуль
Рассматривается ли подробно в рамках работы	Типология освещается в рамках исследования, однако ее разработка выходит за пределы границ исследования	Типология рассматривается в рамках единой структуры АСК	Типология освещается в рамках исследования, однако ее разработка выходит за пределы границ исследования
Основная функция	Выращивание продуктов питания в целях обеспечения продовольственной безопасности города и прилегающих регионов.	Выращивание продуктов питания в целях обеспечения продовольственной безопасности города.	Создание рекреационных точек притяжения в структуре жилой застройки города на базе общественных садов.
Возможный дополнительный функционал	Научно-исследовательские лаборатории Общественные сады-оранжереи Коммерческие площади (кафе, коворкинги, детские комнаты, лектории)	Общественные сады-оранжереи Коммерческие площади (кафе, коворкинги, детские комнаты, лектории)	Коммерческие площади (кафе, коворкинги, детские комнаты, лектории). В случае данной типологии общественная функция становится основной
Выращиваемые культуры	Зелень Различные виды салата (Романо, Айсберг, Кейл, Фризе и др.), Микрозелень, Базилик, Шпинат, Петрушка, Укроп, Кинза, Мелисса, Лук Овощи Томаты черри, Огурцы, Сладкий перец, Баклажаны, Капуста, Редис	Зелень Различные виды салата (Романо, Айсберг, Кейл, Фризе и др.), Микрозелень, Базилик, Шпинат, Петрушка, Укроп, Кинза, Мелисса, Лук Овощи Томаты черри, Огурцы, Сладкий перец, Баклажаны, Капуста, Редис	Зелень Различные виды салата (Романо, Айсберг, Кейл, Фризе и др.) Базилик, Шпинат, Петрушка, Укроп, Кинза, Мелисса Цветы Каланхоэ, Фиалки, Орхидеи, Хризантемы, Розы, Бархатцы, Гвоздика, Маттиола, Львиный зев, Виола

Тип объекта	Отдельно стоящие крупные агропромышленные фермы	Агропромышленный блок в структуре АСК	Отдельно стоящий городской общественный агропромышленный модуль
Общая площадь объекта	До 15 тыс. м ²	До 3 тыс. м ²	До 500 м ²
Города размещения	Крупные города с хорошим транспортно-логистическим расположением (Дудинка, Новый Уренгой, Салехард и т.д.)	Малые города и периферии субпериферии (Сабетта, Игарка, Диксон и т.д.)	Арктические столицы и крупные города (Норильск, Салехард, Новый Уренгой, Дудинка и т.д.).
Размещение в рамках города	На территории городской периферии, вблизи энергетического компонента АСК или ТЭЦ	В центре поселения, в составе АСК	Во дворах и площадях на территории плотной жилой застройки.

Подробнее вопросы технического характера, архитектурного облика, планировочных решений будут рассмотрены ниже по тексту.

Связь агропромышленного компонента с другими компонентами АСК

С энергетическим комплексом. Агропромышленное производство зависит от стабильности и качества энергоснабжения, так как его высокая энергозатратность препятствует интеграции в существующую энергетическую систему Арктики. Процесс проектирования и размещения агропромышленного комплекса тесно связан с энергетическим сектором, поскольку их интеграция обеспечивает надежное и эффективное функционирование агрокомплекса. Количество потребляемой энергии определяется объемом производимой продукции и не предполагает строгой пространственной близости энергетического и агропромышленного компонентов. Решение о размещении принимается с учетом градостроительного контекста и максимизации эффективности при сохранении технической безопасности. Например, в канадском городе Инувик, климатически схожим с российскими арктическими городами, крупная ферма и ТЭЦ расположены на расстоянии 600 м, что обеспечивает удобную взаимосвязь. В городе также используются ВИЭ, такие как солнечные панели, интегрированные в общую энергетическую систему, что

снижает потребление традиционных энергоносителей. Кроме того, агропромышленные объекты оснащены дизельными генераторами и солнечными панелями, обеспечивающими работу в аварийных ситуациях и сокращающими энергопотребление в штатном режиме.

С научно-образовательным компонентом. Создание агропромышленного компонента на территории Арктики невозможно без решения кадрового вопроса. Технологически комплексные системы вертикального фарминга требуют создания на территории региона системы обучения и подготовки работников. Это в свою очередь обуславливает необходимость кооперации агропромышленного и научно-образовательного компонентов. Помимо этого, вопрос обеспечения жителей Арктики продуктами питания, и влияние этого процесса на здоровье жителей представляет значительный научный интерес, что создает дополнительный вектор для кооперации этих функциональных компонентов.

С логистическим компонентом. Обеспечение продовольственной безопасности тесно связано с развитием транспортно-логистической системы сетевого региона Арктики. Взаимный обмен продуктами питания между крупными агропромышленными фермами и малыми городами, находящимися в их зоне влияния, значительно расширяет рынок сбыта агрокомплекса и формирует единую продовольственную сеть региона вместо традиционного "северного завоза". Эффективное развитие арктических территорий требует рационального подхода к организации продуктообмена, предполагающего внедрение беспилотных систем в сочетании с существующими методами транспортировки (авиа-, морские, речные и автомобильные перевозки). Беспилотные технологии доставки минимизируют время транспортировки, снижают затраты и повышают доступность свежих продуктов в удаленных арктических районах. Расчеты, которые подробнее будут рассмотрены в параграфе 2.3, показывают, что для обеспечения потребностей Таймыра достаточно 3-5 беспилотных аппаратов типа "С-76" грузоподъемностью 300 кг с дальностью полета до 1000 км.

Архитектурные и планировочные решения типов агропромышленного компонента. Города расположения компонента.

Тип I. Отдельно стоящие крупные агропромышленные фермы рассматриваются в исследовательской работе только как элемент типологической структуры, разработка их архитектурно-конструктивных решений выходит за рамки работы.

Города размещения. Для определения наиболее подходящих городов с целью размещения вертикальных агроферм в структуре расселения Арктики предлагается использовать следующие критерии:

1. Анализ климатических условий (средняя температура, ветровой режим, грунты основания);
2. Оценка транспортной инфраструктуры (положение города относительно СМП и логистических арктических магистралей снабжения);
3. Анализ энергетической инфраструктуры (состояние инженерной инфраструктуры, наличие резервных мощностей);
4. Оценка социально-демографического и экономического потенциала (население, уровень доходов, структура экономики города).

Под выбранные критерии подходят следующие населенные пункты:

- Дудинка в районе п-ов Таймыр;
- Новый Уренгой и Салехард в районе Ямала.

Для обеспечения продовольственной безопасности и автономности Таймырского региона был проведен анализ потребности в овощах и зелени, а также оценка необходимых производственных мощностей. Расчеты основывались на следующих данных:

- *Норма потребления овощей и зелени на человека в год:* 120 кг
- *Население Таймыра:* 215 000 человек
- *Целевой показатель автономного производства:* 10% от общего потребления

Исходя из этих данных, общее годовое потребление овощей и зелени в регионе составляет 25 800 тонн ($215\,000 \times 120$ кг). Для достижения 10% автономности необходимо производить 2 580 тонн продукции ежегодно. Учитывая среднюю производительность вертикальных ферм, которая составляет около 100 кг продукции с 1 кв.м. в год, была рассчитана необходимая площадь производства: $2\,580\,000 \text{ кг} \div 100 \text{ кг/кв.м.} = 25\,800 \text{ кв.м.}$

Таким образом, для обеспечения 10% потребности Таймыра в овощах и зелени требуется вертикальная ферма площадью ориентировочно 30 000 кв.м. Это позволит значительно повысить продовольственную безопасность региона и снизить зависимость от внешних поставок. Аналогичный расчет был проведен и для Ямало-Ненецкого автономного округа, что позволяет комплексно оценить потребности в развитии вертикального фермерства в северных регионах России. Исходя из этого и распределения зон влияния комплексов были получены следующие результаты:

- Агропромышленный комплекс в Дудинке – 30 тыс. м²
- Агропромышленный комплекс в Салехарде – 25 тыс. м²
- Агропромышленный комплекс в Новом Уренгое – 25 тыс. м²

Зоны влияния выделялись по принципу логистического потенциала, и близости к основным центрам приложения труда и освоения Арктического региона. Доставка выращенных продуктов предполагает использование решений, разработанных в рамках логистического компонента. Это включает развитие беспилотных систем различной дальности, возрождение малой авиации, а также локальные морские и речные перевозки. Например, в случае Таймыра и его разреженной системы расселения, предполагается комбинирование различных систем доставки. В частности, планируется использовать транспортировку по Енисею и воздушные перевозки, включая беспилотные системы. В зависимости от времени года предполагается опираться на разные методы транспортировки грузов: зимой приоритет отдается воздушным путям сообщения, по причине необходимости значительного ледокольного флота для перевозок.

Тип II. Агропромышленный блок в структуре АСК (Рисунок 77)

Отдельные агропромышленные блоки призваны стать локальными точками для выращивания продуктов питания в структуре среднего/малого города или поселения, в качестве психологической поддержки для горожан, и сглаживания экономических эффектов в случае чрезвычайных ситуаций.

Единый комплекс АСК в структуре малого города или поселения предполагается располагать в центральной или максимально приближенной к ней части населенного пункта для обеспечения удобного доступа жителей.

При разработке планировочных решений для вертикальной фермы был проведен тщательный анализ проектов различного масштаба, с особым акцентом на реализации в малых городах. Ключевым ориентиром послужил проект Vertical Harvest в Джексоне, штат Вайоминг, общая площадь которого составляет 1650 кв.м. Этот пример был выбран как наиболее релевантный для адаптации к условиям небольших северных городов России. Опираясь на опыт Vertical Harvest и учитывая специфику местных условий, была разработана планировочная схема для компонента АСК [160]. В качестве нормативных документов использовались СП 56.13330.2021 «Производственные здания» [9].

Данный тип объекта предусматривает возможность трансформации в пределах площади от 1 152 м² до 1 728 м², в зависимости от потребности в продуктах питания конкретного населенного пункта. Расширение решается за счет увеличения площади модуля (добавление дополнительных секций) или за счет установки дополнительных объектов на территории площадки АСК. Дополнительный объем размещает дополнительные площади для выращивания культур. Перед расширением проверяются несущая способность каркаса и оснований, обеспечивается продление вертикальных коммуникаций, эвакуационных путей и инженерных сетей; ограждающие конструкции и

кровельный пирог восстанавливаются с учетом теплотехники и защиты от осадков и ветровых нагрузок. Далее рассматривается вариант максимальной площади объекта (Рисунок 77).

В максимальном варианте площадь модуля составляет 1728 кв.м, что соответствует 8 двухэтажным секциям или 5 трехэтажным, то есть объект составляет 48 или 30 метров в длину. Планировка основана на строгом разделении потоков – «чистых» и «грязных», «сырья» и «готовой продукции», персонала и грузов, исключая их пересечения. Вертикальные шахты для воздуха, воды, электрики и CO₂ объединены в два «мокрых» ядра 3,6×7,2 м по диагоналям корпуса, что сокращает длину коммуникаций и упрощает их обслуживание.

Первый этаж (рассматривается трехэтажный вариант объекта) площадью 753 кв. м. объединяет зоны инженерного присоединения, «холодной» логистики и других рабочих помещений. Здесь размещаются участок приема и отгрузки с теплым доком и буфером тары, линия фасовки с зоной этикетирования и холодильной камерой, лаборатория контроля качества, санитарно-бытовой блок персонала и комплекс инженерных узлов: тепловой пункт, трансформаторная, насосная, водоподготовка, резервуары чистой и технической воды, система рециркуляции питательных растворов и узел дозирования удобрений с вытяжкой и защитными поддонами. Предусмотрена зона утилизации растительных остатков и упаковки с возможностью компостирования или прессования. Логистика организована линейно, с последовательным прохождением стадий от приема семян и рассады до фасовки и экспедиции, без обратных пересечений потоков.

Второй этаж площадью 954 кв.м. предназначен для выращивания быстрооборотных культур и рассады. Основное помещение для листовой зелени и трав площадью около 300–330 кв.м оснащается многоярусными стеллажами с высотой помещений 3 м, системой фитосветильников и поддержанием параметров температуры, влажности, концентрации CO₂ и освещенности в оптимальном режиме (Рисунок 78). Рассадный и клональный блок площадью 120–150 кв.м. имеет отдельные зоны дезинфекции и шкафы для проращивания. Дополнительные помещения включают моечную тары, хранение чистых материалов, пост технического персонала и приборную для размещения систем управления. Движение воздуха и перепады давления организованы так, чтобы предотвращать распространение спор и пыли.

Третий этаж площадью 923 кв.м. рассчитан на выращивание длительных культур – ягод и овощей (например, клубники или томатов-черри) на многоярусных каркасах или высоких шпалерах. Камеры обеспечиваются контролируемыми условиями температуры, влажности, освещенности и CO₂ с возвратом и фильтрацией дренажа после полива. Здесь же располагаются зоны

сбора и первичной подготовки продукции, хранения чистых материалов и санитарный пост. Все помещения разделены герметичными перегородками, имеют химически стойкие полы с уклонами к трапам и замкнутые контуры мойки, что повышает санитарную безопасность и снижает эксплуатационные риски.

Сценарии использования. Этот тип агропромышленных блоков интегрируется в небольшие города или поселения и обеспечивает население продуктами питания, а также создает общественные пространства для поддержания комфортного психологического состояния жителей. В зависимости от контекста, существует несколько основных сценариев использования:

1. **Многофункциональный объект:** комбинирует функцию общественного пространства и выращивания продуктов питания.
2. **Монофункциональный объект:** предназначен для промышленного выращивания продуктов питания.

Города размещения (Рисунок 79). Рассматриваемый тип объектов предлагается размещать в средних, малых городах, поселках и городах изолятах. Примером таких городов на Таймыре и Ямале выступают: Хатанга, Диксон, Снежногорск, Сабетта, Тазовский и т.д. Рассматриваемые города по численности населения в основном характеризуются показателями от 100 - 20000 человек (с учетом вахтовых рабочих).

Для определения площади агропромышленного блока в структуре АСК в конкретном городе используется следующая формула (формула подготовлена по балансовой модели определения требуемой площади производственного объекта (вертикальной фермы), с использованием нормативов потребления и коэффициентов использования мощности; формула – авторская компоновка):

$$S = \frac{N \cdot C}{Y \cdot \eta \cdot Z}$$

где S – требуемая общая площадь здания фермы в квадратных метрах; N – численность обеспечиваемого населения в людях; C – нормативная годовая потребность на человека в килограммах [1]; Y – плановая годовая урожайность с одного квадратного метра; η – доля полезной площади в площади этажа (0–1); z – среднее количество эксплуатируемых посадочных ярусов.

Тип III. Отдельно стоящий городской общественный агропромышленный модуль

Отдельно стоящий городской общественный агропромышленный модуль рассматривается в исследовательской работе только как элемент типологической структуры, разработка его архитектурно-конструктивных решений выходит за рамки работы. Данный тип объектов и его архитектурно-планировочные решения,

подробно рассматривались в магистерской диссертации автора «Особенности организации городских территорий в Арктике» и не входят в границы данного исследования.

Сценарии использования. Объект предполагает 3 основных сценария использования:

- **Фермерский модуль для горожан.** Утилитарный функционал, направленный на обеспечение жителей города возможностью самостоятельного выращивания продуктов питания. Подобные модули предполагается располагать в дворовых пространствах жилых районов или в плотно заселенных районах индивидуальной жилой застройки. Целевая аудитория - жители близлежащих домов, заинтересованные в ведении личного подсобного хозяйства.
- **Многофункциональный агропромышленный модуль** – предполагает совмещение утилитарного фермерского функционала с функциями локального общественного центра, включающего в себя небольшое кафе, библиотеку или коворкинг. Объект ориентирован на широкий круг пользователей, включая местных жителей, работников близлежащих офисов и посетителей общественных пространств.
- **Коммерчески/общественно ориентированный модуль** – предполагает создание многофункционального паркового или общественного модуля на базе существующих центров городской жизни (парки, площади). Здание может представлять собой круглогодичный парковый модуль с растениями, выращивание которых в естественных условиях Арктики невозможно, или коммерчески ориентированный центр с кафе, магазинами или ресторанами. Целевая аудитория - горожане и гости города, ищущие места для отдыха, развлечений и социального взаимодействия.

Города размещения (Рисунок 79). Описанный тип модулей, как важных общественных точек притяжения, предполагается располагать в относительно крупных Арктических городах и поселениях Ямало-Ненецкого и Таймырского округов, таких как Дудинка, Новый Уренгой, Салехард, Надым, Ноябрьск и т.д. Выбор этих городов обусловлен их значительной численностью населения (от 10 тыс.), развитой инфраструктурой и потенциалом для внедрения агропромышленного модуля. Данный тип объектов располагается в районах плотной жилой застройки, как например кварталы в центре г. Норильск.

Особенности инженерного устройства агропромышленного компонента АСК

Арктический климат Таймыра и Ямала с экстремально низкими температурами требует особого внимания к теплоизоляции и энергоэффективности вертикальных агроферм. Основным ограничением

технологии остается высокое энергопотребление (10-18 кВт·ч/кг для салата против 1-2 кВт·ч/кг при традиционном земледелии). Однако в условиях Заполярья, где альтернативные методы неприменимы, данная технология сохраняет перспективность при условии внедрения энергоэффективных решений: систем рециркуляции воды, автоматизации микроклимата, механической вентиляции с рекуперацией теплоты (до 85-95% тепловой энергии), возобновляемых источников энергии и интеллектуальных систем управления. Успешным примером служит квартал в Жатае (Якутия), где комплексные инженерные решения обеспечили двукратное снижение коммунальных затрат. [120, 71].

Системы культивации и выращивания растений. Базовыми технологиями являются гидропоника (доставка питательного раствора через каналы или субстраты) и аэропоника (распыление раствора на корни в воздушной среде), обеспечивающие значительное сокращение расхода воды и точный контроль питания [80].

Производственные системы. Помещения организованы как залы высотой 3 м с двухметровыми стеллажами шириной 1,2 м. Верхнее пространство (1 м) занимают инженерные коммуникации (Рисунок 80). Каждая полка оборудована светодиодной фитосистемой, системами полива и подкормки на основе гидропоники. Для разных этапов выращивания предусматриваются специализированные камеры: проращивания и рассады с соответствующими параметрами среды [80, 177].

Системы климат-контроля и HVACD. Система HVAC (отопление, вентиляция, кондиционирование, осушение) поддерживает оптимальные условия роста, регулируя температуру, влажность и качество воздуха. Комплекс датчиков мониторит параметры среды в реальном времени, передавая данные центральной системе управления [184, 169]. Поддержание оптимального уровня CO₂ способствует интенсивному фотосинтезу, а системы фильтрации снижают риск заболеваний растений.

Управление уровнем CO₂ и качеством воздуха. Поддержание оптимального уровня CO₂ способствует интенсивному фотосинтезу и повышению урожайности. Системы фильтрации и циркуляции воздуха удаляют загрязняющие вещества и болезнетворные микроорганизмы, снижая риск заболеваний растений и обеспечивая более здоровый рост [101].

Системы освещения. Светодиодное освещение составляет 40-70% общего энергопотребления вертикальных ферм. Оптимальны «умные» LED-системы с адаптируемым цветовым балансом в зависимости от культуры и стадии развития. Пример – московская ферма iFarm с фитосветильниками LED-технологии [133].

Светодиодное освещение является основным инженерным компонентом вертикальных ферм, заменяющим естественный солнечный свет. На долю светодиодного освещения приходится около 70% от общего объема потребляемой вертикальными фермами электроэнергии.

Автоматизация и интеллектуальные системы управления. Беспроводные датчики собирают данные о параметрах среды, состоянии растений и оборудования. Интеллектуальные системы анализируют информацию и корректируют параметры для максимальной эффективности. Датчики состояния инфраструктуры позволяют мониторить оборудование для своевременного предупреждения неисправностей [101].

Водоснабжение и управление питательными веществами. Замкнутые системы циркуляции значительно сокращают водопотребление. Инженерные решения включают подготовку и фильтрацию воды, приготовление питательных растворов с индивидуальными пропорциями элементов для каждой культуры (Рисунок 81). Системы мониторинга pH, электропроводности и растворенного кислорода поддерживают оптимальные параметры [151]. При рециркуляции ежедневное потребление воды составляет около 7 л/м² при испарении 1,5% объема. Для фермы площадью 1000 м² требуется емкость 7000 л (диаметр 2,5 м, высота 2 м). Водоснабжение и дренаж располагаются на нижних уровнях (Рисунок 82).

Расположение технических помещений. Учитывая повышенное тепловыделение, инженерное оборудование (диспетчеризация, вентиляция, котельные) располагается на первых этажах в обособленных помещениях площадью 50-100 м². Осветительные системы размещаются на каждом ярусе, центральное помещение климат-контроля – на средних уровнях, складские зоны – на нижних уровнях или в отдельном крыле с соотношением к фермерской площади 0,5:1.

2.3 Логистический компонент АСК

Арктический регион, как было отмечено в первой главе исследования, представляет собой крайне сложную территорию с точки зрения обеспечения и функционирования транспортно-логистической системы. Практически полное отсутствие дорожной инфраструктуры, ярко выраженная сезонность, недостаток объектов железнодорожного и авиационного транспорта в совокупности существенно ограничивают возможности устойчивого развития региона, повышают финансовые издержки поддержания городской инфраструктуры и т.д. [77]

Традиционный подход к решению проблемы, заключающийся в развитии традиционных транспортно-логистических комплексов, хотя и обеспечивает

высокую надежность системы, но требует значительных капитальных вложений на этапах строительства и эксплуатации [19, 123]. Такие затраты могут быть оправданы лишь в рамках крупномасштабных сырьевых проектов, но не в контексте развития малых городов и поселений региона. Так, стоимость доставки грузов в удаленные территории достигает 150-300 руб/кг при авиационном транспорте и 30-80 руб/кг по зимникам. Медицинская эвакуация вертолетом стоит от 500 тыс. до 2 млн рублей в зависимости от расстояния. Эти факторы создают экономические предпосылки для развития беспилотных систем доставки.

Эффективное функционирование АСК напрямую зависит от эффективности и связности поселений в единую систему, возможности обмена информацией, продуктами питания и товарами первой необходимости. Кроме того, острой проблемой может стать необходимость в редких лекарствах, донорской крови и других ресурсах, недоступных в малых поселениях Арктики. Объем рынка и количество потребителей в данном случае не могут оправдать расширение дорогостоящей железнодорожной или авиационной инфраструктуры, которые, помимо высокой стоимости, не будут обеспечены квалифицированными кадрами для выполнения поставленных задач.

В сложившейся ситуации целесообразно рассмотреть более гибкую, легкую и современную систему, а именно интеграцию беспилотных систем доставки по воздуху в транспортно-логистический комплекс Арктики. Данное направление уже сегодня отмечается как перспективное в стратегии освоения Арктики до 2035 года и обладает следующими преимуществами:

1. **Скорость доставки.** Применение дронов в логистике значительно сократит время доставки, что особенно актуально для труднодоступных поселений.
2. **Экономическая эффективность.** Использование беспилотных систем доставки может оказаться менее затратным по сравнению с традиционной логистикой, в связи с меньшими операционными тратами на техническое обслуживание и меньшим расходом топлива.

Развитие беспилотных систем в контексте доставки уже сегодня показали свою эффективность особенности в сценариях экстремальных условий. Особого внимания заслуживает опыт компании Zipline, создавшей систему доставки медицинских грузов в условиях транспортной изолированности территорий Африки.

Суть проекта Zipline заключается в создании масштабируемой системы покрытия для доставки жизненно важных грузов, в первую очередь медицинского назначения, в малые поселения Африки. Эти населенные пункты не могут позволить себе содержать значительные запасы крови и лекарств из-за ограниченной частоты их использования и риска истечения срока годности.

Zipline предлагает услуги оперативной доставки крови и медикаментов с помощью крупных дронов при возникновении необходимости [153].

Ключевым элементом системы Zipline является беспилотный летательный аппарат Platform 1. Этот дрон способен перевозить грузы весом до 1,8 кг на расстояние до 300 км. Важно отметить, что грузоподъемность описываемого дрона не актуальна для крупных перевозок, а сам дрон предназначен для небольших доставок на малые расстояния. Для запуска Platform 1 используется электрическая катапульта, полет осуществляется в автономном режиме по заданному маршруту с использованием GPS-навигации под контролем наземного оператора. При достижении пункта назначения груз сбрасывается на парашюте с высоты 20-35 м.

Инфраструктура Zipline включает распределительные центры (мини-аэропорты для дронов), оснащенные катапультами для запуска, оборудованием для технического обслуживания, системами посадки и складами для хранения грузов. Масштабирование системы обеспечивается за счет модульной конструкции распределительных центров, стандартизации процессов, совершенствования технологий.

Опыт применения беспилотных систем в Арктике. Требования к воздушному флоту БПЛА.

Опыт компании Zipline в доставке грузов может быть адаптирован для Арктического региона, где малые поселения испытывают схожие проблемы с доступностью ресурсов. Внедрение беспилотных систем доставки обеспечит оперативное снабжение населенных пунктов и повысит качество жизни.

Прямое использование модели Zipline в Арктике невозможно из-за региональных особенностей. Сброс груза на парашюте нецелесообразен из-за высокой ветровой и снеговой нагрузки. Для БПЛА в Арктике рациональнее использовать гибридные или традиционные источники энергии. Исходя из специфики региона, к применяемым БПЛА предъявляются следующие требования:

- Возможность вертикального взлета и посадки, что позволяет избежать необходимости создания инфраструктуры взлетно-посадочных полос.
- Адаптация к экстремальным климатическим условиям АЗРФ, включая низкие температуры, сильные ветры и обледенение.
- Использование традиционных источников энергии (топливо) вместо электрических двигателей, которые менее эффективны в условиях Арктики.

В ЯНАО уже используются дроны SH-350 и БВС ВТ 440 [34], доставляющие грузы массой до 100 кг на расстояния до 150 и 600 км соответственно. Планерное решение представлено моделью С-76 [117] от ОКБ Сухого с грузоподъемностью

до 300 кг и дальностью до 500 км. Успешное внедрения беспилотных систем в Арктике невозможно без сотрудничества с региональными властями и создания на местах мест обучения местного персонала для управления полетами. Это в свою очередь создать новые рабочие места и создаст условия для развития новых региональных компетенций.

Помимо этого, важно отметить, что развитие беспилотной логистики невозможно без развития современных надежных систем связи. Телекоммуникационное обеспечения беспилотной инфраструктуры должно базироваться на системе, обеспечивающей непрерывное управления полетов в условиях отсутствия традиционных наземных сетей сотовой связи [155].

Наиболее перспективными решениями в данном случае являются технологии низкоорбитальной спутниковой связи, как например система «Рассвет», разрабатываемая российским «Бюро 1440». Данный проект обеспечивает высокую пропускную способность и минимальную задержку сигнала, что является критически важными условиями для развития беспилотной логистики. Результаты полевых испытаний системы Starlink в арктических широтах (75-80° с.ш.) подтвердили ее функциональную надежность при температурах до -40°C и возможность сохранения связи в условиях полярной ночи и магнитных возмущений [149].

Предлагаемые типы БПЛА для логистического компонента АСК

С учетом вышеперечисленных требований, в рамках логистического компонента АСК предлагается использование трех основных типов БПЛА:

Тяжелый грузовой БПЛА (Рисунок 83). Данный тип БПЛА предназначен для перевозки объемных грузов в рамках "длинных" связей между АСК в разных городах, например, по маршруту Дудинка - Диксон. Количество таких аппаратов зависит от общего грузопотока в рамках определенной зоны влияния города. В качестве ориентира для выполнения данной роли был выбран БПЛА С-76 разработки ОКБ Сухого, грузоподъемностью 300 кг [35].

Для оценки необходимого количества БПЛА данного типа был проведен расчет на примере региона Таймыра, где общий грузопоток (импорт) на 2023 год составляет около 44 тыс. тонн в год. Расчет производился по формуле (формула – авторская компоновка):

$$N = (Q * 1000) / (P * (365 * H) / T), \text{ где:}$$

- N - необходимое количество БПЛА
- Q - годовой грузооборот в тоннах
- P - грузоподъемность БПЛА в килограммах
- H - количество рабочих часов БПЛА в сутки
- T - среднее время оборота БПЛА в часах

При допущениях о круглогодичной работе БПЛА, среднем времени оборота в 3 часа и 20-часовом рабочем дне, необходимое количество тяжелых грузовых БПЛА для региона Таймыра составляет 61 единицу.

Средний грузовой БПЛА (Рисунок 84). Данный тип БПЛА предназначен для перевозки небольших грузов в рамках ограниченной системы поселений, например, агломерации Норильска. В качестве оптимального решения предлагается использовать БВС ВТ 440 - относительно грузоподъемный БПЛА с высокими показателями грузоподъемности (100 кг) дальности полета (до 600 км) [34]. Поскольку основное предназначение данного типа БПЛА - обеспечение связи между комплексами АСК, их количество в большей степени зависит от объема конкретного комплекса. Базовое минимальное значение предлагается установить на уровне 5 единиц на один комплекс АСК.

Легкий грузовой БПЛА (Рисунок 85). Легкие грузовые БПЛА предназначены для доставки малогабаритных грузов в рамках одного населенного пункта или комплекса АСК. Они обеспечивают "последнюю милю" доставки, осуществляя транспортировку грузов от распределительных центров до конечных потребителей. В качестве примера данного типа БПЛА можно привести модель БАС-200, грузоподъемностью 50 кг.

Типологический ряд логистического компонента АСК

Логистический компонент в структуре АСК предположительно включает следующие типы объектов:

1. Распределительный центр (Таблица 2) - крупный логистический узел дронопортовой сети, функционально соответствующий региональному аэропорту беспилотной авиации. Размещается на периферии крупных городов и транспортно-логистических центров. Включает складской комплекс с температурным зонированием, многопозиционную инфраструктуру взлета-посадки, зоны технического обслуживания БПЛА различных классов, топливозаправочные и зарядные станции, диспетчерский центр управления. Детальное рассмотрение данной типологии выходит за рамки настоящего исследования и приводится в обзорном порядке для полноты типологической классификации дронопортовой инфраструктуры.

2. Малый логистический центр (Таблица 2) – представляет собой базовую инфраструктурную единицу дронопортовой сети АЗРФ, предназначенную для обеспечения транспортной связи отдаленных населенных пунктов, вахтовых поселков и промышленных объектов с региональными опорными центрами.

Таблица 2. Типология логистического компонента АСК

Тип объекта	Распределительный центр	Малый логистический центр
-------------	-------------------------	---------------------------

Тип объекта	Распределительный центр	Малый логистический центр
Рассматривается ли подробно в рамках работы	Типология освещается в рамках исследования, однако ее разработка выходит за пределы границ исследования	Типология рассматривается в рамках единой структуры АСК
Основная функция	Распределение и транспортировка грузов на дальние расстояния в рамках системы связей АСК.	Транспортировка грузов на малые расстояния «последней мили» в рамках зоны влияния крупного поселения
Возможный дополнительный функционал	Отсутствует	Отсутствует
Общая площадь объекта	До 5 тыс. м ²	До 864 м ²
Города размещения	Все города размещения АСК, за исключением малых поселений находящихся в зоне влияния крупного логистического или промышленного центра	Малые поселения, находящиеся в зоне влияния крупного логистического или промышленного центра, или городская застройка в рамках крупного поселения
Размещение в рамках города	На территории городской периферии	В центре поселения, в составе АСК

Связь логистического компонента с другими компонентами АСК

С медицинским компонентом. Арктический регион представляет собой серьезный вызов для функционирования системы здравоохранения из-за своей обширности и сложных условий. Помимо обеспечения своевременной медицинской помощи, существует проблема снабжения медицинских учреждений необходимыми медикаментами, инструментами и донорской кровью. Решение этой задачи требует развитой и оперативной логистической системы. Каждый модуль медицинского компонента предлагается оснастить инфраструктурой для эффективного приема посылок, доставляемых различными типами дронов. Это могут быть как традиционные вертолетные площадки для дронов вертолетного типа, так и компактные площадки для малых квадрокоптеров.

С агропромышленным компонентом. Эффективное функционирование агропромышленного компонента АСК невозможно без возможности быстрой и надежной доставки семян и выращенных продуктов питания. Модули агропромышленного компонента должны быть оборудованы складскими

сортировочными помещениями, обеспечивающими оперативную передачу грузов в распределительный центр логистического компонента для их дальнейшей транспортировки в другие города зоны влияния АСК. Тесная интеграция логистического и агропромышленного компонентов позволит оптимизировать процессы производства и распределения продовольствия в арктическом регионе.

С научно-образовательным компонентом. Логистический комплекс играет важную роль в обеспечении научных станций и научно-образовательных комплексов необходимым оборудованием, материалами для экспериментов и другими ресурсами, необходимыми для их функционирования. Это позволит обеспечить бесперебойную работу научно-исследовательских и образовательных учреждений в удаленных арктических районах.

С энергетическим компонентом. Энергетический компонент АСК играет ключевую роль в обеспечении логистического компонента необходимой энергией для функционирования флота дронов. Тесная интеграция энергетического и логистического компонентов позволит создать устойчивую и автономную систему доставки грузов в АСК.

Архитектурные и планировочные решения

Распределительного центр. Проектирование распределительного центра представляет собой комплексную междисциплинарную задачу, интегрирующую аспекты транспортной логистики, авиационной инфраструктуры, складского хозяйства и систем автоматизированного управления воздушным движением. Масштаб и технологическая сложность подобных объектов требуют отдельного углубленного исследования с детальной проработкой функционально-технологических процессов, пропускной способности, интеграции в городскую транспортную систему и экономического обоснования инвестиций. В связи с этим в рамках настоящей научно-исследовательской работы данная типология освещается исключительно в обзорном порядке для полноты классификации дронопортовой инфраструктуры, без детального рассмотрения объемно-планировочных решений.

При концептуальной разработке за основу были приняты архитектурные решения проекта дронопорта на Сахалине (авторство IND architects) и эксплуатационный опыт компании Zipline [153] по организации крупноузловых логистических центров беспилотной авиации. В настоящее время в России отсутствует специализированная нормативная база, напрямую регламентирующая проектирование дронопортов. Исключение составляет СП 511.1325800.2022 «Посадочные площадки. Правила проектирования» [8], применяемый при разработке планировочных решений взлетно-посадочной инфраструктуры для БПЛА. Здания и сооружения, входящие в состав комплекса – ангары, сервисные

боксы, диспетчерские центры, складские и вспомогательные помещения, – проектируются по положениям СП 56.13330.2021 «Производственные здания» с учетом специфических требований авиационных объектов [9].

Данный тип объектов предполагается к реализации преимущественно в крупных городах и региональных центрах с населением свыше 100 тыс. человек, выполняющих роль опорных узлов расселения и логистических хабов. Исключение составляют изолированные населенные пункты, которые в силу своего географического положения и развитой инфраструктуры потенциально способны обслуживать обширную зону расселения радиусом 200-300 км (например, Норильск, Новый Уренгой, отдельные промышленные центры АЗРФ). Сложность проектирования таких объектов, включающая расчеты грузопотоков до 5-10 тонн/сутки, организацию 50+ взлетно-посадочных операций и т.д., обуславливает необходимость выделения этой проблематики в отдельное направление научных изысканий.

Города размещения (Рисунок 87). На первом этапе развертывания предполагается размещение данной типологии объектов на базе уже существующих и функционирующих логистических центров либо центров освоения Таймыра и Ямала (Дудинка, Новый Уренгой, Салехард). В дальнейшем, по мере изменения экономической и транспортной ситуации – например, при переходе к полноценной эксплуатации Северного морского пути и перераспределении грузопотоков, – размещение подобных объектов может быть расширено за счет новых логистических узлов, таких как Диксон, учитывая его стратегическое расположение вдоль маршрута СМП.

Для определения площади распределительного центра в конкретном городе используется следующая формула (формула – авторская компоновка):

$$S_{\text{рц}} = Q_{\text{сут}} \times S_{\text{уд}} \times K_{\text{всп}}$$

где, $S_{\text{общ}}$ – общая площадь дронапорта (м^2); $Q_{\text{сут}}$ – расчетный суточный грузопоток (количество посылок, рейсов или килограмм в сутки); $S_{\text{уд}}$ – удельная норма площади на единицу груза/посылку ($\text{м}^2/\text{ед.}$). Включает зону посадки дрона, зону обработки и временного хранения; $K_{\text{всп}}$ – коэффициент вспомогательных площадей (проходы, административные помещения, ИТ-серверные). Обычно принимается в диапазоне от 1,2 до 4 (то есть плюс 20–50% к полезной площади).

Укрупненный расчет требуемой площади дронапорта ($S_{\text{общ}}$) выполнен на основе классической логистической модели определения площадей распределительных центров по методу удельных нагрузок (Гаджинский А.М., Волгин В.В.) [16, 17].

Ввиду транзитного характера работы дронапорта (минимальное время буферного хранения), классическая формула адаптирована под суточный

грузопоток: $S_{\text{общ}} = Q_{\text{сут}} \cdot S_{\text{уд}} \cdot K_{\text{всп}}$, где расчетная полезная площадь ($Q_{\text{сут}} \cdot S_{\text{уд}}$) корректируется на коэффициент вспомогательных и служебных площадей ($K_{\text{всп}}$), который, согласно нормам технологического проектирования логистических хабов, принимается в диапазоне 1,2–4.

Малый логистический центр (Рисунок 86). Объект представляет собой компактные одно- двухэтажные строения. Площадь объекта должна быть достаточна для организации функционально разделенных зон, обеспечивающих оперативную работу с грузами, доставляемыми беспилотниками, а также комфортное передвижение персонала и конечных потребителей. В качестве проектов аналогов были изучены наработки компании Wing, а также ранее упоминаемый проект Zipline и его обновленную концепцию, уже реализованную в США [182]. В качестве нормативных документов также используются СП 56.13330.2021 «Производственные здания» и СП 511.1325800.2022 «Посадочные площадки. Правила проектирования»

Также возможна трансформация малого логистического центра в полноценный распределительный центр при повышении статуса или значимости поселения в транспортной сети. Подобный сценарий может реализоваться, например, в Диксоне: по мере роста грузопотока Северного морского пути населенный пункт способен стать логистическим центром Таймыра, хотя на текущем этапе создание распределительного центра там не является первоочередной задачей. В случае такой трансформации рассмотрены два подхода. Первый – строительство нового здания с последующим выводом из эксплуатации существующего после ввода нового объекта. Второй – расширение действующего здания: надстройка в рамках основной конструктивной системы и внутренняя перепланировка. В обоих случаях предусматривается увеличение административно-управленческого блока, расширение складских помещений, оптимизация доковых фронтов приемки и отгрузки, а также упорядочивание внутренних потоков персонала и грузов с соблюдением требований пожарной безопасности и надежного подключения к инженерным сетям.

Базовым элементом служит двухэтажная секция, формирующая четырехсекционный модуль операционно-административного здания площадью 864 кв.м. Типология предусматривает как автономное размещение объекта на самостоятельном земельном участке, так и интеграцию в состав единого многофункционального АСК в зависимости от функционального назначения, грузопотока и территориального контекста размещения.

Данное решение обусловлено комплексом технологических, энергетических и эксплуатационных факторов. Разделение «теплого» операционного ядра с температурой +18-20°C и складских зон позволяет поддерживать в последних

пониженную температуру $+5-10^{\circ}\text{C}$, что оптимизирует энергопотребление на 25-35% и снижает эксплуатационные расходы в условиях Арктики. Упрощается схема грузопереработки с возможностью организации прямых въездов для наземного транспорта через отдельные рампы и доковые ворота складского корпуса без пересечения с потоками посетителей операционного центра. Физическое отделение складов с грузами от помещений с литий-ионными аккумуляторами и электронным оборудованием снижает риски распространения огня и обеспечивает соблюдение нормативных противопожарных разрывов. Реализуется также возможность поэтапного развития – достройка дополнительных складских модулей по каркасно-панельной технологии по мере роста грузопотока без реконструкции действующего операционного центра.

Складской корпус выполняется по технологии легких стальных конструкций с ограждающими сэндвич-панелями толщиной 500 мм, что обеспечивает быстровозводимость и создание свободных пролетов 12-24 м без промежуточных опор. Связь между зданиями может осуществляться посредством закрытого отапливаемого перехода длиной 6-10 м с температурой $+14-16^{\circ}\text{C}$ для исключения выхода персонала на открытый воздух в зимний период.

Далее рассмотрим планировочные решения операционного, административного центра.

На первом этаже со стороны входной группы формируется фронт обслуживания граждан: вестибюль с зоной ожидания, стойкой выдачи и постаматами с наружным доступом в нерабочие часы. Отдельно организуется сервисный вход для персонала и хозяйственные помещения. В глубине этажа размещаются последовательно соединенные технологические зоны: разгрузка и первичная проверка поступивших грузов, сортировка с краткосрочным хранением на стеллажах, зона подготовки к выдаче. При необходимости предусматривается холодильная камера для температурно чувствительных грузов. Все эти зоны завязаны на короткий внутренний «холодный» маршрут от посадочной площадки до стойки выдачи, без пересечений с посетителями. Если используется наземная площадка приземления и взлета, ее располагают с наветренной стороны, отделяют защитным ограждением, предусматривают подогрев покрытия и безопасный коридор до шлюза разгрузки.

На втором этаже располагается административный центр павильона и дополнительные складские помещения. Операторская управления беспилотным движением расположена с фронтальным видеоконтролем периметра, рядом размещается серверная связь. Блок персонала включает раздевалки, душевые, санитарную и комнату отдыха. Инженерные помещения этажа принимают часть вентиляционного и резервного электрооборудования.

Взлетно-посадочная площадка для БПЛА вертикального взлета размером 16×16 м располагается смежно с операционным зданием с подветренной стороны относительно господствующих ветров, отделяется защитным ограждением высотой 1,2 м.

Города размещения (Рисунок 87). Данная типология объектов планируется к размещению во всех городах присутствия АСК, формируя ключевой функциональный элемент, который обеспечивает интеграцию отдельных компонентов в единую сетевую структуру.

2.4 Научно-образовательный компонент

Анализ текущего состояния и перспектив развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) выявил острую необходимость в возрождении и модернизации научно-исследовательского комплекса страны, формирующего теоретическую, стратегическую и технологическую основу освоения Арктики. Успешное развитие региона невозможно без наличия высококвалифицированных кадров, повышения производительности труда и фундаментального изучения процессов, происходящих на территории Заполярья, с целью обеспечения его устойчивого развития.

Развитие научно-образовательного потенциала АЗРФ является приоритетным направлением государственной политики, закрепленным в документе «Об основах государственной политики РФ в Арктике до 2035 года» [3]. В рамках данной стратегии создаются научно-образовательные центры (НОЦ), такие как центр «Российская Арктика» на базе Северного (Арктического) федерального университета (САФУ) в Архангельске [87]. Центр сосредоточен на разработке инновационных технологий, адаптированных к суровым условиям Арктики, и активно занимается подготовкой кадров для работы в регионе.

Среди значимых образовательных инициатив выделяется проект «Арктический плавучий университет», который с 2010 года организует ежегодные студенческие экспедиции [143]. Эти экспедиции охватывают акватории Северного Ледовитого океана, включая районы Новой Земли и архипелага Земля Франца-Иосифа. Основное внимание уделяется изучению антропогенного воздействия на экосистемы, изменениям климата и их последствиям. В 2024 году аналогичную деятельность осуществляла программа «Команда Арктика», организованная РТУ МИРЭА совместно с партнерами. За один год было проведено более 17 экспедиций в Ямало-Ненецком автономном округе и Мурманской области. Практическая подготовка студентов также осуществляется через программу «Полярные и морские исследования (ПОМОРИ)», которая включает стажировки на научно-исследовательских судах («Академик

Мстислав Келдыш», «Поларштерн» и др.) и материковых станциях (например, научная станция «Остров Самойловский» [45]).

За последние десятилетия в АЗРФ модернизируется инфраструктура для научных исследований. В 2013 году было построено новое здание полярной станции «Остров Самойловский», обеспечивающее круглогодичное пребывание ученых. Обновлены станции «Северный полюс», база «Омега» на Новой Земле и станция «Нагурская» на архипелаге Земля Франца-Иосифа [78]. Однако из 116 арктических научных объектов модернизацию прошли лишь 46, а с архитектурной точки зрения актуальным считается только один объект – станция «Восток». Вопросы совершенствования архитектуры научных объектов в Арктике подробно изучены в работе А.В. Савиновой [124, 40].

Несмотря на значительные усилия по развитию научной инфраструктуры в АЗРФ, Россия отстает от других арктических государств по количеству университетских и исследовательских центров в арктических городах, что ограничивает реализацию инновационного потенциала региона. Для успешного развития арктических проектов требуется дальнейшее укрепление научно-исследовательской базы, что не только обеспечит эволюцию специализированных комплексов, но и станет катализатором общего прогресса науки и технологий в АЗРФ.

Важной основой успешного осуществления научных исследований в Арктике является развитие научно-образовательного компонента АСК. Данный компонент предполагает интеграцию местных научных лабораторий и образовательных учреждений с университетами средней полосы России. Такой подход позволит расширить научные исследования в Арктике, а также создать новые образовательные программы для местного населения, включая курсы перепрофилирования и повышения квалификации.

Научно-образовательный компонент АСК обладает не только прикладным потенциалом, но и возможностью выполнять функции общественного пространства. На базе крупных объектов, расположенных в средних и больших арктических городах, возможно создание культурно-познавательных площадок, библиотек и лекториев. Примером такого подхода служит Канадский центр изучения Арктики (CHARS), где выделена зона мероприятий для местного населения, включая лекции и праздники [186].

Типология объектов научно-образовательного компонента АСК

При разработке типологии научно-образовательного компонента АСК автор опирался на результаты научных исследований, проведенных В.А. Савиновой. В своей работе Савинова провела глубокий анализ более тридцати примеров научно-исследовательских станций, что позволило выделить ключевые

типологические характеристики изучаемых объектов. Выявленные ею принципы и подходы стали основой для формирования структурной типологии компонентов АСК, адаптированных к специфическим условиям АЗРФ.

Типология объектов научно-образовательного компонента АСК включает три основные категории:

Малый научный модуль (Таблица 3) представляет собой автономный комплекс автоматизированных станций, размещенных на удаленных территориях АЗРФ. Эти станции предназначены для непрерывного мониторинга климатических, геологических и экологических параметров посредством автоматизированных систем наблюдения. Модули обеспечивают кратковременное пребывание исследователей для выполнения технического обслуживания, проверок и калибровки измерительного оборудования.

С архитектурной точки зрения малый модуль функционирует как изолированный объект, территориально обособленный от основной структуры АСК, однако сохраняющий с ней связь через информационно-телекоммуникационные каналы. Объекты данного типа традиционно реализуются в формате компактных сооружений и в рамках настоящего исследования подробно не рассматриваются.

Средний научный модуль (Таблица 3) предназначен для размещения в структуре АСК в средних и малых населенных пунктах Арктики. Он выполняет функции исследовательской базы для студентов и аспирантов, а также служит платформой для экспериментальных исследований. Такие модули включают лабораторный комплекс, наблюдательные платформы, центр обработки данных, жилой комплекс и складскую инфраструктуру. Исторический опыт демонстрирует их эффективность: например, лаборатория в поселке Игарка способствовала выведению морозостойких сортов овощей, что стало основой для развития арктической агропромышленности.

Научно-образовательный модуль (Таблица 3) представляет собой крупномасштабный объект с интеграцией исследовательских и образовательных функций. Он предназначен для крупных арктических городов, таких как Норильск или Новый Уренгой. Этот тип модуля включает основное исследовательское здание, лабораторный корпус, офисный корпус, общественные пространства, конференц-залы, столовую с кухней, зимний сад, здание для подготовки к экспедициям и жилые блоки. Такие модули не только способствуют развитию науки в регионе, но и создают условия для подготовки кадрового потенциала. Научно-образовательный модуль рассматривается в исследовательской работе только как элемент типологической структуры, разработка его архитектурно-конструктивных решений выходит за рамки работы.

Таблица 3. Типология научно-образовательного компонента АСК

Тип объекта	Малый научный модуль	Средний научный модуль	Научно образовательный модуль
Рассматривается ли подробно в рамках работы	Типология не рассматривается в рамках единой структуры АСК	Типология рассматривается в рамках единой структуры АСК	Типология освещается в рамках исследования, однако ее разработка выходит за пределы границ исследования
Основная функция	Площадка для проведения научных наблюдений, мониторинга и полевых исследования групп исследователей	Площадка для экспериментальных исследований, а также выполняет функцию исследовательской базы в зоне влияния	Крупные научно-исследовательский комплекс для постоянного размещения ученых и исследовательских групп
Возможный дополнительный функционал	Отсутствует	Отсутствует	Общественное образовательное пространство, лекторий, центр повышения квалификации
Общая площадь объекта	До 200 м ²	До 1000 м ²	До 5000 м ²
Города размещения	Поселки изоляты и удаленные территории	Малые поселки и города периферии и субпериферии	Арктические столицы и опорные пункты
Размещение в рамках города	В центральной части поселка	В центральной части города или поселка	В центральной части города

Связь научно-образовательного компонента с другими компонентами АСК

С медицинским компонентом: взаимодействие с медицинским компонентом обусловлено необходимостью решения проблем, связанных с рисками для физического и психологического здоровья населения, проживающего в экстремальных условиях АЗРФ. Дефицит квалифицированных медицинских кадров требует интеграции научно-образовательного компонента в региональную систему здравоохранения. Это включает привлечение молодых специалистов через образовательные программы, повышение квалификации действующих медицинских работников и организацию обучающих мероприятий для среднего

медицинского персонала, таких как фельдшеры и медицинские сестры. Таким образом, научно-образовательный компонент способствует укреплению кадровой базы системы здравоохранения региона.

С энергетическим компонентом: связь с энергетическим компонентом определяется высокой энергоемкостью функционирования научно-образовательной инфраструктуры. Для обеспечения устойчивого энергоснабжения объектов данного компонента необходимо учитывать энергетический баланс населенных пунктов при их проектировании, а также оценивать достаточность существующих энергетических мощностей. Важным направлением является интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистему региона, что позволяет снизить зависимость от традиционных источников и повысить экологическую устойчивость.

С логистическим компонентом: логистический компонент обеспечивает научно-образовательный модуль всем необходимым для проведения исследований: материалами, оборудованием и инструментами. Эффективное взаимодействие между этими компонентами предполагает организацию бесперебойных поставок расходных материалов, создание системы оперативного реагирования на запросы исследовательских учреждений и оптимизацию логистических маршрутов с учетом специфики арктических условий. Это позволяет минимизировать временные и ресурсные затраты на обеспечение научной деятельности.

С агропромышленным компонентом: Связь с агропромышленным компонентом строится на основе теоретических исследований и практических испытаний, проводимых в рамках научно-образовательного модуля. Основные направления включают выведение морозоустойчивых сельскохозяйственных культур, разработку технологий адаптации растениеводства к арктическим условиям и создание инновационных методов ведения сельского хозяйства в экстремальном климате. Эти исследования способствуют развитию арктической агропромышленности и обеспечению продовольственной безопасности региона.

Архитектурные и планировочные решения

Средний научный модуль (Рисунок 88). Анализ исходной концепции с учетом проектных решений, реализованных в AWIPEV, CHARs и UK Arctic Research Station, позволяет утверждать, что оптимальная схема функционального зонирования среднего научного модуля в Арктике должна базироваться на четком разделении производственно-технических, исследовательских и жилых зон при сохранении энергоэффективности и целостности объема. При проектировании данного типа объектов автор опирается на СП 118.13330.2022 «Общественные здания и сооружения» [4].

Комплекс представлен 4 секционным двухэтажным модулем площадью 648 кв.м, с возможностью его дальнейшего расширения при необходимости.

Расширение по площади выполняется гибко – в комбинации от одного до шести модулей. В составе дополнительных мощностей допускается размещение жилых блоков краткосрочного пребывания, лабораторных помещений и административных зон в требуемых пропорциях. Планировочные решения унифицируются с базовым модулем для ускорения монтажа, подключения инженерных систем и ввода в эксплуатацию.

Первый этаж предназначен для лабораторного комплекса и технической поддержки. Центральный блок специализированных лабораторий (химическая, биологическая, физическая/климатическая, «мокрая» для проб) общей площадью 360–420 кв.м оснащается вытяжными шкафами, локальными чистыми зонами и моечными (Рисунок 89). Вдоль периметра располагаются помещения хранения реактивов с системами безопасности и принудительной вентиляции, мастерская полевого ремонта, тамбур-санпропускник и шлюз для приема проб. Дополняют этаж серверная с независимым охлаждением, техническая группа с системами электропитания и кладовые экспедиционного снаряжения. Объединение лабораторных функций и технической инфраструктуры в одном корпусе соответствует практике референтных станций AWIPEV и UK Arctic Research Station [146].

Второй этаж совмещает жилой сектор с аналитическим и учебным блоками. Жилая зона включает 8–12 комнат, кухню-столовую, комнату отдыха и санитарно-хозяйственные помещения, изолированные от источников шума и вибраций. В аналитической зоне размещаются зал предварительной обработки и визуализации данных, приборные для калибровки и поверки оборудования, операторская наблюдений с обзором на мачты и периметр, а также узел связи. Учебный блок представлен методическим классом и комнатой групповой работы для студентов и аспирантов. Здесь же располагаются малая экспресс-лаборатория для оперативного контроля проб и сушильная теплой одежды. Функциональная связка жилого, аналитического и учебного блоков отражает практику станций CHARS [40], где научная и образовательная деятельность интегрированы в единую структуру.

Кровля и наружные установки используются для размещения мачт метео- и экологических датчиков, антенн связи и площадок обслуживания оборудования. Предусмотрены противообледенительные контуры, ограждения и системы водоотвода. При необходимости подключаются выносные контейнерные лаборатории, интегрированные с коммуникационным ядром здания.

Города расположения (Рисунок 90). Размещение данного типа объектов целесообразно в относительно крупных городах региона, таких как Дудинка (20,5 тыс. чел.), Надым (45,2 тыс. чел.) и Лабытнанги (25,9 тыс. чел.). Эти населенные пункты обладают развитой инфраструктурой и удобным логистическим положением, что позволяет использовать их как опорные базы для экспедиций в более изолированные районы и обеспечивает условия для длительного пребывания научных и студенческих групп.

Научно-образовательный модуль

Данный тип объекта рассматривается в исследовательской работе только как элемент типологической структуры, разработка его архитектурно-конструктивных решений выходит за рамки работы.

Города расположения (Рисунок 90). Крупные научно-образовательные модули площадью свыше 4800 кв.м. на начальных этапах развертывания АСК целесообразно размещать в центрах концентрации профессиональных кадров и производственных мощностей, формируя базу для развития арктической науки. В дальнейшем, по мере освоения Северного морского пути, такие центры могут создаваться и в малых населенных пунктах. На первом этапе к городам размещения относятся Норильск (177 тыс. чел.), Новый Уренгой (106,8 тыс. чел.) и Салехард (49,2 тыс. чел.).

2.5 Медицинский компонент АСК

Анализ системы здравоохранения в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) выявляет критические проблемы, требующие комплексного решения. Основная из них – неравномерное распределение медицинских ресурсов при низкой плотности населения. В удаленных населенных пунктах медицинская помощь ограничивается фельдшерско-акушерскими пунктами и врачебными кабинетами, при этом доступ к узким специалистам практически отсутствует. Транспортная изоляция серьезно затрудняет обращение в городские медицинские центры.

Уровень заболеваемости в арктических регионах России превышает среднероссийский на 40–50 %, а средняя ожидаемая продолжительность жизни здесь составляет менее 60 лет. Для сравнения, в арктических регионах Скандинавии при увеличении финансирования здравоохранения в 1,5 раза этот показатель достигает 70–80 лет [70, 189].

Ситуацию осложняют социально-экономические проблемы, антропогенное загрязнение, экстремальные климатические условия и изменение климата, способствующее распространению инфекций. Недостаточное развитие профилактической медицины и системы мониторинга усугубляет риски.

Ключевой вызов – дефицит квалифицированных медицинских кадров. Так, в Республике Саха укомплектованность врачами составляет 57,3 %, средним медперсоналом – 73,2 %. Разрабатываемый стандарт «Арктической медицины» предусматривает персонализированный подход, учитывающий климатические и территориальные особенности, а также внедрение телемедицинских технологий, мобильных медицинских бригад и решений в области здоровья-сбережения. Однако масштаб и системность существующих инициатив пока недостаточны для эффективного охвата обширных территорий ЯНАО и Таймыра. Опыт скандинавских стран демонстрирует перспективность сети малых медицинских учреждений, интегрированных в единую телемедицинскую систему с координационным центром.

Типология объектов медицинского компонента

Центры арктической медицины (Таблица 4) – это крупные медицинские учреждения, формируемые на базе существующих региональных больниц и выполняющие центральную роль в системе здравоохранения Арктики. Они обеспечивают специализированную медицинскую помощь, проводят исследования здоровья населения в экстремальных условиях, готовят медицинские кадры и координируют телемедицинские услуги для удаленных территорий.

Малые медицинские центры (Таблица 4) – Малые медицинские центры предназначены для обеспечения современными медицинскими услугами малых и средних населенных пунктов с численностью от 5 до 25 тыс. человек. Они оснащаются оборудованием для оказания первой помощи и интегрируются в телемедицинскую сеть, связанную с крупными центрами арктической медицины. Телемедицина обеспечивает дистанционные консультации со специалистами, мониторинг хронических заболеваний и обучение местных медиков, что позволяет быстро адаптировать систему здравоохранения к потребностям региона и повышает доступность медицинской помощи в удаленных районах.

Фельдшерско-акушерские пункты (ФАПы) (Таблица 4) – это небольшие медицинские учреждения, обеспечивающие население малых городов и поселений базовой медицинской помощью. Они выполняют ключевые функции: неотложная помощь, базовая диагностика, вакцинация и профилактические осмотры. Оснащение современным оборудованием, интеграция телемедицинских технологий позволяют проводить дистанционные консультации со специалистами и повышают эффективность работы ФАПов. Их возрождение и включение в единую систему здравоохранения Арктической зоны России обеспечивают доступность первичной медицинской помощи даже в условиях низкой плотности населения и ограниченной транспортной инфраструктуры.

Мобильные медицинские бригады (Таблица 4) – мобильные медицинские бригады являются важным элементом системы здравоохранения для труднодоступных районов Арктической зоны России. Хотя они уже функционируют (на базе специально оборудованных внедорожников, и прочих транспортных средств), концепция АСК предполагает их дальнейшее развитие с учетом новых логистических возможностей. Особое значение придается интеграции мобильных бригад с транспортной и коммуникационной инфраструктурой АСК, что позволит повысить скорость и эффективность доставки медицинской помощи. В этом контексте используется опыт компании Zipline [153], успешно применяющийся для снабжения удаленных регионов Африки.

Таблица 4. Типология медицинского компонента АСК

Тип объекта	Центры арктической медицины	Фельдшерско-акушерские пункты (ФАПы)	Малые медицинские центры	Мобильные медицинские бригады
Рассматривается ли подробно в рамках работы	Типология освещается в рамках исследования, однако ее разработка выходит за пределы границ исследования	Типология рассматривается в рамках единой структуры АСК	Типология рассматривается в рамках единой структуры АСК	Типология освещается в рамках исследования, однако ее разработка выходит за пределы границ исследования
Основная функция	Оказание квалифицированной медицинской помощи в условиях стационара	Оказание первой медицинской помощи и оказание услуг телемедицины	Оказание первой и базовой медицинской помощи, оказание услуг телемедицины	Оказание срочной медицинской помощи
Возможный дополнительный функционал	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Общая площадь объекта	-	До 200 м ²	До 1000 м ²	-
Города размещения	Арктические столицы	Поселки изоляты и удаленные территории	Малые поселки и города периферии и	-

Тип объекта	Центры арктической медицины	Фельдшерско-акушерские пункты (ФАПы)	Малые медицинские центры	Мобильные медицинские бригады
			субпериферии	
Размещение в рамках города	Центральные районы города	В центральной части поселка	В центральной части города или поселка	-

Связь медицинского компонента с другими компонентами АСК

С энергетическим компонентом: Энергетический компонент играет важную роль в поддержании стабильного функционирования медицинской инфраструктуры в суровых климатических условиях Арктики. Надежное энергоснабжение критически важно для работы жизненно необходимого оборудования, такого как аппараты ИВЛ и системы хранения медикаментов. Внедрение возобновляемых источников энергии (солнечные панели, ветряные турбины) и гибридных систем позволит снизить зависимость от традиционных видов топлива и повысить автономность медицинских объектов.

С научно-образовательным компонентом: Научно-образовательный компонент АСК обеспечивает подготовку кадров для арктической медицины и развитие соответствующих научных исследований. Специализированные образовательные центры в крупных арктических городах способствуют сохранению подготовленных специалистов в регионе. Сотрудничество научных институтов с медицинскими центрами позволяет исследовать влияние экстремальных климатических условий на здоровье и разрабатывать специфические методы диагностики и лечения. Особое значение имеют телемедицина и дистанционный мониторинг здоровья в удаленных районах.

С логистическим компонентом: Связь обеспечивает доступность медицинской помощи в условиях удаленности и сложных транспортных условий. Система должна гарантировать регулярную доставку медикаментов, вакцин и оборудования в труднодоступные районы. Перспективно использование беспилотных летательных аппаратов для доставки небольших грузов. Создание складов на ключевых транспортных узлах позволяет оперативно распределять ресурсы.

С агропромышленным компонентом: Агропромышленный комплекс напрямую влияет на здоровье населения Арктики через обеспечение продовольственной безопасности региона. Производство экологически чистых продуктов питания, адаптированных к северным условиям, способствует поддержанию здоровья. Медицинские учреждения могут сотрудничать с

агропромышленным сектором в разработке диетического питания и профилактических программ с учетом витаминного дефицита.

Архитектурные и планировочные решения

В качестве основы проектных решений анализировался Российский и мировой опыт организации малых медицинских объектов.

Фельдшерско-акушерский пункт (Рисунок 91). Для разработки функционально планировочной системы типа объекта были проанализированы проекты ФАПов реализуемых на сегодняшний день в районах вахтовых поселков по освоению месторождений ресурсов полезных ископаемых, а также ранее упоминаемые малые медицинские объекты в малых городах скандинавской Арктики. Фельдшерско-акушерские пункты предполагается преимущественно размещать автономно, что обеспечивает их оптимальное расположение и максимальную доступность для жителей. Нормативно площадь данных объектов не установлена, на практике в поселках средней полосы России она составляет ориентировочно 80–200 м². В арктических условиях расчетная площадь уточняется с учетом прогнозируемого потока пациентов, требований доступности и дополнительных мер теплозащиты и резервирования инженерных систем. Проектирование объектов осуществляется в опоре на СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций» [6].

ФАП как тип объекта не предполагает увеличения площади в рамках своей функциональной роли. Однако при росте численности населения возможна его трансформация в малый медицинский центр. Такой сценарий реализуется за счет расширения существующей конфигурации необходимым количеством секций. На период работ объект временно выводится из эксплуатации, а планировочная структура полностью перерабатывается под требования нового типа здания.

Реконструкция предусматривает замену функционального зонирования, адаптацию несущей системы под возросшие нагрузки, продление вертикальных коммуникаций, устройство дополнительных эвакуационных лестниц и лифтов, а также перераспределение инженерных сетей с актуализацией требований пожарной безопасности и надежных узлов подключения. Такой подход обеспечивает переход от базового пункта к полнофункциональному медицинскому центру без потери качества обслуживания и с учетом климатических ограничений.

Объект представлен двухэтажным двухсекционным модулем площадью 432 кв.м. Входная группа включает двухдверный тамбур-шлюз с воздушной завесой и подогревом пола, за которым располагается зона ожидания на 8–12 мест, регистратура и санитарный узел. Блок приема состоит из кабинета фельдшера, смотрового с возможностью гинекологического осмотра, процедурного и

кабинета УЗИ/ЭКГ. Вакцинальный участок связан с процедурным и оборудован системой для хранения препаратов. Для телемедицины предусмотрен отдельный кабинет, рядом размещается узел связи. Зона неотложной помощи включает смотрово-реанимационное место с возможностью кратковременного наблюдения пациентов. Служебный блок состоит из комнаты персонала, хозяйственного помещения, склада чистых и грязных материалов с отдельными потоками. Коридорная сеть обеспечивает свободное движение носилок и кресел-колясок.

Города размещения (Рисунок 94). Фельдшерско-акушерские пункты рекомендуется размещать во всех малых населенных пунктах и вахтовых поселках региона, таких как Носок (1798 чел.), Новый Порт (1633 чел.) и Диксон (306 чел.), формируя единую сеть объектов здравоохранения и обеспечивая медицинскую доступность в удаленных районах.

Площадь и планировочная структура фельдшерско-акушерских пунктов стандартизированы и рекомендуются к размещению во всех населенных пунктах Арктики. Это обусловлено тем, что существующие объекты здравоохранения во многих городах и поселках региона устарели или находятся в аварийном состоянии, что требует их поэтапной замены современными и функционально продуманными зданиями.

Малые медицинские центры (Рисунок 92). Малый медицинский центр реализуется в виде трехсекционного двухэтажного объекта площадью 648 кв.м, разработанного с учетом опыта малых больниц Норвегии и Швеции, таких как Киркенес и Оксфьорд. Планировочная структура обеспечивает полный цикл медицинских услуг – от приема и диагностики до телемедицины и кратковременной госпитализации. Аналогично ранее рассмотренным объектам, типология допускает как автономное размещение здания, так и его интеграцию в состав единого многофункционального комплекса, в зависимости от функционального и территориального контекста. Проектирование объектов осуществляется в опоре на СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций» [6].

Расширение по площади осуществляется гибко – в комбинации от одного до шести модулей. В составе дополнительных мощностей допускается размещение блоков кратковременного пребывания пациентов, кабинетов приема, лабораторных помещений и административных зон в требуемых пропорциях. Планировочные решения унифицируются с базовым модулем для ускорения монтажа, технологичного подключения инженерных систем и оперативного ввода в эксплуатацию.

Первый этаж предназначен для приема пациентов, проведения диагностики и оказания неотложной помощи. Экстренный вход со стороны приемной

обеспечивает прямой доступ «скорой помощи» к шлюзу и смотровым. Диагностический блок включает рентген-кабинет с комнатой управления, кабинет УЗИ и клинико-диагностическую лабораторию с выделением приемной и аналитической зон (Рисунок 93). Планировка обеспечивает прямую связь с отделением неотложной помощи, где размещаются смотровая, реанимационно-смотровой зал и малая операционная/перевязочная с предоперационной. Амбулаторный блок включает кабинеты врачей общей практики, процедурные и прививочный кабинеты с отдельным входом для плановых пациентов. Разделение экстренных и плановых потоков минимизирует риски перекрестного инфицирования и оптимизирует логистику.

Второй этаж совмещает стационарный блок, реабилитацию и административно-технические зоны. Стационар включает 8–12 палат на 1–2 койки с индивидуальными санузлами для дневного наблюдения и восстановления после процедур. В случаях тяжелых заболеваний предполагается транспортировка пациентов в крупные региональные медицинские центры. Реабилитационная зона представлена кабинетами физиотерапии и ЛФК с контролем врача. Телемедицинский блок включает 1–2 оборудованных помещения с серверной для обработки данных и проведения дистанционных консультаций. Административная зона объединяет кабинет главного врача, ординаторскую и учебно-методическую комнату для подготовки персонала и разбора клинических случаев. Инженерная часть (вентиляционные камеры, ИБП, коммуникации) выделена противопожарными перегородками и отделена от основных потоков.

Серверные, зарядные и склады расходных материалов изолированы и оснащены приточно-вытяжной вентиляцией, газоанализом и автоматическим пожаротушением. Критические системы связи и телемедицины подключены к резервным источникам питания и ИБП.

Города размещения (Рисунок 94). Данная типология объектов предполагает размещение в относительно крупных населенных пунктах региона с численностью от 5–10 тыс. человек. К ним относятся Дудинка (20 тыс. чел.), Яр-Сале (7 тыс. чел.) и другие города, способные обеспечить необходимую инфраструктурную и логистическую базу.

Ориентировочную площадь объекта рекомендуется применять согласно следующей формуле (Расчет выполнен по методу укрупненных показателей обеспеченности в соответствии с принципами регионального нормирования (РНГП)):

$$S = N \cdot \beta$$

Где, N – численность населения, β – норматив площади малого медицинского центра на одного жителя, кв.м./чел. (0,9 кв.м./чел)

Инженерные особенности медицинского компонента АСК

В качестве основы проектных решений использовался опыт организации медицинских объектов в удаленных районах с экстремальным климатом [44]. Для малых медицинских центров и ФАПов ключевым элементом является система энергообеспечения с тройным резервированием: основное питание от городской сети, резерв через дизель-генератор мощностью 200 кВт и дополнительный – через аккумуляторные батареи емкостью 200 кВт·ч. Такая схема обеспечивает бесперебойную работу критического оборудования даже при длительных перебоях электроснабжения во время арктических штормов.

Система вентиляции и кондиционирования организована по трехконтурной схеме с независимыми воздуховодами для «чистых» помещений, медицинских зон и технических отсеков. Каждый контур оснащен блоком рекуперации тепла с эффективностью более 85 %, что одновременно поддерживает стерильность и снижает энергозатраты.

Фельдшерско-акушерские пункты дополнительно оснащаются автономной системой водоподготовки с многоступенчатой очисткой и ультрафиолетовым обеззараживанием, обеспечивающей воду медицинского качества даже при использовании низкокачественных источников.

Медицинские объекты интегрируются с беспилотными системами доставки: площадки с автоматической посадкой оснащаются подогревом поверхности, системой точного позиционирования и защитой от экстремальных погодных условий, что позволяет безопасно принимать дроны в условиях полярной ночи и сильного ветра.

2.6 Энергетический компонент АСК

Анализ текущего состояния энергетической инфраструктуры Арктической зоны выявляет критическую зависимость от дизельного топлива, которое остается основным источником энергии примерно для 80% арктических регионов по всему миру. Данная ситуация создает серьезные экономические и экологические риски, что обуславливает необходимость диверсификации источников энергии [129].

Солнечная энергетика

Применение солнечной генерации в Арктике имеет специфические особенности, учитываемые при проектировании энергетических систем. Низкие температуры повышают эффективность фотоэлементов: при 0 °С КПД на 10 % выше, чем при 20 °С, с ростом на 0,5 % на каждый градус снижения температуры [37]. Снежный покров дополнительно увеличивает выработку за счет отражения солнечного света. Среднегодовое поступление солнечной энергии в регионе достигает 2–5 кВт·ч, а на отдельных территориях – до 5–6 кВт·ч [91]. Основные ограничения связаны с сезонностью выработки и резким снижением потенциала в

период полярной ночи, что требует гибридных систем и защиты оборудования от экстремальных климатических воздействий. Для решения этих задач применяются морозостойкие солнечные модули с увеличенным сроком службы, двусторонние панели для улавливания отраженного излучения и системы автоматической очистки от снега [76, 82].

Успешными примерами можно считать: установку 36 панелей в национальном парке «Русская Арктика» на мысе Желания с экономией 540 литров топлива в год [38], и проект по монтажу 240 панелей мощностью 15 кВт на острове Земля Александры, а также развитие подобных технологий в Якутии [31]. Наиболее перспективным направлением для развития является создание гибридных систем, которые бы объединяли солнечную, ветровую энергетику с применением в том числе и традиционных источников генерации. ВИЭ в данном случае выступает в качестве инструмента повышения надежности и диверсифицированности энергоснабжения [49, 74].

Ветроэнергетика

Учитывая высокую среднегодовую скорость ветра (5–8 м/с), особенно в прибрежных районах, очевидно, Арктика обладает значительным потенциалом для развития ветроэнергетики. Основным препятствием по-прежнему является высокая стоимость строительства: в 1,5–2 раза выше, чем в регионах с умеренным климатом. На стоимость в значительной мере влияют требования к оборудованию, устойчивому к экстремальным температурам и штормовым нагрузкам [81].

Развитие ветроэнергетики идет по двум направлениям: применение малых установок для автономного энергоснабжения и интеграция крупных объектов в существующие электросети. Стоит отметить, что малые установки окупаются за 5–6 лет при господдержке. На данный момент суммарная мощность ветровых и солнечных электростанций в Арктике не превышает 7–8 МВт [111]. Важным шагом стало введение Кольской ветроэлектростанции мощностью 201 МВт (2023 г.) и запуск производства лопастей в Ульяновске (2024 г.), что создает основу для локализации технологий и адаптации их к арктическим условиям [115].

Зарубежный опыт, например, ветропарк Fire Island на Аляске (17,6 МВт), демонстрирует эффективность подобных проектов, ежегодно экономя до 500 млн м³ газа и обеспечивая энергией 6,5 тыс. домохозяйств [187].

Атомные станции малой мощности

Развитие атомных станций малой мощности (АСММ) является стратегическим направлением энергетической политики России для удаленных районов Арктики. Первым реализованным проектом стала плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» (Певек, Чукотка),

функционирующая с 2020 года и обеспечивающая теплом и электричеством до 70 тыс. человек [99]. Следующим этапом является строительство наземной АСММ в Усть-Куйге (Якутия) с реактором РИТМ-200 мощностью 55 МВт, ввод которой запланирован на 2028 год для снабжения золоторудного месторождения «Кючус» [39]. В стратегии развития атомной энергетики предусмотрено строительство станций на базе реакторной установки «Шельф» мощностью 10 МВт на пяти перспективных площадках Чукотки, Якутии, Красноярского края и архипелага Северная Земля с ориентировочным сроком строительства около четырех лет [113, 3].

Среди преимуществ АСММ можно отметить длительный период работы без перезагрузки топлива (5–20 лет), высокую автономность, низкую топливную составляющую (менее 10 % затрат), минимальное воздействие на окружающую среду и срок эксплуатации до 40 лет. Эти и другие факторы превращают АСММ в ключевой элемент устойчивого энергоснабжения промышленности и инфраструктуры Арктики [119, 66].

Источники энергии энергетического компонента

Энергетический компонент АСК ориентирован на формирование многокомпонентной системы, способной адаптироваться к специфике различных населенных пунктов и к их индивидуальным требованиям по энергоснабжению. В данном случае замена существующих сетей уступает по значимости внедрению инновационных технологий, направленных на существенное усиление устойчивости и надёжности системы в целом.

Экономическая целесообразность развертывания крупных генерирующих мощностей, включая ядерные реакторы малой мощности (ЯРММ), оправдано преимущественно для промышленных агломераций. В то время как для небольших населенных пунктов предпочтительны гибридные системы, сочетающие возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и системы хранения. При подобном подходе традиционные источники целесообразно использовать для покрытия пиковых нагрузок и функционирования объектов стратегической важности. Это позволит снизить расход топлива и транспортные издержки.

1. Энергетические центры на базе ядерных реакторов малой мощности (ЯРММ)

В крупных промышленных центрах, таких, как например Норильская агломерация, рационально размещать ядерные реакторы мощностью 50-100 МВт, интегрировав их в существующую систему генерации. Плавающие атомные электростанции, доказавшие свою эффективность на примере проекта «Академик Ломоносов», могут рассматриваться как мобильное решение для прибрежных

городов. В качестве целевого варианта рассматриваются АСММ на базе реактора РИТМ-200 мощностью 55 МВт [104, 105].

2. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ): Ветряные и солнечные электростанции в составе гибридной энергетической системы

Возобновляемые источники энергии перспективны для средних и малых городов, таких как п. Носок, пгт Диксон и других удаленных населенных пунктов. Ветряные станции обладают мощностью от 5 до 50 МВт, а солнечные - до 10 МВ. Такой технический потенциал может быть основным источником энергии в малых населенных пунктах или дополнять существующие источники. При этом стоит подчеркнуть, что для компенсации колебаний выработки энергии критически важна интеграция ВИЭ с системами хранения энергии.

Энергетические кооперативы оснащают каждого объекта собственной системой генерации, интегрированной в его инфраструктуру для обеспечения автономного энергоснабжения и передачи избыточной энергии в общегородскую сеть. В свою очередь, это помогает диверсифицировать источники энергии, повышает устойчивость энергосистемы и минимизировать потери при передаче электроэнергии.

Связь энергетического компонента с другими компонентами АСК

Чтобы обеспечить устойчивое развития Арктического специализированного комплекса (АСК) энергетический компонент должен быть тесно интегрирован с другими компонентами. Это позволит не только эффективно использовать ресурсы, но и решить накопившиеся проблемы региона: удаленность населенных пунктов, суровые климатические условия и нехватка инфраструктуры. Рассмотрим взаимосвязи энергетического компонента с медицинским, научно-образовательным, логистическим и агропромышленным компонентами.

С медицинским компонентом: жизненно-необходимо обеспечить стабильное энергоснабжение в медицинских учреждениях в Арктической зоне для работы оборудования. В крупных и средних городах целесообразно использовать ядерные реакторы малой мощности и гибридные системы на основе возобновляемых источников с резервными дизельными генераторами. С другой стороны, в малых поселениях применяют автономные системы для мобильных медицинских комплексов. Стабильное электроснабжения с резервными источниками для минимизации рисков сбоев важно также и для телемедицины.

С научно-образовательным компонентом: Надежное энергоснабжение так же необходимо и научно-образовательным центрам, где функционируют лаборатории, где в том числе проводятся исследования по разработке новых энергетических технологий для Арктики, а также проходит образовательная деятельность. Для крупных научных центров могут подойти ядерные реакторы

малой мощности, в то время как для средних и малых объектов уместно использование возобновляемых источников энергии.

С логистическим компонентом: В сфере транспортной инфраструктуры требуется электроснабжения для систем навигации, освещения и обслуживания. В крупных узлах целесообразно использование ядерных реакторов малой мощности или плавучих атомных электростанций. Для санитарной авиации необходимы надежные источники энергии, в труднодоступных районах – возобновляемые источники. Этот компонент обеспечивает доставку топлива и оборудования для энергетических объектов.

С агропромышленным компонентом: агропромышленный сектор требует энергоснабжения для работы теплиц и ферм. В городах эффективны ядерные реакторы малой мощности, в средних и малых населенных пунктах – гибридные системы, обеспечивающие стабильное энергоснабжение даже при неблагоприятных условиях, способствуя устойчивости сектора при минимальном воздействии на окружающую среду.

Архитектурные и планировочные решения

Разработка детальных планировочных решений и инженерных требований к размещению объектов энергетической инфраструктуры относится к отдельной инженерной задаче и выходит за рамки данной работы. Ниже представлены общие рекомендации по размещению объектов энергетического компонента с учетом специфики Арктики.

Ветряные электростанции

Оптимальными площадками для ветроэнергетики являются прибрежные зоны и возвышенности рядом с населенными пунктами. Турбины размещаются с интервалом не менее 300 м для предотвращения взаимного влияния воздушных потоков. Инфраструктура должна включать подстанции, системы передачи энергии и здания для обслуживания персонала. Для работы в условиях Арктики применяются морозостойкие материалы, системы защиты от обледенения и удаленный мониторинг, позволяющий быстро реагировать на технические сбои.

Ключевым фактором остается транспортная доступность: необходимо предусмотреть дороги для доставки оборудования и проведения ремонтов. Модульная сборка турбин из заводских элементов снижает затраты и упрощает строительство в сложных климатических условиях. Формула по оценке требуемого количества турбин (формула разработана в опоре на монографию «Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении» за авторством Лукутина Б.В. [29]):

$$N = \frac{E_{\text{сут}} \cdot K_{\text{зап}}}{P_{\text{тур}} \cdot H \cdot \eta} [168]$$

Где, N – количество турбин; $P_{общ}$ – суммарная установленная мощность ВЭС (Вт); $E_{сут}$ – среднесуточное энергопотребление объекта (Вт·ч/сут); $P_{тур}$ – номинальная мощность одной турбины (Вт); H – эквивалентное количество часов работы при номинальной мощности (рассчитывается как КИУМ $\times$ 24 часа); η – КПД системы (обычно 0,7–0,8); $K_{зап}$ – коэффициент запаса для учета сезонности и старения (1,2–1,5).

Солнечные электростанции

Солнечные станции эффективны в период полярного дня и должны размещаться на открытых площадках без затенения. Панели устанавливаются под оптимальным углом к горизонту, с интервалом между рядами не менее пяти метров для исключения взаимного затенения. Инфраструктура включает инверторы, аккумуляторные батареи и здания технического обслуживания.

Применение накопителей энергии позволяет использовать ее излишки в ночное время или зимой. Панели должны быть адаптированы к низким температурам и обледенению с помощью морозостойких материалов и специальных покрытий. Как и для ветроустановок, важна транспортная доступность для обслуживания и замены оборудования в условиях удаленных арктических территорий. Формула по оценке требуемого количества панелей (формула разработана в опоре на монографию «Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении» за авторством Лукутина Б.В. [29]):

$$N = \frac{E_{сут} \cdot K_{зап}}{P_{пан} \cdot H \cdot \eta}$$

Где, N – количество панелей; $P_{общ}$ – суммарная установленная мощность СЭС (Вт); $E_{сут}$ – среднесуточное энергопотребление объекта (Вт·ч/сут); $P_{пан}$ – номинальная мощность одной панели (Вт); H – среднее число солнечных часов в сутки (ч); η – КПД системы (панели + инвертор + потери, обычно 0,7–0,8); $K_{зап}$ – коэффициент запаса для учета сезонности и старения (1,2–1,5).

Системы хранения энергии

Для обеспечения эффективного внедрения возобновляемых источников энергии в систему энергоснабжения, с учетом нестабильности генерации ими энергии, необходимо также включать в структуру объектов также и системы хранения энергии, для ее последующего использования. Данные объекты могут размещаться как на территории электростанций, так и рядом с потребителями для минимизации потерь при транспортировке. Аккумуляторы и другие устройства устанавливаются в утепленных контейнерах или специализированных зданиях.

Распределение объектов по типам населенных пунктов (Рисунок 95)

В крупных городах, в долгосрочной перспективе, как отмечалось ранее, рационально использовать ЯРММ или ПАЭС.

В средних городах, включая Салехард и Анадырь, оптимальны гибридные системы на основе возобновляемых источников энергии с резервными дизельными генераторами и накопителями, стабилизирующими подачу электроэнергии при колебаниях выработки.

Для малых населенных пунктов наиболее рациональны автономные гибридные комплексы, сочетающие ВИЭ и дизельные установки или ТЭЦ как резервный источник, что снижает зависимость от централизованных сетей.

На промышленных объектах выбор технологии определяется масштабом и характером эксплуатации: для крупных производств предпочтительны ПАЭС или ЯРММ, для временных и удаленных площадок – гибридные системы с возобновляемой генерацией и дизельным резервом.

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

Предложенный Арктический специализированный комплекс нацелен на стимулирование социально-экономического развития арктических городов и поселений через создание сети многофункциональных центров. Формируется эффективная модель пространственного взаимодействия комплексов АСК, основанная на принципе "сетевого региона", где вместо одного центра действует система взаимосвязанных специализированных объектов. Модель усиливает специализацию поселений, создает распределенные функциональные связи и повышает устойчивость территориального развития.

Типология арктического специализированного комплекса включает пять компонентов: агропромышленный, логистический, научно-образовательный, медицинский, энергетический. Адаптивность типологии основана на возможности увеличения/уменьшения объема каждого компонента в зависимости от изменений потребностей населенного пункта.

АСК может быть представлен единым объектом или совокупностью отдельно стоящих сооружений. Комплекс, организованный как единый объект, включает в себя от одного до пяти разных функциональных модулей (численность однотипных модулей зависит от потребностей населения конкретного города). В условиях арктических столиц к сетевой системе АСК могут принадлежать отдельно стоящие крупные агрофермы, образовательные учреждения, научно-исследовательские центры, центральные региональные больницы. А также расположенные, как правило, отдельно, крупные энергетические центры на базе ядерных реакторов малой мощности (ЯРММ), гибридные энергосистемы с использованием ВИЭ и традиционных источников энергии.

Автором предложена модульная система единого комплекса АСК, который может употребляться для проектирования объектов площадью от 432 кв.м до 1 728 кв.м. Объем функции определяется в зависимости от потребностей населенного пункта.

В работе представлены архитектурные и инженерные решения для модулей разного масштаба: функциональное зонирование, приемы пространственной организации, оптимальные параметры площадей. Объемно-планировочные схемы разрабатываются только для АСК, представляющего собой единый архитектурный объект.

Конструктивная система АСК базируется на клееных деревянных конструкциях со свайными фундаментами и термостабилизаторами грунта. Расположение модулей на высоте 1,5-2 метра от поверхности земли создает воздушную прослойку, минимизирующую теплообмен с основанием.

Предлагаемая адаптивная типология АСК является лишь первым этапом формирования устойчивости арктических населенных пунктов.

ГЛАВА 3.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ ТИПОЛОГИИ АСК В ГОРОДА РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА И ТАЙМЫРСКОГО ДОЛГАНО-НЕНЕЦКОГО РАЙОНА

3.1 Общая схема размещения комплексов АСК – алгоритм определения состава и мощности комплекса

Предлагаемая концепция Арктического специализированного комплекса рассматривает Арктику не как набор разрозненных пунктов добычи, а как связанную систему городов с общими ограничениями и специфическими ресурсами. Методологическая база опирается на работы Н. Ю. Замятиной и Е. А. Чайки, объединяющие социально-экономический и градостроительный анализ. В качестве ключевых признаков классификации населенных пунктов используются численность населения, функциональное назначение и особенности планировочной структуры. На этой основе выделяются четыре группы поселений:

1. Ключевые опорные населенные пункты (I–II категории). Формируют ядро системы расселения, обладают развитой транспортно-логистической и социальной инфраструктурой, плотной среднеэтажной застройкой и выраженным центром. *Примеры:* город Дудинка, город Норильск, город Надым, город Новый Уренгой, город Салехард, город Ноябрьск.

2. Опорные населенные пункты среднего уровня (III категория). Центры промышленной и административной консолидации; преобладание

индивидуальной жилой застройки с вкраплениями многоквартирных домов. *Примеры:* город Губкинский, село Красноселькуп, город Лабытнанги, село Тазовский, город Тарко-Сале, поселок Тура, город Туруханск, поселок Хатанга.

3. Малые опорные населенные пункты. Малые города с сокращенной или деградирующей инфраструктурой; сохраняют военные или научные функции; компактная низкоэтажная застройка. *Примеры:* поселок Диксон, город Игарка, поселок Караул, город Муравленко, поселок Мыс Каменный, поселок Носок, поселок Снежногорск, поселок Уренгой.

4. Узкоспециализированные населенные пункты (IV категория). Промышленные и перевалочные центры, как правило без развитой городской среды. *Примеры:* поселок Сабетта, поселок Бованенково, поселок Волочанка.

Эффективность АСК достигается только при точной привязке к этой системе: комплекс должен отвечать реальным потребностям конкретного пункта и региональным задачам одновременно. Для определения функционального состава и объема АСК предлагается следующий алгоритм:

Шаг 1. Постановка задачи и сбор исходных данных. Определяется цель внедрения АСК: стабилизация жизнеобеспечения, диверсификация экономики, снижение транспортной изоляции или ускорение технологического развития. Параллельно формируется корпус данных о демографии и занятости, энергобалансе и продовольственной обеспеченности, состоянии медицины и образования, существующих каналах связи и перевозок, климате и мерзлоте, навигационных окнах, а также о земельно-планировочных ограничениях. Это задает исходную рамку решений и допустимые масштабы для внедрения АСК.

Шаг 2. Определение типа поселения. Поселение соотносится с типологией разработанной Н. Ю. Замятиной и Е.А. Чайкой. Результатом становится анализ исходного профиля с указанием сильных и уязвимых сторон, рисков моноспециализации, сезонных разрывов в обеспечении и потенциальных точек роста.

Шаг 3. Оценка условий функционирования. Проводится оценка природных и социально-экономических факторов. Учитываются типы грунтов и глубина сезонного протаивания, ветровые и снеговые нагрузки, температурный режим и продолжительность отопительного периода, повторяемость штормов и туманов, параметры речной или морской навигации. Параллельно анализируются доходы населения, доступность базовых услуг, кадровая база с учетом местных знаний и уровень цифровой связи. На этой стадии фиксируются планировочные ограничения: защита от ветра и метелей, предельные габариты корпусов, трассировка инженерии и санитарные разрывы.

Шаг 4. Оценка потребностей поселения. Оценка текущего состояния проводится по пяти ключевым направлениям АСК: энергетика, агропромышленность, логистика, медицина, наука и образование. Для каждого направления анализируется существующая обеспеченность, выявляется дефицит или профицит мощностей и формируется прогноз развития на ближайшие пять–десять лет. Цель данного этапа – интегрировать локальный спрос, региональные функции и технологические возможности, исключая избыточные или дублирующие решения и обеспечивая сбалансированное планирование инфраструктуры.

Шаг 5. Расчет объема функций. Объемы определяются в привязке к контексту. В населенных пунктах с малым постоянным населением, но значительной долей вахтовых работников, мощности агропромышленного блока считаются по нормам потребления с учетом сезонных пиков. Научно-образовательный модуль соотносится с реальными исследовательскими задачами территории и возможностями партнерств. Модуль медицины опирается на расчет ожидаемой обращаемости и потребности в телемедицине и дневном пребывании. Логистический компонент определяется грузопотоками, требованиями «последней мили» и целевым парком беспилотных аппаратов. Энергетика рассчитывается последней, чтобы покрыть суммарную нагрузку всех выбранных функций с требуемым резервированием и автономией.

Шаг 6. Сборка модульной конфигурации. На основе рассчитанных объемов формируется пространственная схема комплекса. Корпуса komponуются из типовых двухэтажных и трехэтажных секций. Планировочная логика обеспечивает разнесение городских, технологических и воздушных маршрутов, разделение «теплых» и «холодных» цепочек, размещение узлов инженерного присоединения на первом этаже и вынос основных вентиляционных и электротехнических помещений на чердачный уровень.

Шаг 7. Выходные материалы. Готовится ТЗ, достаточное для принятия архитектурного решения и запуска проектирования. В него входят перечень и мощность компонентов АСК, общее видение развития, схема пространственной организации; техническое задание на проектирование; дорожная карта очередей реализации с ориентировочными бюджетами и источниками; регламент мониторинга с набором контрольных показателей и периодичностью пересмотра.

Организационно-управленческая модель. Эксплуатация комплекса строится на едином операторе, который отвечает за диспетчеризацию энергии, связи и воздушной логистики, техническую эксплуатацию и взаимодействие с городскими службами. Экономическая устойчивость достигается диверсификацией доходов: от услуг распределения и доставки до

образовательных программ, лабораторных исследований и выпуска тепличной продукции. Партнерства с университетами, отраслевыми и коммунальными организациями обеспечивают стабильную загрузку мощностей и устойчивый сбыт. Риски снижаются за счет заводской готовности модулей и крупноузлового монтажа в короткое летнее окно. Далее рассмотрим сценарии внедрения АСК в города различных типов.

Сценарий интеграции АСК

Предлагаемый сценарий развития Арктического специализированного комплекса трактует его не как разовый объект, а как механизм управляемой трансформации городской среды.

На первом этапе АСК вводится в формате «базового ядра», включающего минимально достаточный набор функций для стабилизации качества жизни и экономической активности. Если говорить об архитектурном смысле, «ядро» реализуется в рамках метаболистской и структурологической логики, что дает возможности для трансформации и роста или, напротив, сжатия объектов в процессе жизненного цикла.

Второй этап включает в себя «экстенсивный рост»: по мере появления спроса и кадровых ресурсов происходит последовательное наращивание площадей и специализаций. Возникает так называемый «эффект сети», который заключается в обмене данными, совместном использовании инженерных мощностей, что снижает удельные затраты и повышает надежность.

Третий этап – это «специализация и консолидация». На этой стадии отдельные компоненты достигают порогов зрелости, при которых их работа становится устойчивой вне рамок комплексного ядра. Формальные критерии такой зрелости включают в себя стабильную загрузку мощностей (к примеру, коэффициент использования производственных площадей в агропромышленном компоненте или пропускной способности логистических линий), уровень окупаемости эксплуатационных затрат, устойчивость кадрового ядра, надежность энергоснабжения и связи, а кроме того, внешнюю востребованность услуг (медицинских, образовательных, исследовательских). Достигнув этих значений, компоненты переходят в статус самостоятельных городских подсистем: научно-образовательных кампусов, отраслевых логистических узлов, медицинских центров и агропарков. При этом их правовой и хозяйственный режимы преобразуются. Так, из «капсул» в составе АСК они становятся «якорями» городской экономики. Это дает им право получать собственные бюджеты, регламенты и программы развития.

На четвертом этапе, который называется «перереформирование роли», происходит процесс, при котором по мере укрупнения и увеличения

самостоятельности городских подсистем, комплекс как целое меняет назначение. В крупных городах он может сохраняться как инфраструктурная надстройка. В то время, как в малых городах и новых пунктах освоения АСК выступает как инструмент быстрого развертывания. Так, типовые корпуса доставляются в высокой заводской готовности, затем их собирают в короткое летнее окно. Стоит отметить, что набор функций подбирают по локальному профилю. Таким образом, «зрелые» города получают отраслевые центры с АСК-надстройкой, а развивающиеся – готовую платформу для ускоренного роста.

Реализация указанной выше последовательности обеспечивает управляемость жизненного цикла АСК. На организационном уровне функции поддержки возложены на единого оператора. В перечень ответственности входит модульная архитектура, стандарты проектирования с учетом полярного климата, цифровая интеграция (включая единые базы данных, мониторинг конструкций и грунтов, планирование полетов, учет энергетических нагрузок), а также за «портфельный» подход к финансированию. Важно, что те функции, которые демонстрируют убыточность на начальном этапе, получают субсидии за счет устойчивых направлений деятельности. Принцип многоуровневой связности закреплён на уровне градостроительства: внутренняя связность корпусов, межрайонные маршруты, межпоселенческие коридоры и внешние узлы СМП.

3.2 Разработка концепции АСК для поселка-изолята на примере пгт Диксон **Анализ поселка Диксон: функциональная роль и современное состояние**

Диксон — это важный арктический населенный пункт, исторически связанный с развитием Северного морского пути (СМП). Он расположен на западной оконечности полуострова Таймыр и одноименном острове в Карском море. Диксон был основан 7 сентября 1915 года в качестве радиостанции для гидрографической экспедиции Вилькицкого, и он быстро приобрел стратегическое значение [55, 142].

После создания Главного управления СМП, в 1930-е годы Диксон стал ключевым логистическим узлом Арктики. К 1934 году здесь действовал порт с угольной бункеровочной базой, обслуживавший до 70 судов за навигацию, и радиоцентр, обеспечивавший связь и метеонаблюдение [19].

После войны Диксон развивался как многофункциональный центр, куда входили геологоразведка, рыбозавод, гидрографическая база и крупнейшая в регионе больница. В 1980-х годах численность населения достигала 5 тыс. человек, и поселок выполнял опорную функцию в освоении Таймыра. После распада СССР население резко сократилось: и в 2021 году упало до 319 человек. Вместе с тем, в порту сохранились восемь причалов с глубинами до 15 метров. Однако износ инфраструктуры на данный момент превышает 70%. Более того,

деградировала и социальная сфера. Например, в школе с проектной вместимостью 504 места обучались лишь 37 учеников, а больница была преобразована в фельдшерский пункт. Здесь среднегодовая температура $-11,4^{\circ}\text{C}$, полярная ночь длится 83 дня, и суровые климатические условия ускоряют износ жилого фонда.

С 2020-х годов предпринимаются попытки восстановить статуса поселка Диксон. К примеру, корпорация AEON строит угольный терминал «Енисей» мощностью 7 млн тонн в год для экспорта антрацита с Сырадасайского месторождения (запасы – 5,7 млрд тонн). Также идет работа над мастер-планом, который предусматривает аварийно-спасательный центр, модернизацию порта и развитие туризма к 2035 году. Однако стоит отметить, что в 2025 году из запланированного грузооборота в 40 миллионов тонн было достигнуто менее 10% - реализация проекта идет со значительным отставанием.

На примере поселка Диксон можно увидеть типичную для постсоветской Арктики динамику, которая включает в себя утрату транспортных, научных и оборонных функций при частичной компенсации за счет сырьевых проектов. Для сохранения поселком статуса северного форпоста России необходимо скоординировать реализацию государственных программ развития СМП с частными инвестициями в энергетический сектор [40].

Взаимосвязи поселка Диксон с опорными пунктами Арктической зоны

Поселок Диксон, включенный в трассу СМП, встроен в систему межпоселенческих логистических, ресурсных и административных связей. Его взаимодействие с внешними центрами освоение осуществляется морским, воздушным транспортом. Данные связи в первую очередь поддерживают систему энергоснабжения, медицинского обслуживания и продовольственного снабжения.

Медицинская инфраструктура не только ограничена амбулаторией, оказывающей только первичную помощь, но и находится в состоянии близком к аварийному. Если возникает такая необходимость, сложные случаи, как правило, направляют в Норильск или Дудинку. Стоит отметить, что в условиях полярной ночи и сурового климата, подобная транспортировка существенно затруднена. В основе Федеральной программы развития СМП прописано создание аварийно-спасательных центров МЧС в Певеке и Тикси, что должно частично компенсировать дефицит медицинских услуг.

Энергоснабжение поселка осуществляется дизельной электростанцией мощностью 6 МВт с ежегодной потребностью в топливе 2,8 тыс. тонн, поставляемом через Норильский топливно-энергетический комплекс.

Основной поток продовольствия поступает в летнюю навигацию через Дудинку, куда продукты доставляются из Красноярска авиатранспортом. Зимой снабжение обеспечивается через Мурманск, выполняющий роль

распределительного узла для арктических поселений. Высокие затраты на транспортировку продуктов питания делает их недоступными для населения.

Авиационное сообщение поддерживается рейсами в Норильск 2–3 раза в неделю. Морской порт, несмотря на высокие показатели износа, сохраняет свои транзитные функции и участвует в поставке грузов в Хатангу и Тикси. Стоит отметить, что в рамках национального проекта «Арктика» предполагается модернизация портовой инфраструктуры Диксона, и создание причалов для приема грузов водоизмещением до 50 тысяч тонн.

Таким образом Диксон жизненно зависит от собственных связей с Норильском, Дудинкой и Мурманском. Перспективы его дальнейшего развития напрямую связаны с развитием и востребованностью СМП, инвестициями в создание и развитие транспортно-логистической инфраструктуры.

Планировочная структура и пространственные вызовы поселка Диксон

Диксон представляет собой уникальный пример арктического населенного пункта с биполярной планировочной структурой. Поселок разделен проливом на островную и материковую части. Первоначально развитие началось именно с островной части, здесь в 1920-х разместились радиостанция и портовые сооружения. Однако, с 1930-х годов по мере развития СМП развитие сместилось на материк. Здесь сформировался портово-логистический кластер с жилыми кварталами и административной инфраструктурой. Остров, в свою очередь, сохранил функции метеоцентра и военно-стратегической базы. Однако уже в 2020 году, по мере деградации инфраструктуры, островная зона практически перестала эксплуатироваться.

Пика развития Диксон достиг в 1980-х годах. Население тогда достигло 5 тысяч человек. Были введены в эксплуатацию объекты социальной инфраструктуры: больница, школа, Дом культуры. На сегодняшний день данные объекты практически не эксплуатируются или пришли в упадок. Практически все население поселка заняты на портовом терминале «Енисей» и Сырадасайском месторождении. Поселок и по сей день сохраняет военно-стратегическое значение и роль перевалочной базы СМП.

Ключевым вызовом для развития города является его фактическое исчезновение по мере деградации инфраструктуры. Жилые кварталы на острове на сегодняшний день заброшены, а 40% жилого фонда на материке признаны аварийными. Помимо этого внимания заслуживает значительный экологический ущерб, накопленный на территории пгт. Около 15% поселка занимают промышленные отходы и заброшенные объекты и предприятия.

Таким образом, пространственная модель Диксона олицетворяет противоречие между советской моделью постоянного расселения и современной

моделью «вахтового» мобильного освоения Арктики. Будущее поселка зависит от интеграции новых технологических решений и развития СМП.

В данном контексте необходимо отметить концептуальное предложение М. В. Шубенкова и О. М. Благодетелевой, в рамках которого предлагалось создание инновационного арктического поселения на базе Диксона. Она основана на принципах вахтовой организации труда и создании криптоклиматической системы жизнеобеспечения, обеспечивающей автономную и защищенную среду проживания [142].

Проект предполагает трансформацию Диксона в многофункциональный арктический форпост, объединяющий четыре ключевых направления: центр инфраструктурной поддержки Северного морского пути с мониторингом гидрометеорологических условий и аварийно-спасательными службами; региональный научно-исследовательский центр федерального значения; военно-стратегический пункт обеспечения национальной безопасности; координационный центр освоения шельфовых ресурсов Карского моря и минерально-сырьевой базы Таймыра.

Архитектурно-планировочная организация поселения строится на создании искусственного микроклимата и объединении всех элементов в единую криптоклиматическую систему. Пространственная структура формируется вдоль эстакадной транспортно-коммуникационной магистрали с челночным рельсовым транспортом, вокруг которой располагаются четыре кластера: общественный, метеорологический, научный и гостиничный.

План развития поселка Диксон и интеграция в его структуру компонентов АСК

Для успешной трансформации поселка Диксон необходимо формирование стратегического видения, определяющего его будущую роль в системе освоения Арктической зоны. Если в прошлом Диксон выполнял функции логистического и научного центра, то в современных условиях эти направления утратили актуальность. Однако его выгодное расположение вдоль СМП создает предпосылки для восстановления значимости населенного пункта через интеграцию современных подходов.

Ключевой проблемой предыдущих инициатив была их опора на масштабные инвестиции и капиталоемкие инфраструктурные решения, эффективность которых в условиях нестабильной демографии и ограниченного спроса остается сомнительной. В отличие от таких сценариев, концепция АСК предлагает модульную поэтапную интеграцию функциональных элементов в существующую ткань поселка, что снижает риски, связанные с отсутствием эффекта масштаба, и

формирует основу для устойчивого развития. В рамках данной концепции Диксон определяется как научно-логистический центр арктического побережья.

Предлагается реализовать АСК в Диксоне как единый, сразу вводимый в действие многофункциональный объект на материковой части поселка в районе ул. Таяна, 10А, где в единой планировочной и инженерной оболочке формируются научно-образовательный, агропромышленный и медицинский компоненты; исключение составляют логистический и энергетический компоненты, которые целесообразно разворачивать поэтапно с наращиванием мощности в зависимости от спроса и сезонной доступности (Рисунок 96, Рисунок 97, Рисунок 98).

Ориентация АСК разработана с учётом аэроклиматических факторов территории. В частности, объект ориентирован вдоль направления преобладающего ветра (южное направление). Такое расположение позволяет обеспечить эффективный снегоперенос на территории объекта и препятствует снегоотложениям на территории участка (Рисунок 99). Размещение объекта выполнено с отступом 5 метров от красной линии.

Входные группы комплекса дифференцированы. Для каждого функционального компонента предусмотрена индивидуальная входная группа, а также единый вход в зоне коммуникационного блока, объединяющего медицинский и научно-образовательный компоненты.

Все модули АСК спроектированы с применением свайного основания с устройством продуваемого подполья высотой 2 метра. Данное техническое решение обеспечивает сохранение многолетней мерзлоты грунтов основания (I принцип проектирования на многолетнемерзлых грунтах), минимизируя тепловое воздействия со стороны объекта на них.

Медицинский компонент (Рисунок 100, Рисунок 101, Рисунок 102) формируется на основе типологической модели «Малый медицинский центр», функциональная программа которого включает зоны первичного приема, диагностики, отделение неотложной помощи и узел телемедицинской связи. Объемно-пространственная структура объекта представляет собой двухэтажное здание, образованное пятисекционной модульной конфигурацией. Для обеспечения оперативной и безопасной эвакуации пациентов в условиях экстремального климата предусмотрена специализированная входная группа в уровне подполья здания, позволяющая осуществлять экстренную транспортировку больных.

Функциональную иерархию в системе Арктического специализированного комплекса (АСК) предлагается выстраивать с интеграцией в региональную систему здравоохранения, где ключевым узлом выступает Норильская

межрайонная больница. Подобная централизация обеспечивает координацию специализированной помощи, оптимизацию маршрутов санитарной авиации и формирование единого цифрового контура медицинского обслуживания для удаленных поселений Таймыра

$$S = 500 \times 0,9 = 450 \text{ м}^2$$

Расчетная площадь объекта для поселка Диксон, определенная по методике, изложенной в параграфе 2.5, составляет 500 кв. м. Однако, принимая во внимание прогнозируемый демографический рост (на фоне развития портовой инфраструктуры и привлечения новых жителей) и усиление стратегического значения поселка как опорного пункта СМП, проектная площадь увеличена до 1 080 кв. м (против базовых 648 кв. м для данного типа модуля). Дополнительный объем площадей функционально распределен для расширения номенклатуры врачебных кабинетов, развития сектора телемедицинских консультаций и увеличения коечного фонда палат временного пребывания пациентов, обеспечивая тем самым адаптивность инфраструктуры к перспективным нагрузкам.

Агропромышленный компонент (Рисунок 100, Рисунок 101, Рисунок 102) Агропромышленный блок формируется на базе тепличного комплекса с применением гидропонных технологий выращивания. Объемно-пространственная структура объекта представляет собой трехэтажное здание, образованное пятисекционной модульной конфигурацией площадью 2 160 кв.м. Данный блок размещен обособленно относительно медицинского и научно-образовательного секторов, однако функционально интегрирован в общую систему комплекса посредством утепленной коммуникационной галереи. Логистические операции, включая погрузку и разгрузку продукции, осуществляются через специализированный транспортный узел, организованный в уровне вентилируемого подполья, что минимизирует воздействие атмосферных факторов. Детальный анализ архитектурно-планировочных решений для объектов данной типологии представлен в параграфе 2.2.

Данный модуль может вводиться поэтапно, по мере роста востребованности и значимости Диксона как логистического центра на побережье Северного Ледовитого океана. В рамках диссертационного исследования расчет проведен с учетом перспективного повышения значимости поселка городского типа, необходимости обеспечения снабжением не только самого Диксона, но и прилегающих вахтовых поселков, а также судов, следующих по трассе Северного морского пути.

Стратегической целью создания модуля является локализация производства свежей растительной продукции для нужд поселка. При этом роль основного

регионального агропромышленного центра сохраняется за городом Дудинка, географическое положение и логистическая инфраструктура которого позволяют обеспечивать регулярные поставки в Диксон

Расчет площади выполнялся по формуле, приведенной в параграфе 2.2, с использованием следующих исходных значений: $C = 100$ кг/чел·год; $\alpha = 0.873$; $\varphi = 1.10$; $Y = 30$ кг/кв.м·год; $u = 0.80$; $\eta = 0.60$; $Z = 1$.

$$S = \frac{N \cdot C}{Y \cdot \eta \cdot Z} = \frac{300 \cdot 100}{30 \cdot 0.60 \cdot 1} = \frac{28800}{14.4} \approx 1700 \text{ кв. м.}$$

Научно-образовательный компонент (Рисунок 100, Рисунок 101, Рисунок 102) формируется на основе типологической модели «средний научный модуль» ориентировочной площадью 1 728 кв. м. Объемно-пространственная структура объекта представляет собой 8-секционную конфигурацию, линейно расположенную относительно медицинского блока и интегрированную с ним в единый функциональный контур через коммуникационный узел.

Планировочная организация здания решена по коридорной схеме. Входная группа, локализованная в торцевой части модуля, оборудована тройным тамбуром для минимизации теплопотерь. Вертикальные коммуникации, представленные лестничными клетками, размещены в торцевых зонах, обеспечивая нормативную эвакуацию. Состав и расположение помещений данного типа объектов рассматривалась в рамках параграфа.

Интеграция комплекса в систему региональных и федеральных научно-образовательных сетей (университеты, НИИ) создает условия для непрерывного обмена данными и организации выездных полевых практик для студентов и аспирантов.

Логистический компонент рекомендуется размещать в портовой зоне и вводить поэтапно: на первом шаге – эксплуатация наземной площадки для крупных беспилотных летательных аппаратов, складские помещения для хранения технического оборудования и контейнеров, малый логистический центр в качестве административного и операционного центра площадью 864 кв.м; далее при условии роста значимости Диксона как логистического центра на пути следования СМП – расширение до распределительного центра площадью порядка 2 592 кв.м. с ангаром предстартовой подготовки, диспетчеризацией движения, кровельными площадками для малых и средних аппаратов. Логистический компонент системы АСК предлагается интегрировать с ключевым транспортно-логистическим центром Таймыра – городом Дудинка, помимо этого Диксон может участвовать в снабжении ряда вахтовых площадок по добыче полезных ископаемых, таких как Порт «Бухта Север» (40 км от Диксона), Сырадасайское

месторождение (100 км от Диксона), а также участвовать в снабжении судов проходящих вдоль СМП.

Размещение объекта запроектировано за складом ГСМ, что обеспечивает прямую связь с существующей портовой инфраструктурой и оптимизирует процессы мультимодальной перевалки грузов.

Проектное решение базируется на принципе модульности и этапности развития, что соответствует концепции адаптивного освоения арктических территорий. Планировочная структура учитывает формулу расчета площади распределительного центра, разработанную в параграфе 2.3 диссертационного исследования.

$$S = Q_{\text{сут}} \times S_{\text{уд}} \times K_{\text{всп}} = 150 \times 2 \times 3,88 \approx 1164 \text{ кв.м}$$

где, $S_{\text{общ}}$ – общая площадь дронапорта (м^2); $Q_{\text{сут}}$ – расчетный суточный грузопоток (количество посылок, рейсов или килограмм в сутки), в контексте Диксона принимается за 150 грузовых мест в сутки; $S_{\text{уд}}$ – удельная норма площади на единицу груза/посылку ($\text{м}^2/\text{ед.}$), принимается за 2 кв.м. Включает зону посадки дрона, зону обработки и временного хранения; $K_{\text{всп}}$ – коэффициент вспомогательных площадей (проходы, административные помещения, ИТ-серверные), в контексте Диксона принимается за 3,88

На начальном этапе, при текущем грузопотоке порядка 150 мест/сутки, функциональная программа включает:

- Малый логистический центр площадью 864 м^2 – административно-операционное ядро комплекса, обеспечивающее диспетчеризацию, контроль грузопотоков и управление беспилотными системами доставки;
- Наземная площадка для посадки и взлета крупных беспилотных летательных аппаратов площадью 300 м^2 с учетом требований СП 56.13330.2021 и технического регламента 511.1325800.2022;
- Складские модули для хранения технического оборудования, запасных частей и контейнеров с грузами, рассчитанные на буферное хранение 48–72 часа.

При достижении расчетного грузопотока 2 000 кг/сутки и возрастании роли Диксона как узлового пункта СМП планируется развертывание полнофункционального распределительного центра. Расширенная программа включает:

- Ангар технического обслуживания беспилотных аппаратов различных классов;
- Диспетчерский комплекс с системой автоматизированного управления воздушным движением в радиусе действия центра;

- Кровельные посадочные площадки для малых и средних БПЛА, интегрированные в объемно-пространственную структуру здания;
- Расширенную складскую зону.

Архитектурное решение второго этапа предполагает горизонтальное линейное развитие комплекса с организацией посадочных площадок на эксплуатируемой кровле, что минимизирует занимаемую территорию и оптимизирует логистические процессы.

Энергетический компонент разворачивается по принципу гибридной децентрализованной системы, интегрируемой поэтапно с учетом градостроительной специфики Диксона и динамики энергопотребления. Архитектурно-техническое решение базируется на концепции выносного контура, минимизирующего энергетические потери и обеспечивающего резервирование критически значимых объектов инфраструктуры.

Первый этап предполагает оптимизацию существующей системы энергоснабжения с сохранением действующей дизельной электростанции в качестве базовой генерирующей мощности. Параллельно вводятся следующие компоненты:

1. Пилотная ветроэнергетическая установка мощностью 1,5–2 МВт, размещаемая на возвышенных участках материковой части с учетом преобладающих ветровых режимов и минимизации турбулентности от застройки.
2. Система накопления энергии (батареи накопители) емкостью, обеспечивающей сглаживание суточных пиков нагрузки и компенсацию флуктуаций ветрогенерации.
3. Интеллектуальная система диспетчеризации, обеспечивающая динамическое распределение нагрузок между дизельной и возобновляемой генерацией.

Второй этап, реализуемый при росте энергопотребления вследствие развертывания полного функционального профиля АСК, включает наращивание ветровой мощности до 10 МВт с организацией распределенной сети ветроустановок. Расширяется система резервирования для обеспечения бесперебойного энергоснабжения социально значимых объектов: медицинского компонента, агропромышленного модуля с круглогодичным циклом вегетации, логистического центра с диспетчеризацией. Оценка мощности производилась при помощи формулы, приведенной в параграфе 2.6.

Пространственная схема интеграции опирается на биполярную структуру Диксона: на материковой части формируется компактное ядро комплекса с минимальными наружными коммуникациями, совмещающее научно-образовательный, агропромышленный и медицинский блоки; в портовой зоне

размещается логистический узел с наземной площадкой для средних аппаратов и возможностью расширения; островная часть используется как площадка для малых научных модулей экологического и климатического мониторинга с автономной связью.

В результате Диксон получает не только устойчивое многофункциональное ядро, но и основу для постепенного расширения и трансформации своего функционального профиля в контексте освоения Арктики и развития Северного морского пути. Базовые элементы – медицина, продовольственная безопасность, научная инфраструктура и новые рабочие места – формируют каркас для будущего роста. При этом логистический и энергетический контуры могут масштабироваться поэтапно, без нарушения целостности архитектурно-планировочной структуры и с сохранением устойчивости всей системы.

3.3 Разработка концепции АСК для городов субпериферии на примере города Дудинка

Анализ города Дудинка: функциональная роль и современное состояние

Дудинка, основанная в 1667 году как зимовье Дудино, изначально выполняла функции административного и фискального центра в системе освоения Сибири, обеспечивая сбор ясака с коренных народов Таймыра – ненцев, энцев, долган и нганасан. Стратегическое положение на правом берегу Енисея сделало ее ключевым узлом на маршрутах землепроходцев и арктических экспедиций, включая исследования Челюскина, Лаптева и Нансена.

К XIX веку Дудинка превратилась в региональный торговый центр, а в 1930-е годы – в плацдарм индустриализации Крайнего Севера. Строительство Норильского горно-металлургического комбината и морского порта (1936), а также железной дороги Дудинка–Норильск (1937) закрепило ее положение в качестве основного логистического узла региона. В 1951 году Дудинка получила статус города, основное внимание сосредоточилось на управлении морским портом и обеспечении Северного морского пути [139].

Исторически город сочетал четыре функции: административно-фискальную, торгово-транзитную, научно-экспедиционную и индустриально-логистическую. Сегодня Дудинка остается единственным в мире портом, ежегодно затапливаемым при ледоходе и работающим в условиях вечной мерзлоты, обрабатывая до 2 млн тонн грузов в год.

С 2023 года Дудинка включена в перечень опорных пунктов Арктической зоны РФ, что подчеркивает ее стратегический статус [3]. Население стабилизировалось на уровне 20–21 тыс. человек. Экономика опирается на порт и транспортную связку с Норильском. Железнодорожная линия Дудинка–Норильск

остается ведомственной и обеспечивает перевозки «Норникеля», однако пассажирское сообщение прекращено с конца XX века [67].

Инфраструктура города адаптирована к экстремальному климату: инженерные коммуникации проходят по поверхности, а фасады зданий окрашены в яркие цвета для компенсации сенсорного дефицита в условиях полярной ночи.

В рамках мастер-плана агломерации Норильск–Дудинка до 2035 года [85] планируется модернизация транспортной системы, восстановление пассажирского сообщения с Норильском и привлечение инвестиций до 2,8 трлн рублей. Экологические инициативы нацелены на ликвидацию последствий промышленного загрязнения и развитие возобновляемой энергетики.

Взаимосвязи города Дудинка с опорными пунктами Арктической зоны

Дудинка выступает ключевым транспортным узлом Таймыра, интегрированным в систему межпоселенческих связей Крайнего Севера. Основные грузопотоки направлены на Норильск, с которым город соединен железной дорогой протяженностью 96 км, построенной в 1937 году. Эта магистраль обеспечивает до 78% грузооборота Норильского промышленного района, включая экспорт никеля, меди и палладия через морской порт Дудинки, принимающий суда дедвейтом до 20 тыс. тонн [85].

Энергоснабжение города на 92% обеспечивается ТЭЦ Норильска через линию электропередачи 110 кВ; котельные в Дудинке покрывают лишь часть потребностей, что создает риски при авариях на магистралях в условиях экстремальных холодов до -55°C [130].

Медицинская инфраструктура организована по радиально-узловому принципу с центром в Дудинской районной больнице, обслуживающей 12 отдаленных поселков. Эвакуация тяжелых больных в Красноярск (при условии отсутствия возможности лечения в Норильске) осуществляется через аэропорт Алыкель (Норильск) и занимает до 14 часов (при условии транспортировки по маршруту поселок – Дудинка – Алыкель – Красноярск) [90].

Продовольственное снабжение зависит от поставок по СМП из Архангельска и Мурманска (июль–октябрь) с последующей перегрузкой в порту Дудинки и доставкой в Норильск и малые поселения автозимниками. Локальное производство продуктов ограничено.

Ключевыми инфраструктурными партнерами Дудинки являются Диксон (резервный порт), Игарка (поставки дровяного топлива) и Красноярск (подготовка кадров и ремонт техники). Сезонность транспортной доступности требует формирования запасов топлива и продовольствия на 8–9 месяцев, что увеличивает логистические издержки по сравнению с южными регионами.

Планировочная структура и пространственные вызовы города Дудинка

Дудинка имеет линейную планировочную структуру, сформированную как природными условиями, так и хозяйственной специализацией. Развитие города исторически ориентировано вдоль правого берега Енисея – от промышленно-складской зоны на северо-западе до жилых кварталов и общественных центров, сгруппированных в три основных узла: исторический центр, микрорайоны 1970–1980-х годов и район новой застройки.

Ключевой вызов пространственного развития заключается в противоречии между линейной схемой и необходимостью компактной застройки, обусловленной суровым арктическим климатом. Протяженные инженерные сети – до 48 км аварийных водоводов и 14 км изношенных канализационных труб [33]– увеличивают эксплуатационные расходы на 23–27% по сравнению с радиально-кольцевыми системами. Площадь города, пригодная для строительства, ограничена, что, в свою очередь, усиливает конфликт в развитии промышленных и жилых зон. Так, портовая инфраструктура, включая инженерные и складские зоны, на сегодняшний день занимает более половины территории всего города.

Развитие города Дудинка и интеграция в ее структуру компонентов АСК

Дудинка представляет собой уникальный пример города АЗРФ с достаточно диверсифицированной экономической структурой и высокой значимостью в общей системе расселения. Исходя из этого, АСК рассматривается в большей степени как инструмент усиления потенциала города. Комплекс должен не только поддержать и укрепить существующие преимущества города, но и создать его новую специализацию исходя из тех возможностей, которыми город располагает, и того запроса, который существует в общей системе расселения. Так, благодаря существующей специализации транспортно-логистического центра и выгодному географическому расположению Дудинка может стать стратегическим центром агропромышленного производства Таймыра, а также базой для научных экспедиций по региону.

Город Дудинка, являясь ключевым транспортным узлом Таймыра и морскими воротами Норильской агломерации, обладает сформированной логистической базой, однако сохраняет зависимость от внешних поставок и монофункциональный профиль. В контексте реализации мастер-плана развития Норильска и общего роста стратегической значимости региона к качеству городской среды предъявляются повышенные требования.

В связи с этим, архитектурная стратегия интеграции АСК в ткань Дудинки имеет свою специфику. Учитывая статус города как центра системы расселения Таймыра, объекты АСК в рамках данного исследования предлагается реализовывать не как утилитарные типовые проекты, а как уникальные

архитектурные доминанты. Данные сооружения проектируются по индивидуальным сценариям, но сохраняют преемственность эстетического языка и формообразования общей концепции АСК, формируя единый, узнаваемый образ арктической инфраструктуры будущего.

Городская роль Дудинки задает две опорные зоны интеграции. Первая – учебно-производственное ядро в районе ул. Щорса, 33, где формируется связка агропромышленного блока и научно-образовательного модуля.

Агропромышленный компонент проектируется в формате трех отдельно стоящих ферм общей площадью около 30 тыс. кв.м., вводимых в эксплуатацию поэтапно (Рисунок 104). Производственные линии обеспечивают круглогодичное выращивание листовых и плодовых культур, гарантируя стабильное продовольственное снабжение региона.

Расположение объектов определено по преобладающему направлению ветра (восточное направление) в г. Дудинке. Это решает две задачи: минимизирует снегоперенос и формирует защищенную общественную площадь.

Архитектурное решение фасадов повторяет гладкие поверхности модульного АСК. Цветовое кодирование фасадов создает узнаваемую городскую доминанту, а крупные навигационные обозначения на торцах упрощают ориентирование.

Входная группа размещена на уровне земли и остается неотапливаемой – это предотвращает таяние грунтов основания. Нулевой этаж разделен на две зоны: общественную (для взаимодействия с жителями) и складскую (для хранения продукции и материалов).

Площадь агропромышленного компонента рассчитана исходя из его основной функции – обеспечения продовольственной безопасности малых населенных пунктов Таймыра круглый год. Методика расчета представлена в параграфе 2.2.

Научно-образовательный компонент представлен средним научным модулем, выполненным в формате трехэтажного корпуса площадью примерно 1800 кв.м. Он служит базой для научных экспедиций по Таймыру и функционально связан с научно-образовательным центром в Норильске.

Архитектурно объект решен в стилистике, схожей с агропромышленной фермой, при этом обладает собственной цветовой кодировкой. Здание органично вписывается в генеральный план комплекса, завершая композиционную логику, заданную агропромышленным компонентом. Корпус ориентирован с учетом преобладающего направления ветрового потока.

Вторая опорная зона – портовый пояс, где логично концентрировать **логистический компонент** (Рисунок 103). Проектом предусмотрено строительство распределительного центра в модульном исполнении:

двухэтажный пятисекционный модуль площадью 1 080 кв. м и дополнительные складские мощности общей площадью 3 000 кв. м.

Необходимо отметить, что увеличение общего объема складских мощностей, учитывая их значительную представленность в портовой зоне Дудинки на сегодняшний день, представляется избыточным. Вместе с тем, проектом заложены специализированные складские мощности для хранения грузов с повышенными требованиями к условиям хранения, в частности, медицинского, инженерного и технологического оборудования. Оценка мощности производилась в опоре на формулу, приведенную в параграфе 2.3.

Такое размещение позволяет замкнуть логистическую цепочку «Севморпуть – Дудинка – соседние населенные пункты Таймыра», разгрузить уличную сеть, обеспечить регулярную доставку скоропортящейся продукции из теплиц и создать быстрый канал почтово-грузовой связи с поселками, находящимися на расстоянии до 1000 км от города. Помимо входящего потока продовольствия, инфраструктура рассчитана на обратную загрузку: аккумуляцию и первичную переработку местной продукции (оленина, рыба, дикоросы), поступающей из удаленных поселков, находящихся в радиусе до 1000 км.

Энергетический компонент разворачивается как выносной стабилизирующий контур мощностью 20 МВт, способный снизить зависимость города от внешнего энергоснабжения и поддержать непрерывный режим научных, аграрных и логистических процессов. Рационально использовать северные складские территории для установки ветроэнергетических установок, аккумуляторного накопителя и распределительного пункта, работающего в связке с действующей генерацией. Такая микросеть обеспечивает сглаживание пиков нагрузки, позволяет создавать резерв на 48–72 часа для социально значимых объектов города. Оценка требуемой мощности производилась при помощи формулы, приведенной в параграфе 2.6.

Таким образом, АСК рассматривается не только как инструмент функциональной диверсификации, но и как механизм усиления роли города в системе арктического расселения. Опираясь на существующую логистическую инфраструктуру, развитие агропромышленного производства и создание базы научных экспедиций, Дудинка постепенно выходит за рамки порта снабжения ресурсного региона, превращаясь в многофункциональный центр регионального значения.

3.4 Разработка концепции АСК для Арктических столиц на примере города Новый Уренгой

Анализ города Новый Уренгой: функциональная роль и современное состояние

Новый Уренгой, расположенный в Ямало-Ненецком автономном округе, – один из крупнейших арктических городов России, созданный для освоения углеводородных ресурсов. Основанный 18 августа 1975 года около Уренгойского месторождения, крупнейшего в мире по запасам природного газа, город изначально развивался как поселок газовиков. Его название, происходящее от ненецкого «лысый холм» или «старица и остров», отражает геоморфологию территории и связь с культурой коренных народов Севера [147].

Развитие инфраструктуры опиралось на наследие Трансполярной магистрали Салехард–Игарка (1949–1953), строившейся силами ГУЛАГа и позднее использованной при геологоразведке. В 1966 году здесь пробурили первую скважину, подтвердившую огромные запасы газа, а в 1978 году созданное производственное объединение «Уренгойгаздобыча» обеспечило выход СССР на мировой газовый рынок. Уже в 1984 году по трубопроводу «Уренгой – Помары – Ужгород» начались экспортные поставки газа в Западную Европу.

К 1980-м годам Новый Уренгой превратился в многофункциональный центр, обеспечивавший 44% добычи газа в СССР. Появились железнодорожная линия (1982), аэропорт (1975), активно развивалась социальная инфраструктура, а население к 1989 году достигло 93 тыс. человек.

На сегодняшний день Новый Уренгой сохраняет статус «газовой столицы России», выполняя роль центра освоения газовых месторождений Ямала, и обеспечивающего значительную долю добычи газа в России [121]. Благодаря значительным инвестициям, а также экономической активности, город, в отличие от многих городов Арктики демонстрирует положительную динамику миграции, регулярно привлекает высоко квалифицированных специалистов нефтегазового сектора. Население города на состояние 2025 года стабилизировалось на уровне 112 тысяч человек.

В городе активно реализуются инфраструктурные и городские проекты. Так в 2022 году был введен в эксплуатацию новый аэропорт с прямыми рейсами в 12 городов России. На стадии реализации находится крупный многофункциональный общественный центр «Уренгой», крупный спортивный и культурный центры. Доходы населения города значительно превышают среднероссийские показатели и составляют более 170 тысяч рублей. Подушевые расходы также на 34% превышают среднероссийские показатели, что отражает высокий уровень потребительской активности горожан.

Основные вызовы развития города на сегодняшний день связаны с высокими показателями износа коммунальных сетей и недостаточной диверсифицированностью экономики. Так более половины инвестиций и производства напрямую связаны с нефтегазовым сектором, что как уже

упоминалось ранее, по мере истощения ресурсной базы может привести к постепенной деградации и исчезновению населенного пункта.

Таким образом, на сегодняшний день Новый Уренгой является примером «ресурсного города», чье развитие напрямую связано с востребованностью нефтегазового сектора. Дальнейшее его устойчивое развитие возможно только при условии диверсификации экономики и переходе к постсырьевой модели регионального развития.

Взаимосвязи города Новый Уренгой с опорными пунктами Арктической зоны

Новый Уренгой – ключевой узел газодобывающего комплекса Ямало-Ненецкого автономного округа, интегрированный в сеть межпоселенческих связей, определяемую промышленными потребностями и условиями жизнеобеспечения Арктики. Главная транспортная ось города связана с магистральным трубопроводным коридором «Уренгой – Помары – Ужгород», обеспечивающим большую часть транзита российского газа в Европу. Параллельно ему функционирует железнодорожная ветка «Сургут – Новый Уренгой», по которой доставляется основная часть грузов и оборудования для газоперерабатывающих предприятий региона.

Энергосистема города сочетает местную генерацию и внешние поставки: ТЭЦ на попутном газе покрывают около 80% потребностей, остальная энергия поступает по линиям электропередачи из Объединенной энергосистемы Урала. Применение замкнутых циклов теплофикации позволяет использовать избыточное тепло газовых турбин для обогрева жилой и производственной инфраструктуры.

Система здравоохранения Нового Уренгоя, как и многие города региона, связана с опорным центром за пределами Арктической зоны, Тюменью. Так экстренные и тяжелые пациенты эвакуируются в Тюмень. Сам Новый Уренгой выступает центром обслуживания вахтовых посёлков в зоне его влияния посредством госпитализации и мобильных медицинских бригад.

Снабжение Нового Уренгоя продуктами питания осуществляется через железнодорожную ветку из Тюмени. Локальное производство в свою очередь ограничено.

Важно отметить центральную роль, которую играет Новый Уренгой для вахтовых поселков-спутников, находящихся в зоне влияния города, и связанных с ним зимниками. Тут важно отметить перспективы реализации проекта «Арктический широтный ход», в случае реализации которого транспортные и логистические издержки по снабжению вахтовых поселков уменьшатся,

обеспечив круглогодичный доступ к новым ресурсным базам, усилив тем самым значение Нового Уренгоя в общей системе расселения.

Планировочная структура и пространственные вызовы города Новый Уренгой

Новый Уренгой изначально формировался концентрически от поселка геологов, заложенного в 1973 году. По мере дальнейшего развития в городе сформировались разделённые реками Тамчаруяха и Седэ-Яха Северная и Южная зоны, что заложило основу дальнейшей планировочной схемы. Основная транспортная ось города — ул. Магистральная ориентирована вдоль транспортных коридоров, связывающих промышленные и жилые зоны.

Промышленная зона занимает более половины территории города и представлена тремя ключевыми кластерами: Северный — с основными добывающими мощностями «Газпрома», Западный — с коммунально-складскими и техническими предприятиями и Восточный. Жилая застройка в свою очередь представлена типичными микрорайонами, спроектированными с учётом принципов ветрозащиты и компактной уличной сетью.

Ключевыми пространственными вызовами является противоречие между сложившейся моноцентричной структурой города и его линейной транспортной системой. Город, в том числе учитывая сложные климатические условия региона, нуждается в децентрализации и создании точек и центров притяжения за пределами сложившегося общественно-делового центра. Помимо этого, значительным вызовом являются сезонные колебания населения города в 10–15 тысяч человек за счёт вахтовых рабочих.

Типологически город относится к монофункциональным промышленным центрам с элементами «компактного города». При доминировании газодобывающего сектора здесь сформирована развитая сеть соцкультбыта — школы, библиотеки, учреждения дополнительного образования и культуры. Планировочная модель города включает три функциональные зоны: производственный пояс с технологическими коридорами, жилые кластеры с кольцевой структурой обслуживания и резервные территории для будущего расширения.

Пространственная стратегия направлена на трансформацию Нового Уренгоя из «поселения-завода» в многофункциональный центр Ямала, сохраняющий лидерство в газовой отрасли при развитии научных и сервисных функций.

Развития Нового Уренгоя и интеграция в его структуру компонентов АСК

АСК в Новом Уренгое формируется как центр освоения восточного Ямала, интегрирующий не только ключевые функциональные компоненты комплекса, но

и узлы управления их развертыванием в рамках всей системы расселения. С учетом статуса города объекты проектируются как самостоятельные здания с высоким уровнем архитектурной и инженерной интеграции. При этом сохраняются базовые принципы гибкости планировочных решений и типологической совместимости, что обеспечивает возможность масштабирования и адаптации комплекса к изменяющимся задачам и условиям.

Пространственная логика сводится к трем узлам. Первый – центральный научно-управленческий узел располагается в районе ул. Юбилейной и Сибирской: здесь целесообразно формировать **научно-образовательный компонент** (Рисунок 105) представленный научно-образовательным модулем площадью порядка 10,5–14,5 тыс. кв.м., где на площади в 4,0–5,5 тыс. кв.м. размещаются лаборатории прикладных исследований (климат, экология, геотехника, городская инженерия), 2,5–3,0 тыс. кв.м. – учебные пространства для программ переподготовки и работы со студентами/аспирантами, на 1,8–2,2 тыс. кв.м. – административно-аналитический блок (управление городскими сервисами, ситуационный зал, центр обработки данных), на 1,2–1,5 тыс. кв.м. – кратковременное размещение приезжих специалистов и слушателей, остальное – связи, бытовые и инженерные помещения.

Логистический компонент планируется вдоль улицы Петуха В. Я., где будет размещен распределительный центр беспилотной логистики площадью 4,5–6,5 тыс. кв.м включая складские и технические площади. Его увеличенная площадь связана с координацией и управлением маршрутной сетью БПЛА в пределах рассматриваемой территории. В Новом Уренгое складские мощности распределительного модуля планируется реализовать в формате отдельных зданий, что обусловлено значительно большими объемами грузопотоков города. При этом сам распределительный модуль выполняет преимущественно управленческую функцию, обеспечивая координацию логистических потоков и интеграцию в региональную сеть перевозок.

Здесь же целесообразно расположить **агропромышленный компонент** – несколько отдельно стоящих ферм общей площадью около 25 тыс. кв.м., вводимых в эксплуатацию поэтапно (очередями по 6–8 тыс. кв.м.) (Рисунок 107). Каждая ферма будет включать собственные зоны приемки, предобработки, упаковки и краткосрочного холодильного хранения, что обеспечит гибкость и автономность их работы. Оценка площади компонента производилась в параграфе 2.2.

Медицинский компонент проектируется как новый корпус «Новоуренгойской центральной городской больницы», ориентированный на телемедицину площадью 1,2–1,8 тыс. кв.м.. Он включает залы для дистанционных

консультаций, центр мониторинга хронических заболеваний, учебно-симуляционный блок для подготовки медицинского персонала, серверную связи и небольшой блок дневного пребывания. Кровля корпуса и ряда поликлиник оснащается подогреваемыми посадочными площадками для медицинских беспилотников с закрытыми спусками внутрь здания, что позволяет использовать больницу как центр оперативной доставки медикаментов и грузов первой необходимости в отдаленные населенные пункты.

С учетом существующей энергетической инфраструктуры города создание отдельного **энергетического компонента** на его территории не требуется и не предлагается к реализации.

Дополнительно предполагается создание отдельно стоящих городских агропромышленных модулей в структуре жилых кварталов, который будет выполнять функции районных центров городской жизни, объединяя производство свежих продуктов с общественными и образовательными пространствами.

Такой подход формирует в Новом Уренгое не только ключевой узел АСК, но и региональный центр управления. Совокупная ориентировочная площадь зданий комплекса в городе оценивается в 45–65 тыс. кв.м. без учета навесов и открытых площадок. Стратегия предусматривает их поэтапное расширение и функциональное насыщение, что позволит адаптировать комплекс к меняющимся задачам и повышать его роль в системе расселения Арктики.

ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1. Общей основой формирования АСК является рассмотрение Арктики как взаимосвязанной системы населенных мест (вместо совокупности разрозненных поселений-экспортеров).

2. Практическая ценность главы – разработка и применение универсального алгоритма определения функционального состава АСК, позволяющего интегрировать комплекс в города различного функционального профиля. Алгоритм состоит из семи шагов: (1) постановка задачи и сбор исходных данных; (2) определение типа поселения; (3) оценка условий функционирования; (4) оценка потребностей поселения; (5) расчет объема функций компонентов АСК; (6) сборка модульной конфигурации; (7) выходные материалы.

3. Автором предложены три модели формирования функциональных и объемно-планировочных решений АСК для трех вариантов его размещения:

- а. Для поселка - изолята – пос. Диксон – разработан следующий функциональный состав и объем модулей АСК: средний научный модуль ~1 728 кв.м. (ведущее положение); агропромышленный модуль ~2 160

- кв.м.; малый логистический центр ~ 864 кв.м.; малый медицинский центр ~1 080 кв.м.; энергетическая ВЭС ~1,5 МВт. Цель – восстановление роли исследовательского потенциала и перевалочной базы при возрастающей автономности поселения.
- б. Для города субпериферии – г. Дудинка – сформирован АСК с определяющей функцией – логистический центр ~1 080 кв.м с сопутствующими складскими модулями: агроферма ~20 000 кв.м.; средний научный модуль ~1 800 кв.м.; энергетическая ВЭС ~20 МВт. Цель – расширение функций логистического хаба и снабжение прилегающих территорий в том числе удаленных поселений продуктами питания.
- с. Для субцентра/арктической столицы – г. Новый Уренгой предложен ряд отдельных инфраструктурных объектов: научно-образовательный модуль ~15 000 кв.м.; агрофермы ~ общей площадью 20 000 кв.м.; распределительный центр ~6 000 кв.м.. Цель – дополнение промышленного профиля и переход к более диверсифицированной модели экономики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Будущее России в XXI веке неразрывно связано с промышленным освоением Арктики. Ямало-Ненецкий автономный округ и Таймыр играют определяющую роль в этом процессе, обладая крупнейшими запасами углеводородов и являясь ключевыми звеньями Северного морского пути. Реализация государственных задач невозможна без повышения качества жизни, что требует восстановления функциональной комплексности поселений: развития локальных сервисов и систем жизнеобеспечения для снижения зависимости от «северного завоза».

В исследовании Арктика рассматривается как единый сетевой регион. Фокус внимания смещен с разрозненных кластеров на координированную иерархическую сеть населенных пунктов, связанных транспортными и институциональными связями. Для поддержки этой системы разработана типология Арктических специализированных комплексов (АСК) – новых жизнеобеспечивающих объектов, ориентированных на удовлетворение потребностей населения и обеспечение устойчивого развития территорий в долгосрочной перспективе.

В результате исследования сделаны следующие выводы:

1. Изучены исторические и актуальные отечественные и зарубежные освоенческие подходы к арктическим территориям. В XX в. советская школа (С.В. Славин, В.В. Владимиров, И.Л. Апарин, М.Е. Криницкая) была ориентирована на комплексное преобразование территорий и опорную систему расселения. К концу века, с переходом к рыночной экономике, государственные программы освоения резко сократились, что привело к деградации населенных пунктов; устойчивость сохранили лишь моногорода с добывающими предприятиями. Современная стратегия развития территорий закрепляет представление об Арктике как о сетевом регионе с иерархией населенных пунктов, которая требует государственной координации и продуманной инфраструктуры.

Зарубежный опыт демонстрирует приоритет развития административных, управленческих и научно-образовательных функций над ресурсными, что диверсифицирует экономику. Ресурсные проекты реализуются вахтовым методом, кадровые центры размещаются в административных узлах. Сравнительный анализ подтвердил: переход от ресурсной модели к развитию административных и научных функций снижает зависимость от добычи сырья и обеспечивает устойчивое развитие поселений.

Выявлены четыре группы факторов, обеспечивающих комфортный уровень жизни в Арктике: пространственно-архитектурные (климато-ориентированное формообразование архитектурных объектов, компактная застройка, свайные фундаменты); инженерно-энергетические (резервируемое энергоснабжение, автономные системы); логистико-институциональные (круглогодичная транспортная доступность, сетевые коммуникации); социально-функциональные (диверсификация занятости, доступность сервисов, программы удержания кадров).

2. Представлена концепция новых специализированных комплексов и их типология с учетом существующих объектов жизнеобеспечения в населенных пунктах Ямала и Таймыра. Концепция новых специализированных объектов предполагает восстановление утраченной функциональной жизнеобеспечивающей комплексности городов и поселений Арктики и вводит аббревиатуру АСК – арктических специализированных комплексов, являющихся драйвером социально-экономического и архитектурно-функционального развития рассматриваемых территорий.

На основе опыта проектирования многофункциональных общественных объектов и научных работ, посвященных анализу ключевых сфер жизнеобеспечения населения автором исследования выделено пять компонентов,

определяющих функциональный состав АСК: энергетика, агропромышленность, наука и образование, медицина, логистика.

Сформирован типологический ряд АСК, включающий крупный, средний и малый модули в агропромышленности и науке; два медицинских модуля (ФАП и малый медицинский модуль для оказания первой помощи и кратковременного лечения); распределительный и малый логистический центр в логистическом компоненте; два варианта организации энергоснабжения: для больших городов – в опоре на ядерные реакторы малой мощности; для средних и малых населенных пунктов – гибридные системы, совмещающие традиционные и возобновляемые источники энергии.

Определены опорные города и их специализация. Агропромышленные центры: Салехард, Новый Уренгой, Дудинка. Научно-образовательные: Норильск, Новый Уренгой с сетью станций в малых поселениях (Диксон и др.). Логистические узлы: Дудинка, Новый Уренгой, Салехард, перспективные – поселки вдоль СМП. Медицинские центры: Норильск, Новый Уренгой, Салехард. Энергокомплексы обслуживают агломерации Дудинка–Норильск, Новый Уренгой–Уренгой–Пангоды, Салехард–Лабытнанги, Надым–Правохеттинский. Прочие энергетические объекты в городах региона функционируют изолированно.

Выработаны основы формирования АСК на трех уровнях: стратегическом (долгосрочная модель возрождения арктической комплексности), типологическом (адаптивная типология через комбинирование модулей), пространственном (модульные объекты, обеспечивающие возможность трансформации функций). Выработанный подход лежит в основе поэтапной диверсификации экономики; компоненты АСК могут трансформироваться в отраслевые кластеры и независимые драйверы развития территорий.

3. Разработаны принципы функционирования АСК.

Многоуровневая связность и самообеспечение. Предлагается объединение населенных мест в единую сетевую систему для обмена ресурсами. Анализ показал, что устойчивое функционирование возможно лишь при балансе внешних связей и способности к автономному существованию. Утрата этого баланса ведет к критической зависимости от внешних поставок и деградации поселений.

Функциональная диверсификация. Переход от монопрофильности к многофункциональности через развитие энергетики, агропрома, науки, логистики и медицины. Исторический опыт СССР показывает, что наибольших успехов в освоении Арктики удавалось достичь именно при создании развитых и диверсифицированных населенных пунктов, способных выполнять разные производственные, научные, социальные и жизнеобеспечивающие функции.

Модульность и адаптивность объектов АСК основывается на номадической философии коренных народов Севера и поддерживается концепцией открытой формы, проявившейся в XX в. в архитектурных течениях метаболизма и структурализма. Гибкие архитектурно-технологические решения позволяют трансформировать АСК под меняющиеся демографические и функциональные условия. Сложность капитального строительства в Арктике подтверждает актуальность перехода к модульным системам, обеспечивающим устойчивость инфраструктуры и возможность ее быстрой реконфигурации.

4. Предложена адаптивная типология новых комплексов жизнеобеспечения, выявлены приемы их объемно-планировочной организации.

Адаптивная типология новых комплексов (образуемая сочетаниями пяти компонентов: агропромышленный, логистический, научно-образовательный, медицинский, энергетический) представляет собой гибкую основу для формирования состава и объема модулей каждого проектируемого комплекса в соответствии с задачами развития конкретного населенного места. Подвижность типологии формирует актуальную систему жизнеобеспечения города и позволяет устанавливать связи на внутригородском, межгородском и региональном уровнях в растянутом арктическом регионе.

Приемы объемно-планировочной организации комплексов основаны на вариантах сочетаний трех типов модулей с различным функциональным наполнением: (1) базовые модули (с основными функциями АСК); (2) коммуникационные (связующие звенья, выполняющие роль социальных буферов и общественных пространств); (3) вспомогательные (жилые блоки гостиничного типа и рекреационные зоны с элементами биофильного дизайна для компенсации сенсорной депривации).

5. Модульная система является основой конструктивного решения АСК. Разработана унифицированная секция ($23,4 \times 6 \times 12,5$ м и $23,4 \times 6 \times 15,9$ м), позволяющая формировать модули различной длины. Для минимизации снеготаносов применена аэродинамическая обтекаемая форма, а здание приподнято на 2 метра над уровнем земли (эффект продуваемого подполья).

Обоснован переход к индустриальному деревянному домостроению (клееная древесина, CLT-панели) как наиболее эффективному решению для I климатического района. Выбор материала продиктован его высокой удельной прочностью, низкой теплопроводностью и малым весом, что критически важно для логистики и снижения нагрузок на вечномёрзлые грунты.

Разработана технология возведения, основанная на максимальной индустриализации: степень заводской готовности конструкций достигает 85%,

что минимизирует работы на стройплощадке. Сборка осуществляется «сухим» способом с использованием скрытых анкерных соединений, исключающих мостики холода. Для большепролетных зон предложена система армирования деревянных конструкций, обеспечивающая надежность в условиях повышенных нагрузок.

6. Выработан алгоритм определения функционального состава АСК для конкретных территориальных условий размещения, основанный на функциональном профиле населенного пункта, численности населения и распределении функций в сети одноименных предприятий в Ямало-Ненецком автономном округе и Таймырском (Долгано-Ненецком) районе. Дополнительно учитываются факторы развития населенного места, возможные изменения его роли в системе расселения, динамика функциональных связей с городами средней полосы России.

Выявлены устойчивые тенденции эволюции стратегий развития населенных пунктов по типам поселений. Города или поселки-изоляты обладают значительным потенциалом развития научно-образовательного компонента (исследование арктического климата и природных процессов), но одновременно нуждаются в базовых компонентах жизнеобеспечения – агропромышленном и медицинском – для снижения зависимости от внешних поставок. Периферийные центры показывают наибольшую эффективность при акценте на агропромышленную специализацию и логистику благодаря промежуточному положению в транспортной сети региона. Субцентры и арктические столицы располагают ресурсами для комплексной диверсификации всех функциональных составляющих АСК.

7. Представлены концептуальные предложения по организации и размещению АСК в разных по функциональному профилю населенных пунктах ЯНАО и Таймыра. Применимость подхода апробирована в концептуальных проектных предложениях для пгт Диксон, г. Дудинки и г. Нового Уренгоя. Для малых поселений предложены компактные комплексы жизнеобеспечения, для крупных – распределенные сети с масштабными специализированными объектами.

Заложен принцип эволюционной адаптивности: архитектурная структура развивается от малых ядер к крупным блокам путем присоединения модулей. Это позволяет компонентам, изначально решающим локальные задачи, трансформироваться в отраслевые кластеры, становясь драйверами территориального развития и восстановления функциональной комплексности региона.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты диссертационного исследования могут найти применение в:

- формировании федеральных и региональных стратегий освоения полярных регионов и северных территориальных образований;
- создании архитектурно-планировочных решений многофункциональных общественных объектов в городах Арктики.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В XXI веке будет расти потребность в продуманных стратегиях развития арктических территорий и в программах реального повышения качества жизни. Это требует перехода от «точечных» проектов к сетевому развитию поселений и включения в городскую ткань новых сервисов и технологий – телемедицины, образовательных платформ, обновленной логистики, включая БПЛА. Заданные в работе направления образуют практическую повестку дальнейших исследований и пилотных внедрений.

Предложенная концепция АСК является основой возрождения утерянной арктической комплексности и представляет собой адаптивную систему функциональных компонентов, способных к саморазвитию за пределами первоначальных границ. Предлагаемая типология становится лишь первым этапом формирования многофункциональной системы устойчивой арктической экономики.

Принципы АСК – многоуровневая связанность и самообеспечение, функциональная диверсификация, модульность и адаптивность – вместе с разработанным алгоритмом подбора функционального состава и мощности комплекса носят универсальный характер и применимы при проектировании в любых городах и поселках Арктической зоны.

Разработка объемно-планировочных решений для конкретных условий размещения может подтвердить и расширить предложенную адаптивную типологию АСК. Следующий шаг – детальная проработка посадки на рельеф и мерзлоту, узлов соединений, инженерных решений и режимов монтажа, а также проверка вариантов компоновки модулей в условиях действующей городской ткани. Это позволит уточнить каталоги модулей и правила их сочетания.

Теоретические выводы работы целесообразно уточнить через более глубокое изучение реальных условий жизни в городах и поселках разных статусов. Речь о сравнительных полевых исследованиях и мониторинге: демография и миграции, структура занятости, логистическая доступность, энергообеспечение, доступ к медпомощи и образованию, локальные практики эксплуатации зданий в суровом климате. Такое исследование усилит «сетевой» взгляд на систему расселения и

позволит точнее калибровать состав и мощность АСК для конкретных территорий.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ:

1. АЗРФ – Арктическая зона Российской Федерации
2. Таймыр – Таймырский Долгано-Ненецкий район Красноярского края
3. АНО – автономная некоммерческая организация
4. АСК – Арктический специализированный комплекс
5. АСММ – атомная станция малой мощности
6. АЭС – атомная электростанция
7. БАС-200 – беспилотная авиационная система «БАС-200»
8. БВС – беспилотные воздушные суда
9. БПЛА – беспилотный летательный аппарат
10. ВВП – валовой внутренний продукт
11. ВРП – валовой региональный продукт
12. ВЭС – ветроэлектростанция
13. ВИЭ – возобновляемые источники энергии
14. ВПП – взлетно-посадочная полоса
15. ИБП – источник бесперебойного питания
16. МАЭ – Музей антропологии и этнографии (Кунсткамера) РАН
17. ПАЭС – плавучая атомная электростанция
18. СЭС – солнечная электростанция
20. ТПК – территориально-производственный комплекс
21. Ямал – Ямало-Ненецкий автономный округ
22. ЯРММ – ядерный реактор малой мощности
23. AWIPEV – франко-германская полярная станция AWIPEV (Нью-Олесунн)
24. CHARS – Canadian High Arctic Research Station (Канадская высокоширотная арктическая научная станция)
25. ETFE – этилентетрафторэтилен (полимер для ограждающих конструкций)
26. UArctic – University of the Arctic (Университет Арктики)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Приказы и нормативные документы

1. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614 "Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания"// ГАРАНТ.
2. Указ Президента РФ от 05.03.2020 N 164 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» (с изменениями и дополнениями) // ГАРАНТ.
3. Указ Президента РФ от 26.10.2020 N 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» (с изменениями и дополнениями) // ГАРАНТ.
4. СП 118.13330.2022 Общественные здания и сооружения СНиП 31-06-2009 (с Изменениями № 1-5) - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/351102147>
5. СП 131.13330.2020 Строительная климатология СНиП 23-01-99* (с Изменениями N 1, 2) - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358>.
6. СП 158.13330.2014 Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования (с Изменениями N 1-5) - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110514>
7. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах СНиП 2.02.04-88 (с Изменениями N 1, 2) - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659326>.
8. СП 511.1325800.2022 Посадочные площадки. Правила проектирования (с Изменением N 1) - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/350038655> (дата обращения: 20.09.2025).
9. СП 56.13330.2021 Производственные здания СНиП 31-03-2001 - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728193558>.

Диссертации

10. Прокопова С. М. Система принципов формирования архитектурной среды арктического города: диссертация ... кандидата архитектуры: 2.1.11. / Прокопова Софья Михайловна; [Место защиты: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; Диссовет УрФУ 2.1.14.36]. - Екатеринбург, 2024. - 263 с. : ил.
11. Савинова В. А. Принципы формирования архитектуры научно-исследовательских объектов в условиях Арктической зоны России: в 2-х т.: диссертация ... кандидата архитектуры: 2.1.12. / Савинова Валерия Анатольевна; [Место защиты: Московский архитектурный институт (государственная академия) ; Диссовет 24.2.329.01 (Д 212.124.02)]. - Москва, 2024. - 397 с.: т. 1 (147 с.) + Прил.: т. 2 (250 с.: ил.).

- 12.Танкаян В.Г. Типологические особенности объемно-планировочных решений жилых домов для районов Крайнего Севера: диссертация ... кандидата архитектуры: 18.00.00. - Ленинград, 1971. - 206 с. + Прил. (22 с.).
- 13.Чайка Е. А. Система опорных пунктов в расселении северных и арктических территорий России: в 2-х т. : диссертация ... кандидата архитектуры : 2.1.13. / Чайка Елена Андреевна; [Место защиты: Московский архитектурный институт (государственная академия) ; Диссовет 24.2.329.01 (Д 212.124.02)]. - Москва, 2024. - 401 с.: т. 1 (238 с.) : ил. + Прил.: т. 2 (163 с. : ил.).

Книги и монографии

- 14.Апарин И. Л., Криницкая М. Е. Индустриальная база строительства Северной зоны (проблемы и перспективы развития и размещения / И. Л. Апарин, М. Е. Криницкая, Ленинград: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1979. 152 с.
- 15.Владимиров В. В., Наймарк Н. И. Проблемы развития теории расселения в России / В. В. Владимиров, Н. И. Наймарк, Москва: Эдиториал УРСС, 2002. 374 с.
- 16.Волгин, В. В. Логистика хранения товаров : практическое пособие / В. В. Волгин. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2014. – 368 с. – ISBN 978-5-394-02486-3. – Текст : непосредственный.
- 17.Гаджинский, А. М. Логистика : учебник для бакалавров / А. М. Гаджинский. – 21-е изд. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2014. – 420 с. – ISBN 978-5-394-02059-9. – Текст : непосредственный.
- 18.Головнев А. В., Куканов Д. А., Перевалова Е. В. Арктика: атлас кочевых технологии / А. В. Головнев, Д. А. Куканов, Е. В. Перевалова, СПб: МАЭ РАН, 2018. 352 с.
- 19.Данькин М. А. [и др.]. Опорные населенные пункты Арктики / М. А. Данькин, Н. Ю. Замятина, А. А. Зайцев, Б. В. Никитин, А. В. Потураева, Москва: АНО «Информационно-аналитический центр Государственной комиссии по вопросам развития Арктики», 2020. 246 с.
- 20.Замятина Н. Ю. Город в пустоте. Урбанизация и Арктика / Н. Ю. Замятина, Москва: Изд. дом Высшей школы экономики, 2025. 452 с.
- 21.Замятина Н. Ю., Пилясов А. Н. Как нам обустроить Арктику / Н. Ю. Замятина, А. Н. Пилясов, Издательские решения, 2019. 86 с.
- 22.Казанцев, П. А. Формирование экоустойчивой среды городских и сельских поселений на юге Дальнего Востока (основы экологической архитектуры) : учебное пособие / П. А. Казанцев. - Владивосток : Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2017. - [254] с. : фот., цв. ил. - ISBN 978-5-7444-4117-3.
- 23.Опыт применения клееных деревянных конструкций в Московской области / С. Б. Турковский, В. Г. Курганский, Б. Г. Почерняев ; НТО строит. индустрии. - М. : Стройиздат, 1987-. - 21 см. Вып. 1. - Москва : Стройиздат, 1987. - 48,[2] с. : ил.

24. Панов Л. К. [и др.]. Прогнозы расселения и планировки новых городов Крайнего Севера / Л. К. Панов, С. П. Семенов, З. Ф. Шимановская, А. Ю. Белинский, В. В. Кадников, Ленинград: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1973. 200 с.
25. Сапрыкина Н. А. Мобильное жилище для Севера / Н. А. Сапрыкина, Ленинград: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1986. 216 с.
26. Саушкин Ю. Г. Экономическая география: история, теория, методы, практика / Ю. Г. Саушкин, Москва: Мысль, 1973. 557 с.
27. Славин С. В. Освоение Севера Советского Союза / С. В. Славин, Москва: Наука, 1982. 207 с.
28. Архитектурный дизайн (функциональные и художественные основы проектирования) : Учебное пособие / В. Н. Ткачёв. — Москва : Архитектура-С, 2006. — 352 с., ил. — ISBN 5-9647-0097-7
29. Лукутин Б.В. [и др.] Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
30. Яременко Ю. В. Теория и методология исследования многоуровневой экономики / Ю. В. Яременко, Москва: Наука, 2000. 400 с.

Список литературы

31. Артющевская Е. Ю. Анализ потенциала альтернативных источников энергии в Республике Саха (Якутия) // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2021. № 93. С. 72–75.
32. Багнетова Е. А., Малюкова Т. И., Болотов С. В. К вопросу об адаптации организма человека к условиям жизни в северном регионе // Успехи современного естествознания. 2021. № 4. С. 111–116.
33. База данных показателей муниципальных образований (БД ПМО [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/munst.htm>
34. Беспилотная авиационная система БВС ВТ 440 // Radar MMS [Электронный ресурс]. URL: <https://radar-mms.com/product/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy/bespilotnaya-aviatsionnaya-sistema-s-bvs-vt-440/>.
35. Беспилотная транспортная авиационная система внеаэродромного базирования С-76 «Атлас» // Авиация России [Электронный ресурс]. URL: <https://aviation21.ru/bespilotnaya-transportnaya-aviacionnaya-sistema-vne aerodromnogo-bazirovaniya-s-76/>.
36. Будущее российской арктической урбанизации. Интервью с Надеждой Замятиной // Институт общественных наук РАНХиГС при Президенте РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://ion.ranepa.ru/news/budushchee-rossiyskoy-arkticheskoy-urbanizatsii-intervyu-s-nadezhday-zamyatinoi/>.
37. Бутаков С. В., Хвиюзов М. А., Автухов С. С. Оценка потенциала солнечной энергии в условиях Крайнего Севера // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 72–7. С. 76–80.

38. В «Русской Арктике» перешли на солнечные батареи // Lenta.RU [Электронный ресурс]. URL: <https://lenta.ru/news/2020/04/21/solar/>.
39. В Якутии при строительстве АСММ создадут более 1 тыс рабочих мест // ТАСС [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/21687091>.
40. Васильева В. В. Ускользящий Северный морской путь и локальное сообщество Диксона: обещание инфраструктуры // Сибирские исторические исследования. 2020. (3). С. 76–88.
41. Винницкий М. В. Актуализация принципов формирования архитектурной среды Крайнего Севера и Арктики // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2024. № No3 (62). С. 52–58.
42. Винницкий М.В. Подходы к организации архитектурно-градостроительной среды в суровых условиях северных регионов // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. – 2023. – № 3 (58). – С. 37-43.
43. Воронина Е. П. Транспортное освоение арктических территорий: стратегические задачи и анализ рисков // Арктика: экология и экономика. 2017. № 3(27). С. 61–68.
44. Григоришин А. В. Тенденции развития инфраструктуры здравоохранения в Арктике // Human Progress. 2023. № 1 (9). С. 1–11.
45. Григорьев М. Н. Новая арктическая научно-исследовательская станция «остров Самойловский» на Севере Якутии // Наука и техника в Якутии. 2013. № 2(25). С. 23–27.
46. Губина О. В. Формирование телемедицинской системы как инновационного фактора развития Арктических территорий России // РППЭ. 2020. № 115 (5). С. 39–47.
47. Давыдова А. А. Перспективы развития производства строительных материалов в Северном регионе (на примере Магаданской области) // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2011. № 2. С. 61–67.
48. Дергачев В. А. Исторические циклы хозяйственного освоения территории // Вестник МГУ. 1976. (2). С. 82–86.
49. Елистратов В. В. Энергоснабжение в Арктике с использованием ВИЭ // Neftegaz.ru. 2023. (1). С. 74–80.
50. Замятина Н. Ю. [и др.]. Жизнестойкость Арктических городов: анализ подходов // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2020. № 3 (65). С. 481–505.
51. Замятина Н. Ю. Арктическая урбанизация как фронтир // Научный вестник ЯНАО. 2016. № 3(92). С. 114–120.
52. Замятина Н. Ю. Арктические города в пространстве и времени: как со сменой технологий меняется примерно все – часть первая // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/society/arkticheskie-goroda-v-prostranstve-i-vremeni-kak-so-smenoy-tekhnologiy-menyaetsya-primerno-vsye-chas/>.
53. Замятина Н. Ю. Большие регионы на Севере: как периферийность компенсируется социальными связями // In: Сибирь: контексты настоящего: сборник материалов международных конференций молодых

- исследователей Сибири / Н. Ю. Замятина, Иркутск: Центр независимых социальных исследований, 165–196 с.
54. Замятина Н. Ю. Будущее арктических городов: строить нельзя ликвидировать // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/society/budushchee-arkticheskikh-gorodov-stroit-nelzya-likvidirovat/>.
 55. Замятина Н. Ю. Диксон: обыкновенная Арктика // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/news/dikson-obyknoennaya-arktika/>.
 56. Замятина Н. Ю. Магадан – город поиска. Остаться на Севере // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/news/magadan-gorod-poiska-ostatsya-na-severe/>.
 57. Замятина Н. Ю. Пульсирующие города и фронтальная урбанизация Российской Арктики под ред. В. П. Жаркова, М. Г. Пугачева, Общество с ограниченной ответственностью «Нестор-История», 2017. С. 22–30.
 58. Замятина Н. Ю. Развилки судьбы фронтального города: уроки Игарки // Всероссийский экономический журнал ЭКО. 2021. (1(559)). С. 67–92.
 59. Замятина Н. Ю. Регионы и города Арктики: специфика социально-экономического развития (зарубежный опыт и российские реалии) / Н. Ю. Замятина, Москва: Географический факультет МГУ, 2020. 186 с.
 60. Замятина Н. Ю. Северный город-база: особенности развития и потенциал освоения Арктики // Арктика: экология и экономика. № 38 (2). С. 4–17.
 61. Замятина Н. Ю. Сибирская Арктика: города-при-месторождениях или базы освоения? // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/work/sibirskaya-arktika-goroda-pri-mestorozhdeniyakh-ili-bazy-osvoeniya/>.
 62. Замятина Н. Ю. Специфическая роль городов в Арктике: опора освоения // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/news/spetsificheskaya-rol-gorodov-v-arktike-opora-osvoeniya/>.
 63. Замятина Н. Ю., Гончаров Р. В. Арктическая урбанизация: феномен и сравнительный анализ // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. № 4. С. 69–82.
 64. Замятина Н.Ю., Пилясов А.Н. Локальные транспортные системы и развитие территорий Сибири и Дальнего Востока // Социально-экономическое развитие региона: тенденции, ведущие драйверы и угрозы. Тез. докл. Всероссийской междисциплинарной научно-практической конференции. – 2018. – Т. 25. – С. 105-109.
 65. Иванов В. А. Сельское хозяйство Севера и Арктики // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2022. № 1. С. 12–22.

66. Исследования возможности использования атомных станций малой мощности в Арктике // ИБРАЭ РАН [Электронный ресурс]. URL: [url:https://www.ibrae.ac.ru/contents/463/](https://www.ibrae.ac.ru/contents/463/).
67. Как работает одна из самых северных железных дорог мира // Окно в Россию [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.gw2ru.com/read/4352-norilskaya-zheleznaya-doroga>.
68. Калеменева Е.А. Смена моделей освоения советского Севера в 1950-е гг. Случай Комиссии по проблемам Севера // Сибирские исторические исследования. – 2018. – № 2. – С. 181-200.
69. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2(6). С. 66–79.
70. Квашнина С. И. Здоровье населения на Севере России: (Соц.-гигиен. и экол. проблемы // Ухта: Ухт. гос. техн. ун-т. С. 259.
71. Кондакова В. А. Энергоэффективный дом в условиях Крайнего Севера // Вестник науки. 2020. № 22 (1).
72. Красноперова И.Р. Есть ли жизнь в Арктике // Институт Генплана Москвы [Электронный ресурс] – URL: https://genplanmos.ru/publication/2023_05_03_est-li-zhizn-v-arktike/ (дата обращения: 21.09.2025)
73. Кругман П. Возрастающая отдача, монополистическая конкуренция и международная торговля. – Вехи экономической мысли. – СПб.: Экономическая школа ГУ ВШЭ, 2000. – Т. 2. – С. 523-532. – ISBN 5-900428-49-4.
74. Крупнейшая в России гибридная солнечная электростанция запущена в Эвенкии // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/news/arktika-segodnya-krupneyshaya-v-rossii-gibridnaya-solnechnaya-elektrostantsiya-zapushchena-v-evenkii/>.
75. Крюков В. А., Крюков Я. В. Арктика - от активов в пространстве к пространству активов // Научные труды Вольного экономического общества России. 2022. № 1. С. 32–55.
76. Кутузова М. Возобновляемая энергетика для Арктики // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/work/vozobnovlyaemaya-energetika-dlya-arktiki-/>.
77. Левина А. И. [и др.]. Цифровая и логистическая инфраструктуры Арктической зоны: современное состояние исследований и пути развития // Арктика и Север. 2024. № 56. С. 128–145.
78. Ледостойкая платформа «Северный полюс» [Электронный ресурс]. URL: <https://aari.ru/fleet/ledostoykaya-platforma-%C2%ABsevernuy-polyus%C2%BB> (дата обращения: 16.03.2025).
79. Лексин В.Н., Порфирьев Б.Н. Территориальная фрагментация единого правового пространства России // Федерализм. – 2018. – Т. 1. – С. 173-190.

80. Луговой Р. Д., Панчук Н. Н. Управление проектированием вертикальных ферм в городе Хабаровске // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. № 5 (11). С. 72–77.
81. Лыжин Д. Н. Ветроэнергетика: возможности для Арктики // Арктика 2035. 2021. № 1(5).
82. Майоров М. Альтернативная энергетика в Арктике // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/work/alternativnaya-energetika-v-arktike/>.
83. Макаров И. А., Чернокульский А. В. Влияние изменения климата на экономику России: рейтинг регионов по необходимости адаптации // Журнал Новой экономической ассоциации. 2023. № 4 (61). С. 145–202.
84. Марача В. Г. Формирование инфраструктуры и повышение связности арктических территорий как условия развития собственных производств в Арктической зоне Российской Федерации // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2024. № 18 (2).
85. Мастер-план агломерации Норильск - Дудинка // Агломерации Норильск - Дудинка [Электронный ресурс]. URL: <https://ingorod24.ru/masterplan/1>.
86. Мастер-план агломерации Салехард-Лабытнанги // Новая Земля [Электронный ресурс]. URL: <https://nzemlya.com/>.
87. Межрегиональный научно-образовательный центр мирового уровня // НОЦ «Российская Арктика» [Электронный ресурс]. URL: <https://secarctic.ru/>.
88. Мельников Н. Н., Гусак С. А., Наумов В. А. Реакторные установки для энергоснабжения арктических регионов России: оценка приоритетности атомных энергоисточников // Вестник МГТУ. 2017. № 1 (1). С. 21–30.
89. Митрюкова К. А. Транспортный каркас Арктической зоны Российской Федерации // Экономика, предпринимательство и право. 2023. № 5 (13). С. 1371–1388.
90. Митько А.В. Основные направления медицинского обеспечения в арктическом регионе [Электронный ресурс] // Neftegaz.RU – 2022. – № 11 – С. 66-70
91. Митько А.В., Сидоров В.К. Перспективы ВИЭ в Арктике // Neftegaz.RU. – 2020. – № 8. – С. 65-68.
92. Михайлович З. В. [и др.]. Стратегия инновационного развития электроэнергетики в Арктической зоне России // Энергетическая политика. 2018. № 4.
93. Модульные города в Арктике: Политех создает новые стандарты комфортного жилья // Политех [Электронный ресурс]. URL: https://www.spbstu.ru/media/news/nauka_i_innovatsii/modulnye-goroda-v-arktike-politekh-sozdayet-novye-standarty-komfortnogo-zhilya/ (дата обращения: 16.09.2025).
94. Моргунова М. О., Коваленко А. Энергетические инновации в условиях Арктики // Энергетическая политика. 2021. № 4(158). С. 30–43.

95. Назарова Ю. А., Сыровецкий В. А. Возможности использования возобновляемых источников энергии для энергообеспечения Арктики // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2018. № 4. С. 25–35.
96. Найденов Н. Д. Сельское хозяйство Арктики: диалектика культуры и экономики (на примере городов Воркуты, Норильска и Якутска) // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2020. № 108 (3). С. 12–17.
97. Наумов А. С. [и др.]. Городское сельское хозяйство в Арктике: российский и зарубежный опыт // Меридиан. 2019. № 20 (2). С. 110–112.
98. Нефедова Л. В. Адаптация энергокомплекса к изменениям климата в Арктике // Энергетическая политика. 2020. № 9 (151) (53). С. 359–371.
99. Никитин В. С. [и др.]. Возможности судостроения в создании инфраструктуры в Арктическом регионе 2017. № 25 (1). С. 102–119.
100. Никитина Е. Н. Изменение климата в Арктике: адаптация в ответ на новые вызовы // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2019. № 5 (12). С. 177–200.
101. Николаева Е. В. Барьеры развития вертикальных ферм // Молодой ученый. 2023. № 499 (52). С. 38–42.
102. Парк будущих поколений «САХА Z» в Якутске // Архитектурная мастерская «Атриум» [Электронный ресурс] // Totalarch: [сайт [Электронный ресурс]]. URL: https://totalarch.com/gs_2019/saxa_z.
103. ПАТЭС на экспорт: зачем «Росатом» строит плавучие энергоблоки // Страна РОСАТОМ [Электронный ресурс]. URL: <https://strana-rosatom.ru/2024/12/01/pates-na-eksport-zachem-rosatom-stro/?ysclid=m93xr3erqi52896772>.
104. Петрунин В. В. Обликовый проект АСММ с реакторной установкой РИТМ-200 // Атомная энергия. 2018. № 6 (125). С. 323–327.
105. Петрунин В. В. Реакторные установки для атомных станций малой мощности Москва: Российская академия наук, 2021. С. 213–231.
106. Пилясов А. Н. Арктическое Средиземноморье: предпосылки формирования нового макрорегиона // ЭКО. № 12. С. 54–75.
107. Пилясов А. Н. Контуры Стратегии развития Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. № 1 (1). С. 38–47.
108. Пилясов А. Н., Замятина Н. Ю. Освоение Севера 2.0: вызовы формирования новой теории // Арктика и Север. 2019. № 34. С. 57–76.
109. Пилясов А. Н., Путилова Е. С. Оспаривая очевидное: арктические города // Городские исследования и практики. 2020. № 1. С. 9–32.
110. Подковырина К. А., Подковырин В. С., Назиров Р. А. Особенности проектирования зданий и сооружений в северных широтах с точки зрения строительной физики // Урбанистика. 2017. № 4. С. 78–85.
111. Полякова Л. П., Татаринов Н. С. Использование возобновляемых источников энергии в Арктике: применение ветроэнергетических

- установок в Воркутинском районе // Научный журнал «Управленческий учет». 2022. № 11. С. 311–317.
112. Расторгуев С. В. Доступная Арктика // Умные композиты в строительстве. 2023. № 4. С. 89–105.
 113. Росатом определил 5 перспективных площадок под строительство атомных станций малой мощности // Neftegaz.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/news/nuclear/791481-rosatom-opredelil-5-perspektivnykh-ploshchadok-pod-stroitelstvo-atomnykh-stantsii-maloy-moshchnosti->
 114. «Росатом Арктика» назначена единым морским оператором северного завоза | Атомная энергия 2.0. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2025/03/26/154789> (дата обращения: 17.09.2025).
 115. «Росатом» запустил первый завод по производству композитных ветролопастей [Электронный ресурс]. URL: <https://strana-rosatom.ru/2024/12/27/rosatom-zapustil-pervyj-zavod-po-pr/> (дата обращения: 16.03.2025).
 116. Российская академия наук. Научно-технические проблемы освоения Арктики / Российская академия наук, Москва: М.: Наука, 2015. 490 с.
 117. С-76. Грузовой БПЛА ОКБ Сухого // Missiles.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://missiles.ru/2024/08/11/s-76-gruzovoi-bla/>.
 118. Савинова В. А. Арктическая архитектура: тенденции и перспективы – GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/news/arkticheskaya-arkhitektura-tendentsii-i-perspektivy/> (дата обращения: 16.09.2025).
 119. Саркисов А. А. [и др.]. Экономическая эффективность атомных энергоисточников мегаваттного класса в Арктике // Арктика: экология и экономика. № 29 (1). С. 4–14.
 120. Саюри тепличный комплекс // Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://brand.ercd.ru/residents/sauri>.
 121. Сергей Цивилев: «Дальнейшая разработка запасов природного газа Надым-Пур-Таза является важнейшей задачей». – Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации (Минэнерго России) [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/press-center/news-and-events?news-item=cergey-tsivilev-dalneyshaya-razrabotka-zapasov-prirodnogo-gaza-nadym-pur-taza-yavlyayetsya-vazhneyshe>
 122. Серегин А. И. Энергоэффективный квартал в условиях Крайнего Севера // АВОК. 2020. № 8. С. 12–15.
 123. Серова Н. А., Серова В. А. Основные тенденции развития транспортной инфраструктуры российской Арктики // Арктика и Север. 2019. № 36. С. 36–42–56.
 124. Сидоров Д. А. [и др.]. Системы термостабилизации грунта: опыт и перспективы // Neftegaz.RU. 2022. № 12. С. 74–88.

- 125.Славин С. В. Районный разрез плана Второй пятилетки и концепция освоения Севера // Страницы памяти. О планах, планировании и плановиках. 1987. С. 181–195.
- 126.Смирнов А. В. Население мировой Арктики: динамика численности и центры расселения // Арктика и Север. 2020. (40). С. 270–290.
- 127.Соколов А. Н. Энегопереход в Арктике: возможности и проблемы синей экономики // Экономические и социальные проблемы России. 2022. № 50 (2). С. 101–106.
- 128.Солнечная генерация // РусГидро [Электронный ресурс]. URL: https://rushydro.ru/activity/production/solnechnaya-generatsiya/?utm_source=eng.rushydro.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=eng.rushydro.ru&utm_referrer=eng.rushydro.ru.
- 129.Соловьев Д. А. Малая энергетика в Арктике: проблемы адаптации и риски // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. № 11. С. 14–21.
- 130.Стрючков С.А. Авария. Город без тепла. // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс] – URL: <https://goarctic.ru>
- 131.Стрючков С. А. Как в Норильске научились строить на мерзлоте? // Кислород.ЛАЙФ [Электронный ресурс]. URL: https://kislород.life/question_answer/kak_v_norilske_nauchilis_stroit_na_merzlotе
- 132.Татьяна Красникова – как система опорных населенных пунктов отразится в новой Стратегии пространственного развития России // GoArctic.ru – Портал о развитии Арктики [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru>.
- 133.Торжественное открытие вертикальной фермы в Москве // Городские теплицы [Электронный ресурс]. URL: <https://gorteplitsy.ru/blog/2021/03/vertikalnaya-ferma-v-moskve>.
- 134.Уланов С.И, Криводубский О.А., Никитина А.А. Анализ современных разработок беспилотных летательных аппаратов // Проблемы искусственного интеллекта. – 2024. – Т. 35. – № 4. – С. 178-191.
- 135.Фадеев А. М. [и др.]. Оценка приоритетности разработки месторождений российской Арктики как инструмент эффективного природопользования в современных макроэкономических условиях // Энергетическая политика. 2018. № 4. С. 34–47.
- 136.Федоров А. Н., Максимова Л. А. Быстровозводимое здание «Теплориум»: новые возможности энергоэффективного строительства в Арктической зоне // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2020. № 2(2). С. 62–68.
- 137.Чайка Е. А. Принципиальные подходы к пространственной организации северных и арктических территорий // АМІТ. 2022. № 1 (58). С. 184–187.
- 138.Череповицын А. Е., Липина С. А., Евсеева О. О. Инновационный подход к освоению минерально-сырьевого минерально-сырьевого потенциала Арктической зоны РФ // Записки Горного института. 2018. (232). С. 438–444.

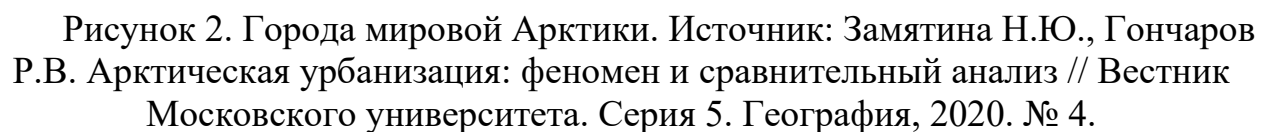
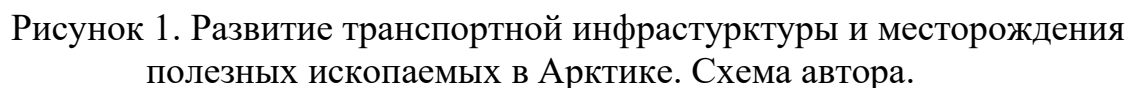
139. Чижков Ю. В. Северный морской путь в структуре арктической транспортной системы // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2017. № 68 (1). С. 27–32.
140. Чуклов Н. С. Преемственность в объемно-планировочных элементах городов с контролируемым климатом в Заполярье // АМІТ. 2019. № 2(47). С. 251–266.
141. Шубенков М. В., Благодетелева О. М. В поиске градостроительных принципов развития северных поселений № 37 (3). С. 76–81.
142. Шубенков М. В., Благодетелева О. М. Диксон – арктический форпост России // АМІТ. 2012. № S. С. 1–12.
143. Шумилова Ю. Н. Первая экспедиция «Арктический плавучий университет» // Arctic Environmental Research. 2012. № 3. С. 111–113.
144. Энергоэффективный дом для Арктики: конструктор настоящего выживальщика // Arctic Russia [Электронный ресурс]. URL: <https://arctic-russia.ru/article/energoeffektivnyy-dom-dlya-arktiki-konstruktor-nastoyashchego-vyzhivalshchika/> (дата обращения: 16.09.2025).
145. AeroFarms New Jersey // AeroFarms New Jersey [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aerofarms.com/tag/new-jersey/>.
146. AWIPEV // AWIPEV [Электронный ресурс]. URL: <https://www.awipev.eu/> (дата обращения: 17.09.2025).
147. B.C. F. [и др.]. High resilience in the Yamal-Nenets social–ecological system, West Siberian Arctic, Russia, // Proc // Natl. Acad. Sci. U.S.A. № 52 (106). С. 22041–22048.
148. Bamsey M. [и др.]. Design of a Containerized Greenhouse Module for Deployment to the Neumayer III Antarctic Station Tucson; С. 1–20.
149. Beckman C. [и др.]. Starlink and Cellular Connectivity under Mobility C. 1–9.
150. Canadian High Arctic Research Station (CHARS) // EVOQ architecture [Электронный ресурс]. URL: evoqarchitecture.com/en/projects/canadian-high-arctic-research-station-chars.
151. Carotti L. [и др.]. Improving water use efficiency in vertical farming: Effects of growing systems, far-red radiation and planting density on lettuce cultivation // Agricultural Water Management. № 285.
152. Dyachkovskaya M., Argunova N., Argunova A. Education as a factor in the sustainable development of the Arctic and the northern territories of Russia // Education and Humanities Research. 2019. № 364. С. 822–825.
153. Eleanya F. Zipline to launch drone logistics in five additional states in Nigeria // TechCabal [Электронный ресурс]. URL: <https://techcabal.com/2025/03/07/zipline-to-launch-drone-logistics/> (дата обращения: 26.03.2025).
154. Erskine R. Architecture and Town Planning in the North // Polar Record № 89 (14). С. 165–171.
155. Fu E. The Sustainability of Zipline’s Autonomous Aerial Logistics // Flyzipline [Электронный ресурс]. URL: <https://www.flyzipline.com/>.

- 156.Gernandt H. [и др.]. From Georg Forster Station to Neumayer Station III - a Sustainable Replacement at Atka Bay for Future // *Polarforschung* (1). С. 59–85.
- 157.Guo C., Lu Z. Frost heaving of foundation pit for seasonal permafrost areas // *Magazine of Civil Engineering*. № 86. С. 61–71.
- 158.Heuvel D. van den Structuralism. An Installation in Four Acts: Education, Ideals, Building, the City / D. van den Heuvel, TU Delft, 17 с.
- 159.Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century // *Nature Communications*. № 5147 (9). С. 1–9.
- 160.Hole J. Our Flagship Farm in the Heart of the Tetons [Электронный ресурс] // *Vertical Harvest*: [сайт].
- 161.Infrastructure and Community Resilience in the Changing Arctic: Status, Challenges, and Research Needs // *The Arctic institute* [Электронный ресурс]. URL: https://www.thearcticinstitute.org/infrastructure-community-resilience-changing-arctic-status-challenges-research-needs/?utm_source=chatgpt.com.
- 162.Ishida A. Paradox of a Landmark that is not: the life of the Nakagin Capsule Tower // *International Conference on East Asian Architectural Culture (EAAC)* // Gwangju. С. 105–110.
- 163.J. R., J. B., J-M B. Wind engineering in the integrated design of princess Elisabeth Antarctic base // *Building and Environment*. (52). С. 1–18.
- 164.Johansson B., Karlsson Ch., Stough R. R. Theories of Endogenous Regional Growth. Lessons for Regional Policies / B. Johansson, Ch. Karlsson, R. R. Stough, Springer Publishing, 2011. 428 с.
- 165.Khoreva O. [и др.]. Attracting skilled labour to the North: Migration loss and policy implications across Russia's diverse Arctic regions // *Polar Record*. № 5–6 (54). С. 324–338.
- 166.Landers K., Streletskiy D. Un)frozen foundations: A study of permafrost construction practices in Russia, Alaska, and Canada // *Ambio* № 7 (52). С. 1170–1183.
- 167.Maudsley A. North of the Arctic Circle: Ralph Erskine's Mid-20 th Century Urban Planning and Design Projects in Kiruna and Svappavaara // под ред. D. B. A. S. Bielefeld, С. 57–76.
- 168.Molina Gómez A. [и др.]. Optimal sizing of the wind farm and wind farm transformer using MILP and dynamic transformer rating // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2022. (136). С. 107645.
- 169.Nájera C. [и др.]. Role of Spectrum-Light on Productivity, and Plant Quality over Vertical Farming Systems // *Horticulturae*.
- 170.Nitschke A., Brunn B., Bederke C. The Container Connection of the New Indian Antarctic Research Station 2016.С. 2675–2683.
- 171.Nobel J. Farming in the Arctic: It Can Be Done // *Modern Farmer*.
- 172.Pernice R. Metabolism Reconsidered Its Role in the Architectural Context of the World // *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. № 2 (3). С. 357–363.

- 173.Plenty opens world's first vertical farm that uses AI to grow strawberries indoors in Virginia // designboom | architecture & design magazine [Электронный ресурс]. URL: <https://www.designboom.com/technology/plenty-worlds-first-vertical-farm-ai-strawberries-indoors-virginia-richmond-09-26-2024/>.
- 174.Polar Research Stations: Meeting the challenge of isolated living // A Home for Science, Social Studies of Science № 6 (46). С. 1–19.
- 175.Review of May 2020, Catastrophic Tank Failure London: Independent Environmental Advisory Support to the Nornickel Environmental Task Team, 2020. 16 с.
- 176.Río R M. Centraal Beheer. An instrument in the process of human awareness // VLC arquitectura № 1 (9). С. 127–159.
- 177.Seed Germination Chamber // Convion [Электронный ресурс]. URL: <https://www.convion.com/insights/what-is-a-seed-germination-chamber/>.
- 178.Shiklomanov N. [и др.]. Conquering the permafrost: urban infrastructure development in Norilsk, Russia // Polar Geography. 2017. № 40(4). С. 273–290.
- 179.Söderqvist L. Structuralism in Architecture: A Definition // Journal of Aesthetics and Culture. № 1 (3). С. 1–6.
- 180.Stimson R. J., Stough R., Nijkamp P. Endogenous Regional Development. Perspectives, Measurement and Empirical Investigation / R. J. Stimson, R. Stough, P. Nijkamp, Edward Elgar Publishing, 2011. 352 с.
- 181.Team of doctors descends into the Polar wastelands: the Yakut experience of mobile medical brigades to expand in the AZRF // Arctic Russia [Электронный ресурс]. URL: <https://arctic-russia.ru/en/article/team-of-doctors-descends-into-the-polar-wastelands-the-yakut-experience-of-mobile-medical-brigades-t>.
- 182.The Future of Delivery is Here // Wing Drone Delivery [Электронный ресурс]. URL: <https://wing.com/>.
- 183.Urban and peri-urban agriculture // Food and Agriculture Organization [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/urban-peri-urban-agriculture/en>.
- 184.Velarde Allazo E. A., Rondán Sanabria G. G., Mendoza-Montoya J. The Role of Light Spectrum in Plant Productivity and Quality in Vertical Farming Systems 2023.С. 1–6.
- 185.Welcome to Concordia // European Space Agency [Электронный ресурс]. URL: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Concordia/Welcome_to_Concordia2.
- 186.Welcome to the Canadian High Arctic Research Station // Government of Canada [Электронный ресурс]. URL: <https://www.canada.ca/en/polar-knowledge/CHARScampus.html>.
- 187.Wind F. I. Fire Island Wind, Renewable Wind Energy for Southcentral Alaska [Электронный ресурс]. URL: <https://fireislandwind.com/> (дата обращения: 16.03.2025).

188. Woldaregay AZ., Walderhaug S., Hartvigsen G. Telemedicine Services for the Arctic: A Systematic Review // JMIR medical informatics. 2017. № 2 (5). С. 1–16.
189. Young T. K., Chatwood S. Health care in the North: what Canada can learn from its circumpolar neighbours // CMAJ: Canadian Medical Association Journal. 2011. № 2 (183). С. 209–214.
190. Zohourian M. [и др.]. Modular Construction: A Comprehensive Review // Buildings. 2025. № 12 (15). С. 1–21.

Глава 1. Существующие стратегии и актуальные принципы создания объектов жизнеобеспечения арктического города.



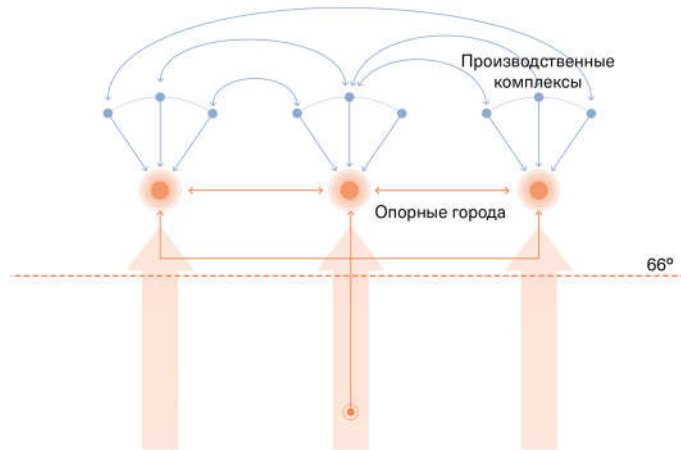


Рисунок 3. Метод территориально-производственных комплексов (ТПК).
Схема автора

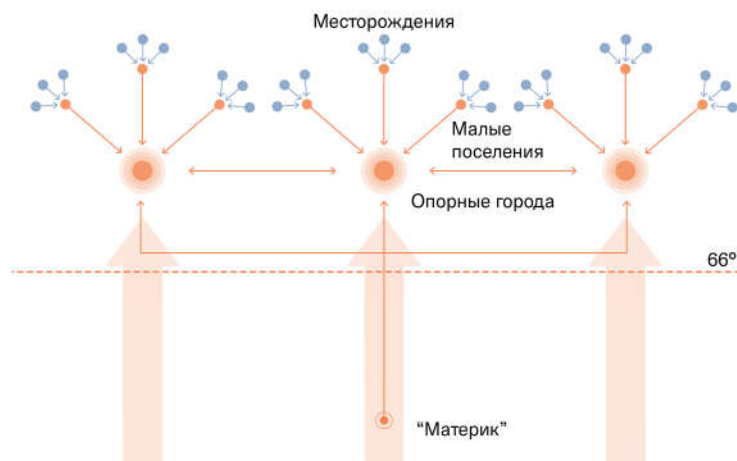


Рисунок 4. Метод опорно-тыловых баз. Схема автора

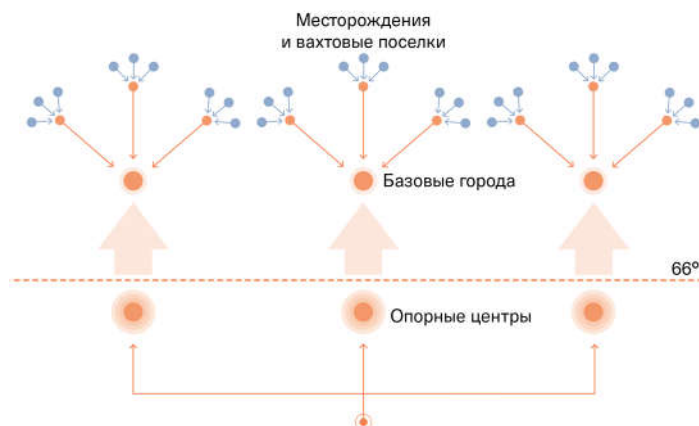


Рисунок 5. Концепция интерзональных систем. Схема автора

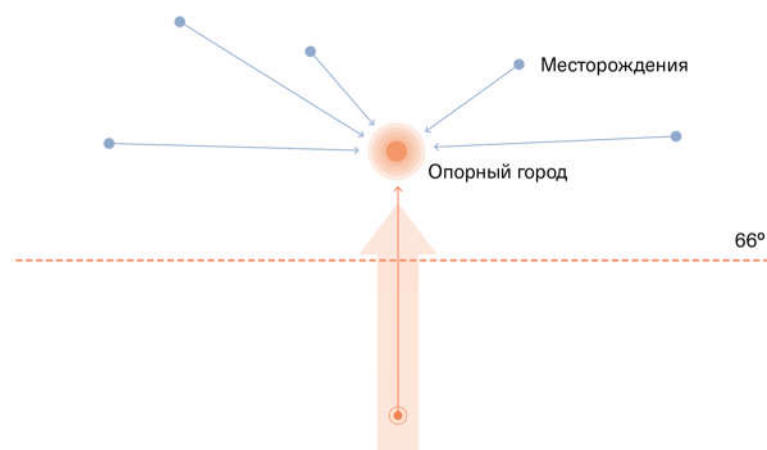


Рисунок 6. Европейская освоенческая школа. Схема автора



Рисунок 7. Проект вахтового поселка Ванкор "Роснефти" на Таймыре.
Фотография «Роснефти»



Рисунок 8. Проект вахтового поселка Новый Порт (Газпромнефть) на Ямале.
Фотография «Газпромнефть».

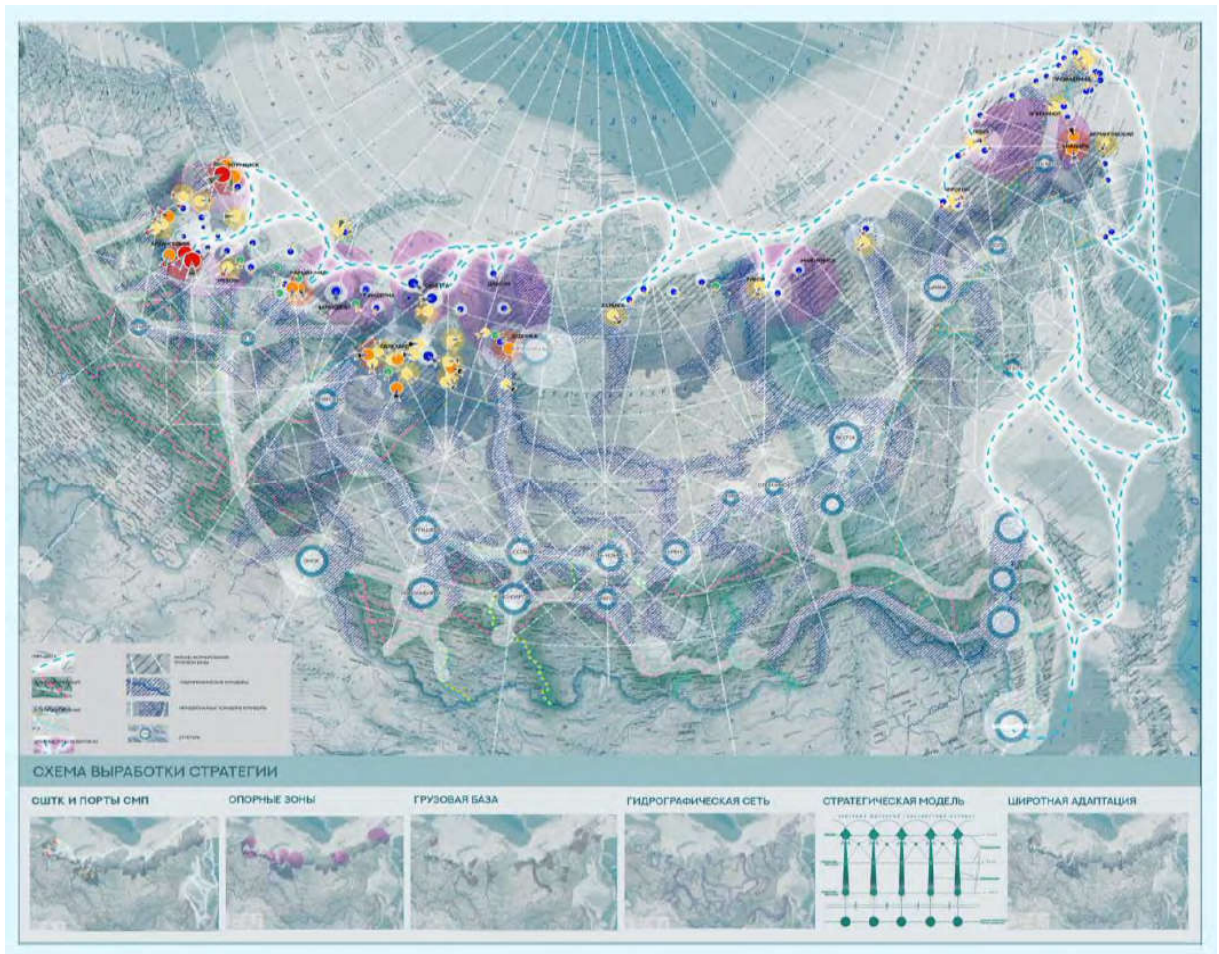


Рисунок 9. Общая принципиальная модель пространственной организации системы расселения Арктики. Схема Е.А. Чайки

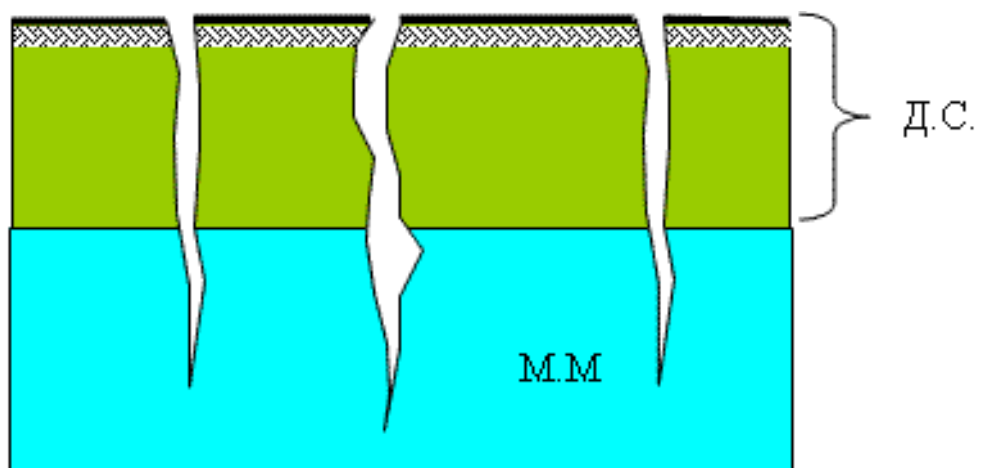


Рисунок 10. Схема развития явлений образования морозобойных трещин в деятельном слое грунта. Схема Ижевского государственного технического университета им. М. Т. Калашникова

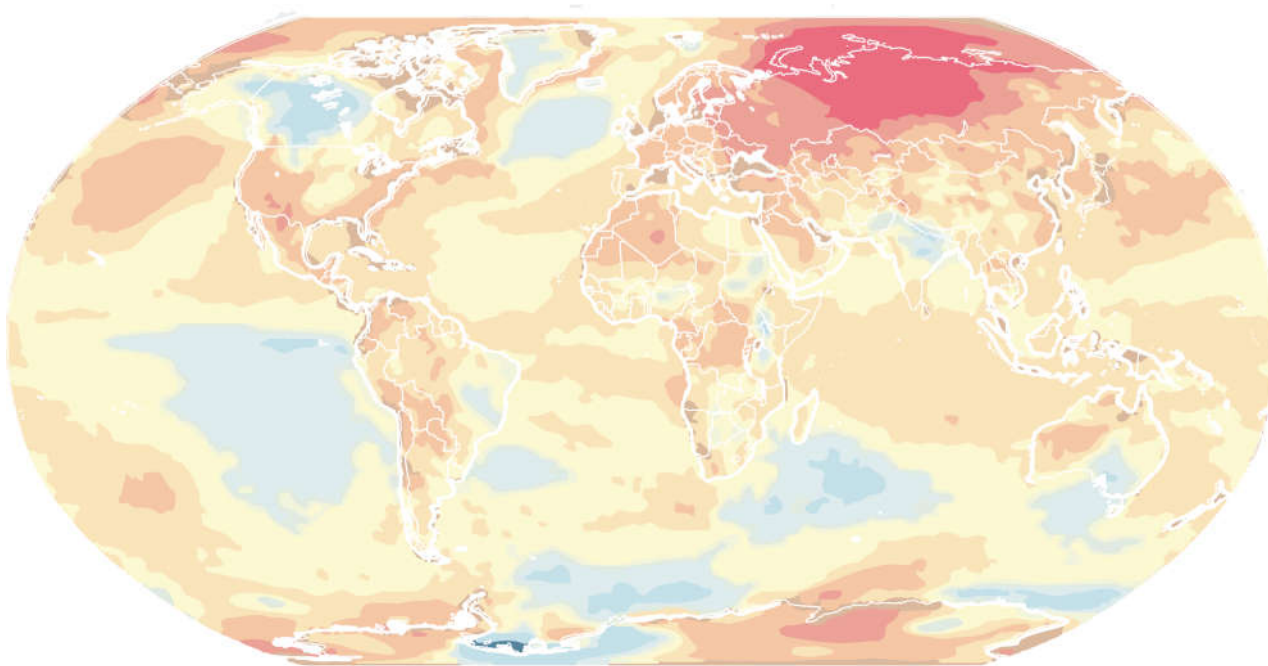


Рисунок 11. Отклонение температур 2020 года от средних за период 1981-2010. Схема автора.

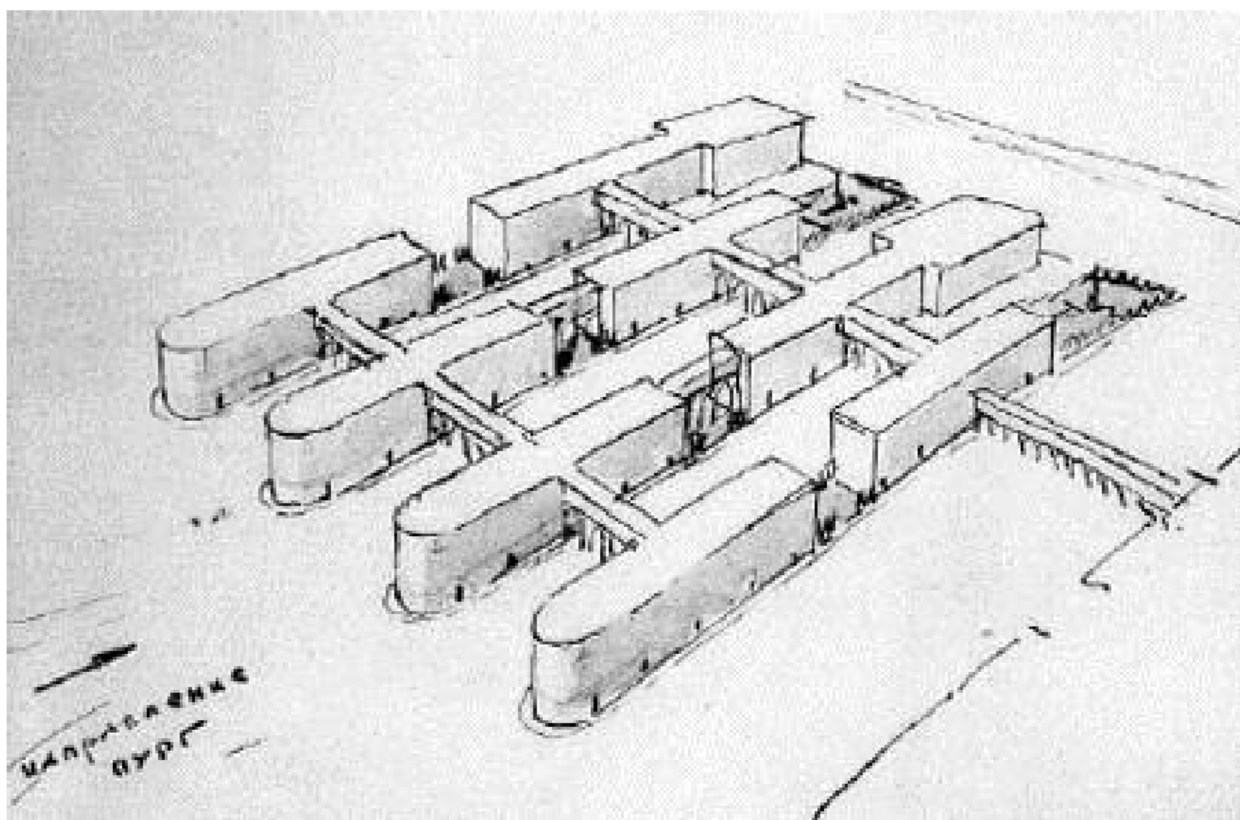


Рисунок 12. Эскиз К.Д. Халтурина



Рисунок 13. Аэрофотосъемка поселка Удачный в 2013 году. Фотография из открытых источников.

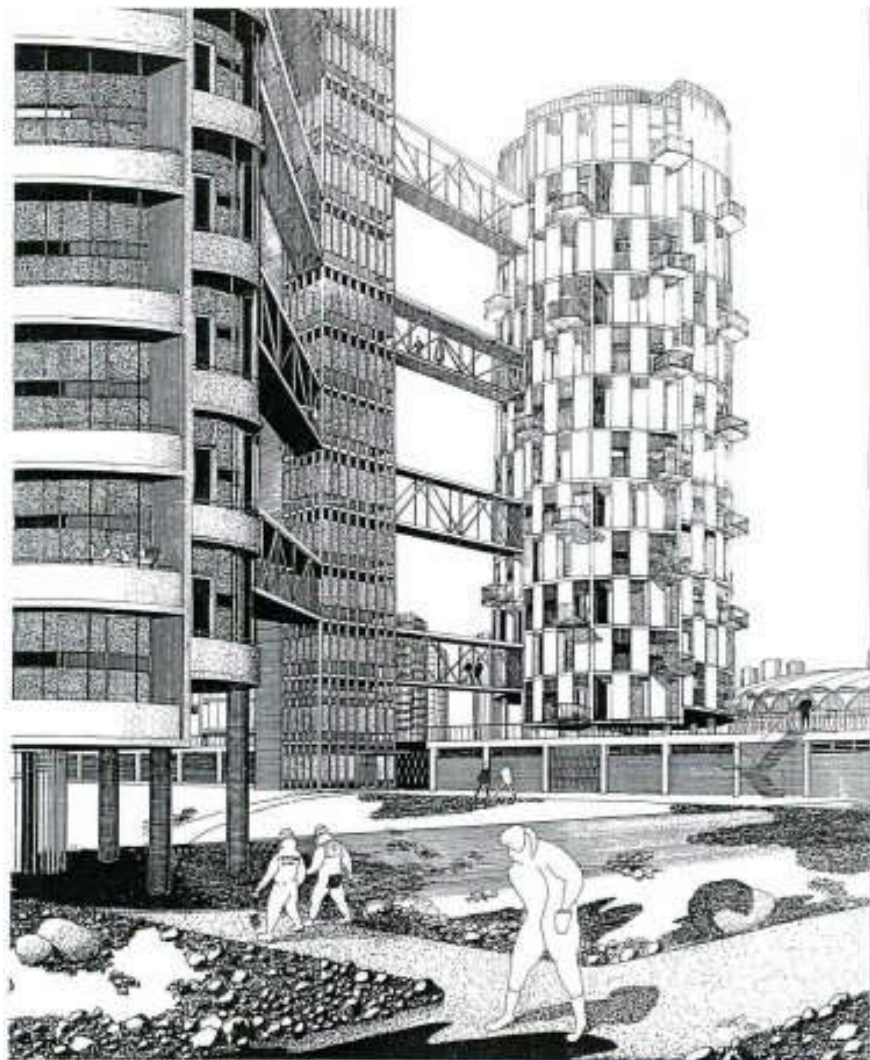


Рисунок 14. Проект Frobisher Bay: Domed city design.

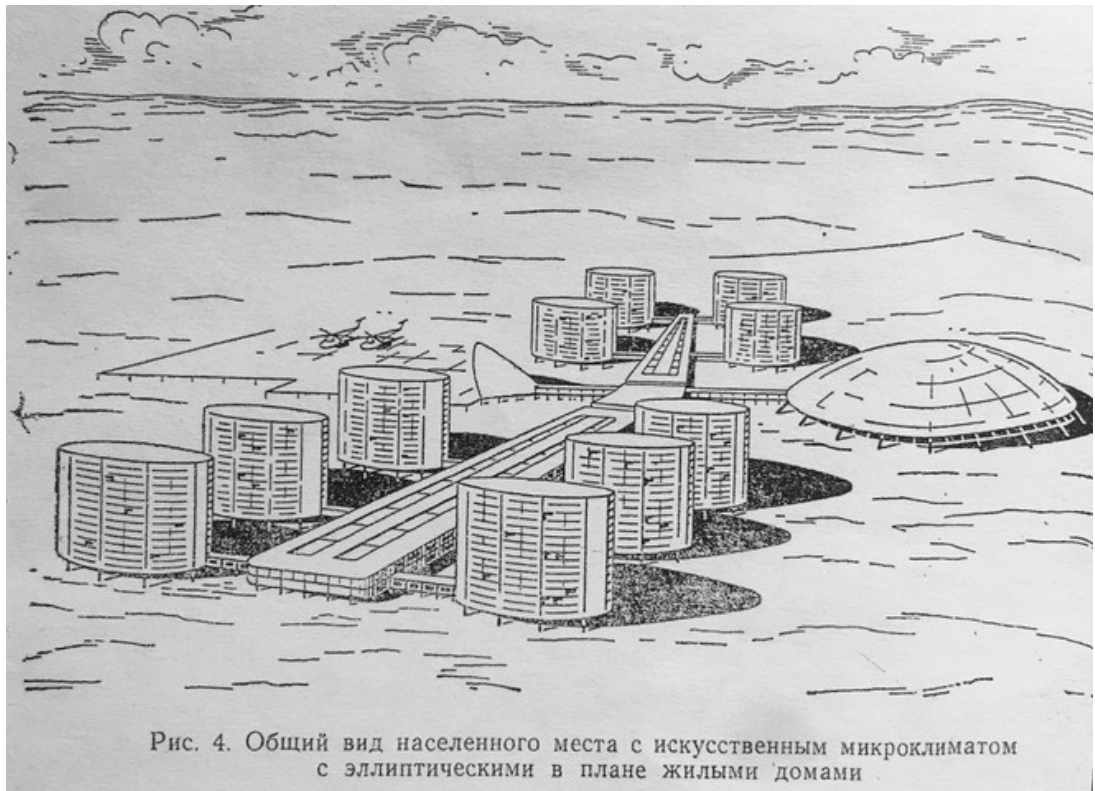


Рисунок 15. Проект Станислава Одновалова и Майи Цимбал. Материалы сайта Arzamas. «Проблемы Севера», № 10, 1964 год

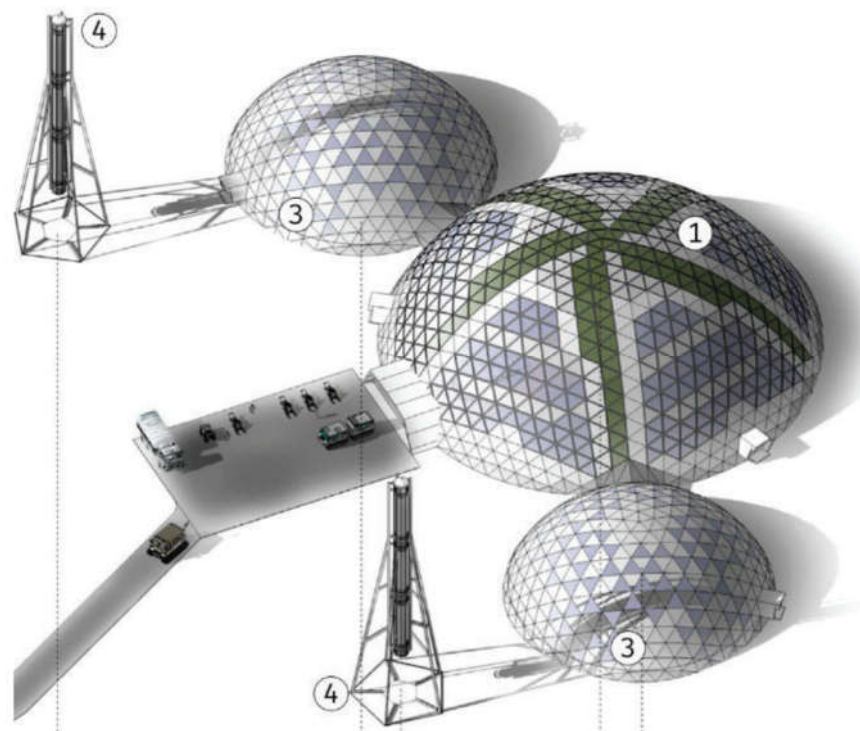


Рисунок 16. Проект базового лагеря. Автор Расторгуев С.В.

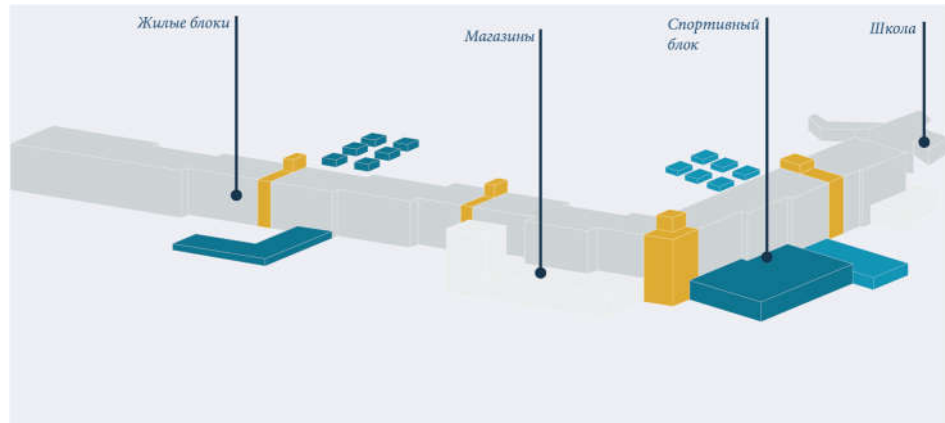


Рисунок 17. Концептуальное устройство г. Фермон. Автор: Ральф Эрскин.
Схема автора.



Рисунок 18. Парк будущих поколений «САХА Z» в Якутске. Материалы
Архитектурной мастерской «Атриум»



Рисунок 19. Проект локального социального центра в селе Сотникова в районе Улан-Удэ. Материалы компании "Новая Земля".



Рисунок 20. Проект Canadian High Arctic Research Station (CHARS). Материал EVOQ architects.



Рисунок 21. Разработки Инженерно-строительного института СПбПУ.
Материалы СППУ им. Петра Великого



Рисунок 22. Модульный дом компании "Теплориум". Фотография компании
"Теплориум"



Рисунок 23. Кольская ВЭС. Фотография "ЭЛ5 энерго"



Рисунок 24. ПАТЭС Ломоносов. Фотография «Росатом».



Рисунок 25. Проект вертикальной фермы Plantagon. Автор концепции Sweco.
Визуализация Sweco.



Рисунок 26. Вертикальная ферма AeroFarms. Фотография компании
"Aerofarms"



Рисунок 27. Вертикальная ферма Plenty Richmond Farm. Фотография компании "Plenty".

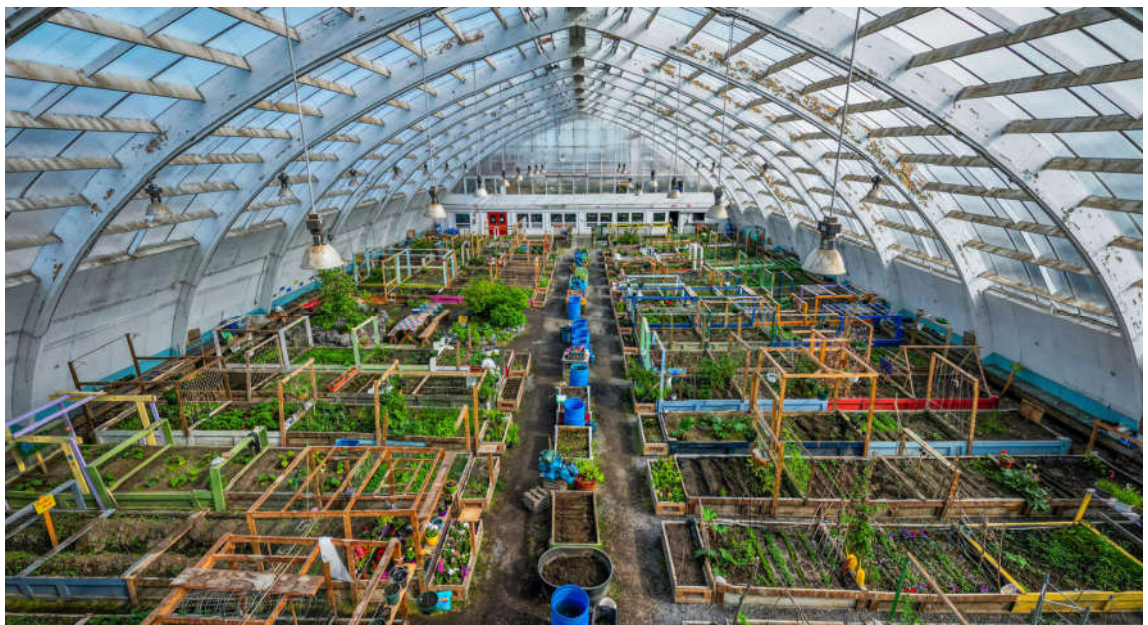


Рисунок 28. Интерьер небольшой арктической теплицы в г. Инувит в Канаде. Фотография портала "Landscape Ontario".



Рисунок 29. Взлетная площадка дрона Zipline в Нигерии. Фотография компании "Zipline".



Рисунок 30. Оганерская больница в Норильске в районе Талнах. Фотография «Википедия»



Рисунок 31. Аляскинский университет в Фэрбенксе. Источник «Википедия»



Рисунок 32. Стойбище на Ямале. Источник: Головнев А. В., Куканов Д. А.,
Перевалова Е. В. Арктика: атлас кочевых технологий / А. В. Головнев, Д. А.
Куканов, Е. В. Перевалова, СПб: МАЭ РАН, 2018. 352 с.

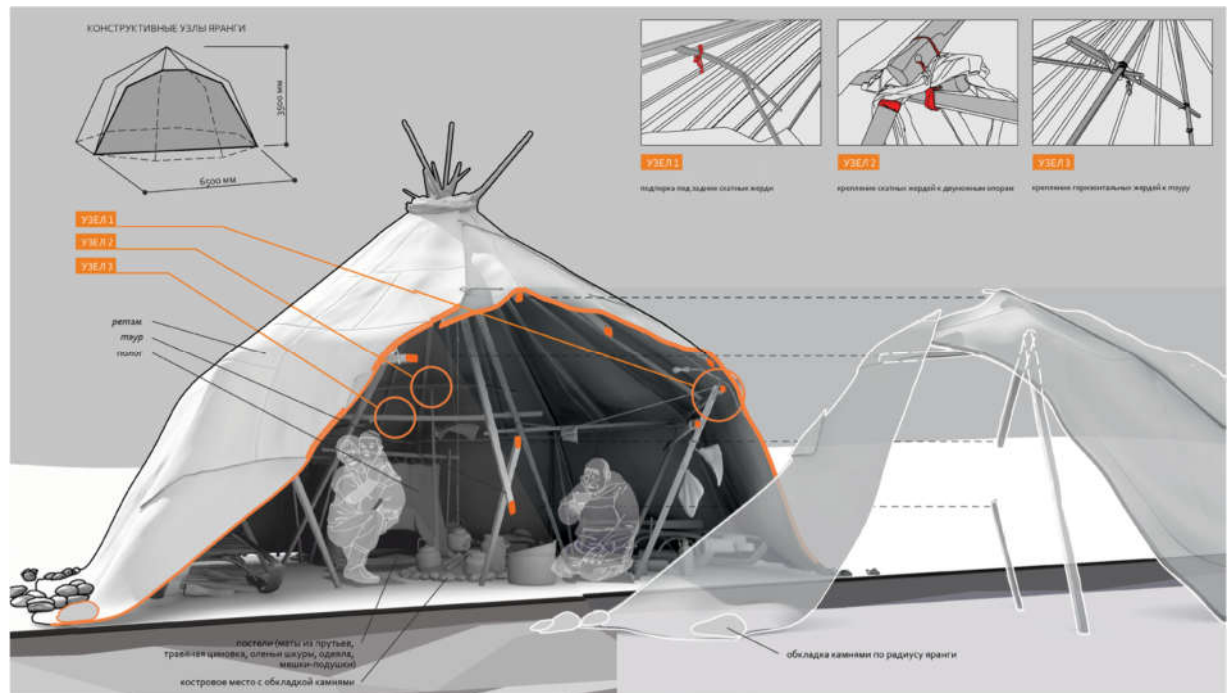


Рисунок 33. Конструкция и основные узлы яранги. Источник: Головнев А. В., Куканов Д. А., Перевалова Е. В. Арктика: атлас кочевых технологий / А. В. Головнев, Д. А. Куканов, Е. В. Перевалова, СПб: МАЭ РАН, 2018. 352 с.



Рисунок 34. Концептуальный мастер-план Токио. Автор: Кензо Танге. 1960 год. Макет. Источник: archeyes.com



Рисунок 35. Капсульная башня Накагин. Источник: Archdaily

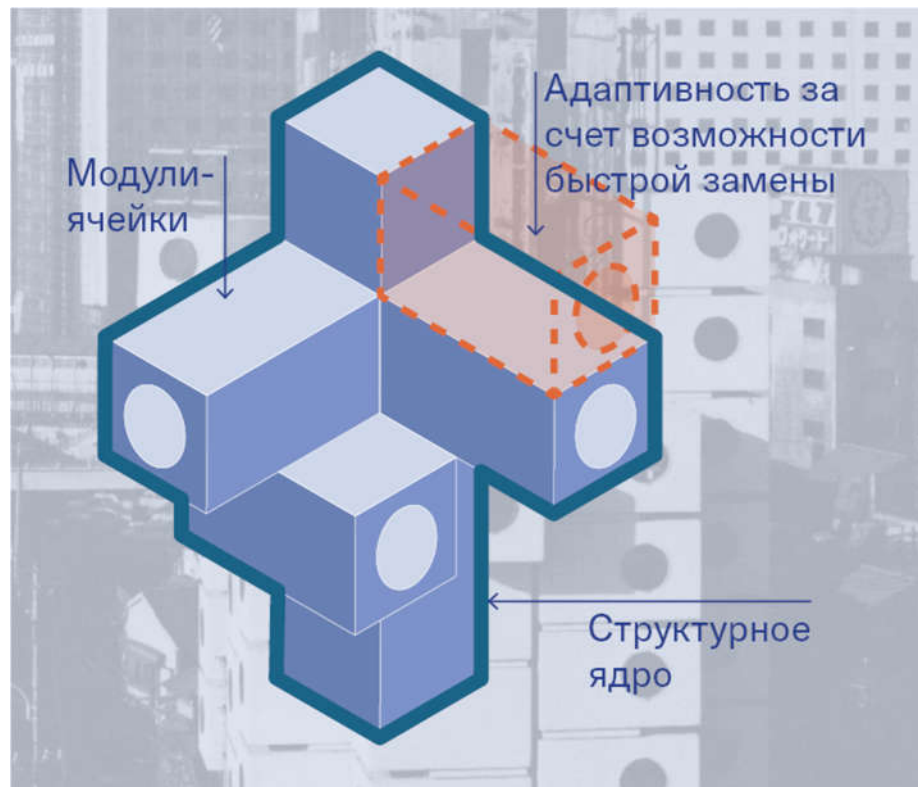


Рисунок 36. Пространственная логика проектов метаболистов. Схема автора.

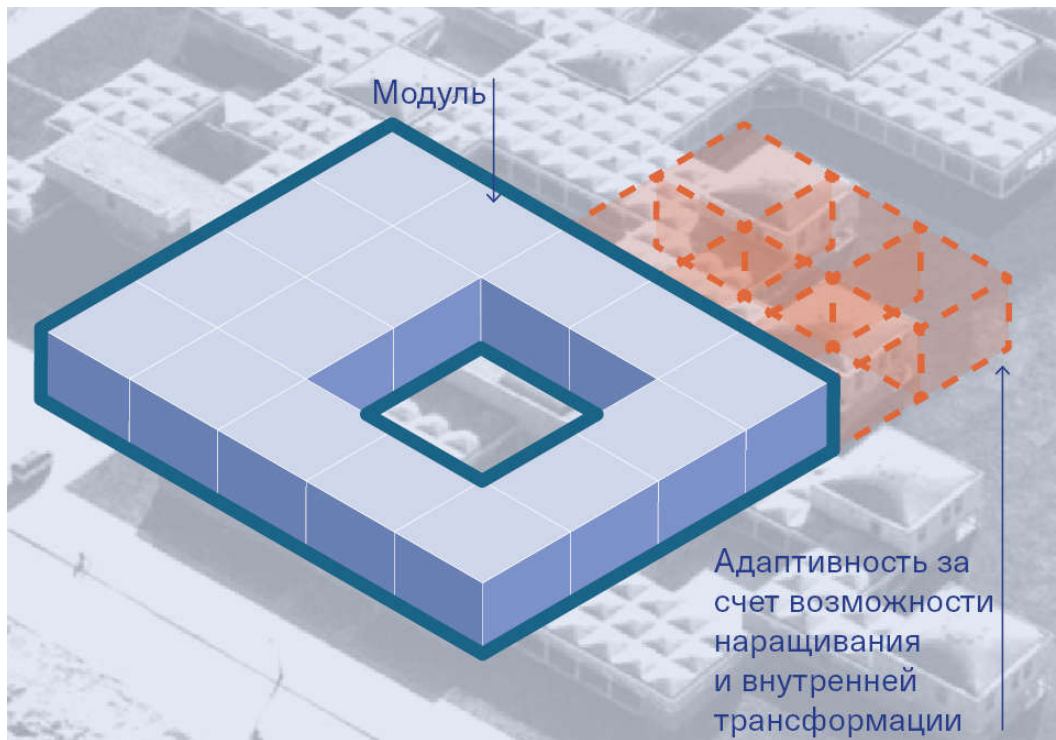


Рисунок 37. Пространственная логика проектов структуралистов. Схема автора.

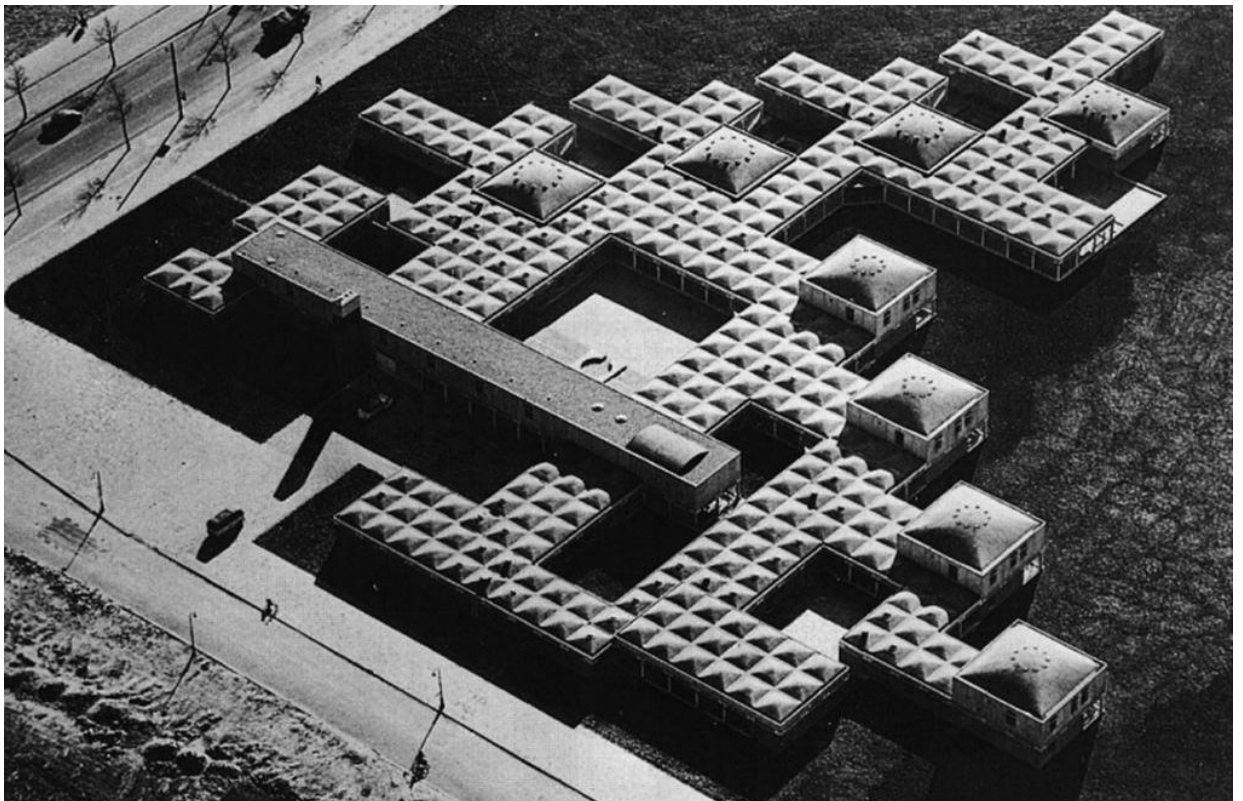


Рисунок 38. Проект приюта на окраине Амстердама за авторством Альдо ван Эйка. Источник: ArchEyes.com



Рисунок 39. Проект офисного здания компании Centraal Beheer в Апелдорне за авторством Германа Герцбергера. Источник: MRVDV.com



Рисунок 40. Франко-итальянская станция "Конкордия". Источник: Википедия



Рисунок 41. Бельгийская антарктическая станция «Принцесса Елизавета».
Источник: dxnews.com



Рисунок 42. Британская Антарктическая станция Halley VI. Источник:
archi.ru



Рисунок 43. Индийская антарктическая станция Bharati. Источник: e-architects.com

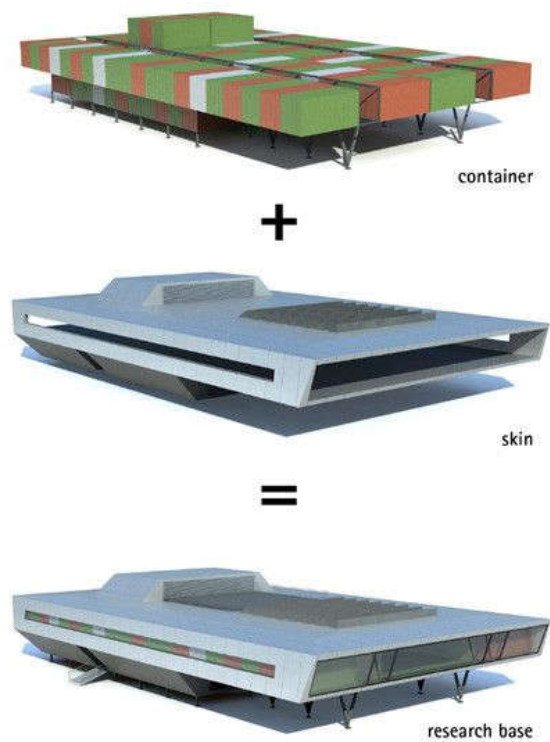


Рисунок 44. Конструктивная схема индийской антарктической станции Bharati. Схема Bof Arkitekten. Источник: arch2o.com

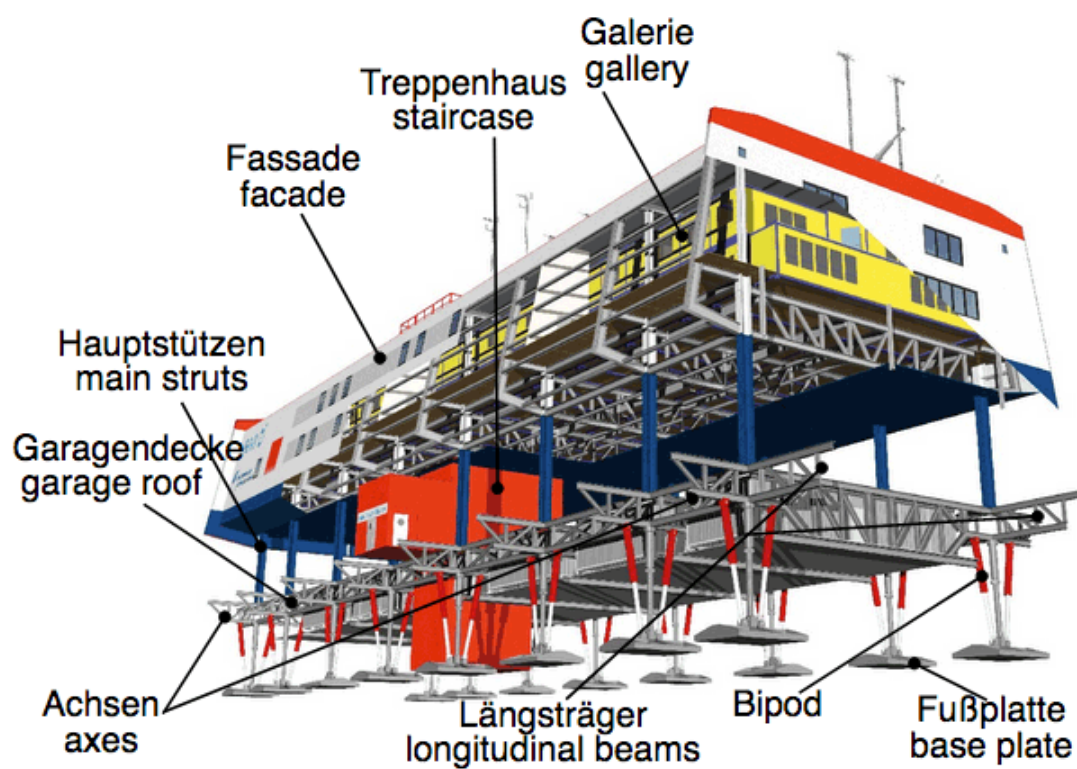


Рисунок 45. Конструктивная система немецкой антарктической станции Neumayer III. Источник: igh.de

Глава 2. Арктический специализированный комплекс как основа обновления жизнедеятельности городов и поселений Таймырского (Долгано-Ненецкого) района и Ямало-Ненецкого автономного округа

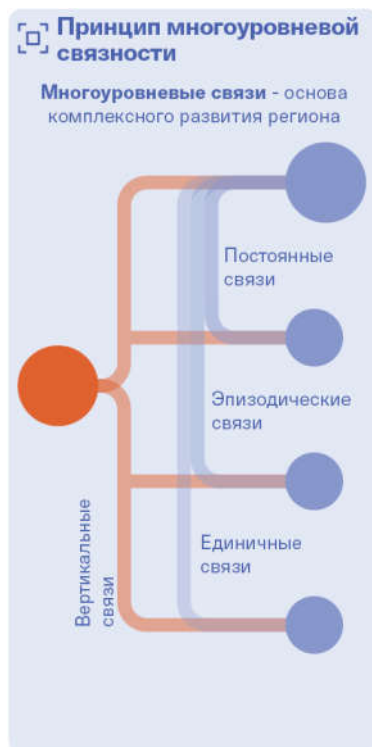


Рисунок 46. Принцип многоуровневой связности. Схема автора.

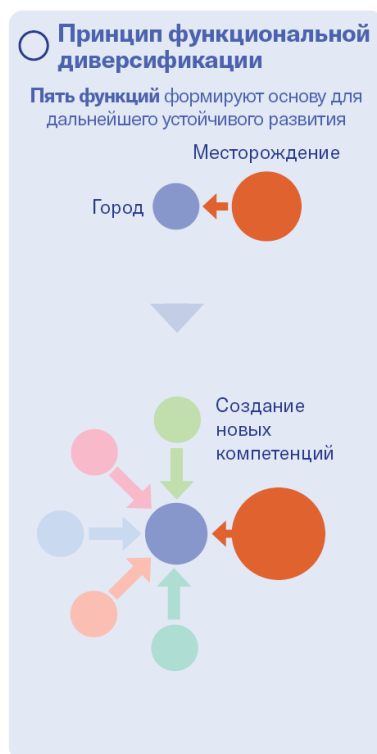


Рисунок 47. Принцип функциональной диверсификации. Схема автора.

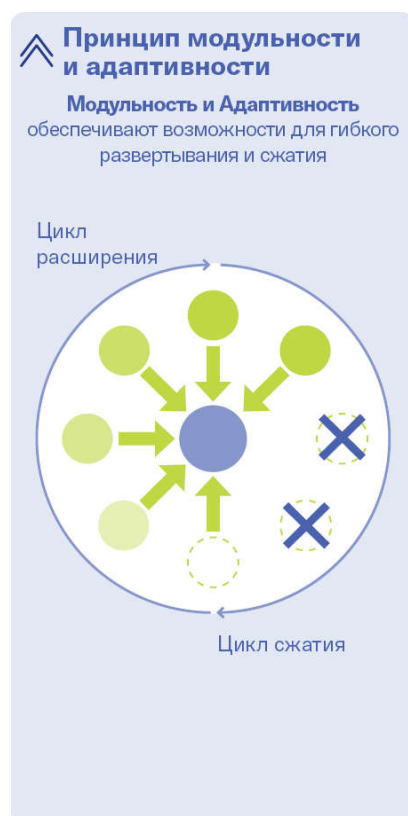


Рисунок 48. Принцип модульности и адаптивности. Схема автора.

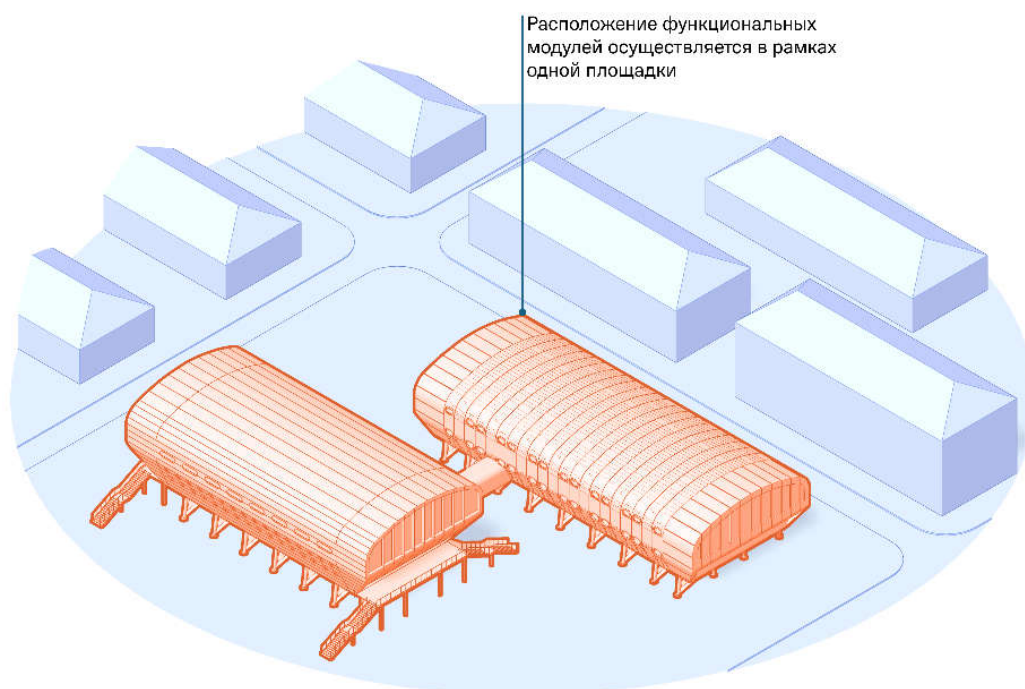


Рисунок 49. Варианты внедрения АСК в зависимости от типа города. Вариант внедрения в малое поселение. Схема автора.

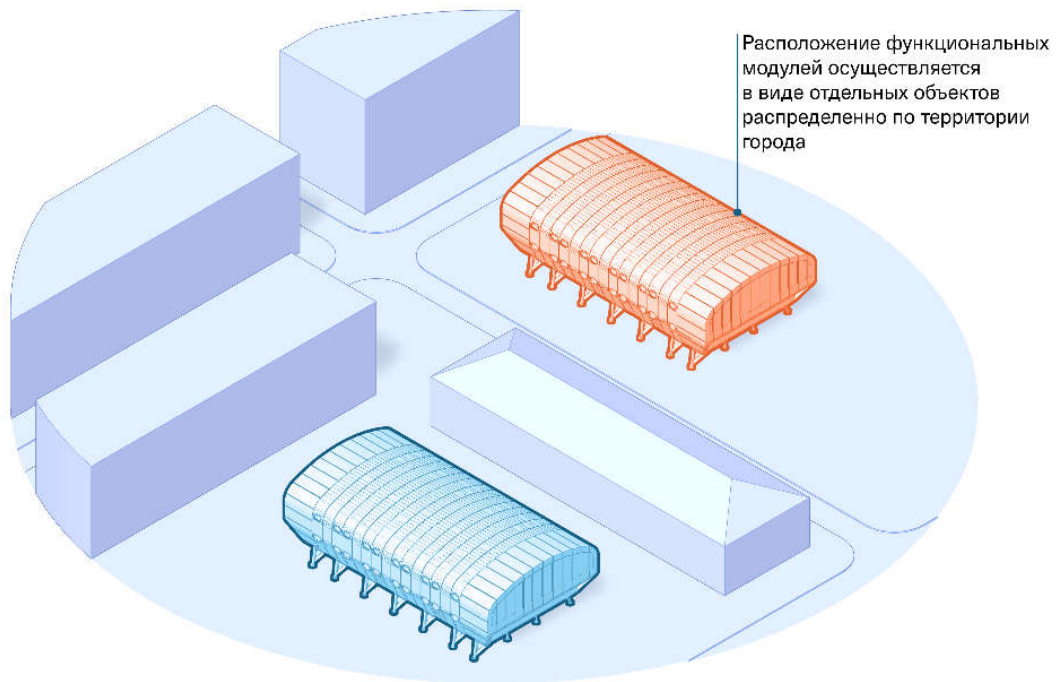


Рисунок 50. Варианты внедрения АСК в зависимости от типа города. Вариант внедрения в крупное или среднее поселение. Схема автора.

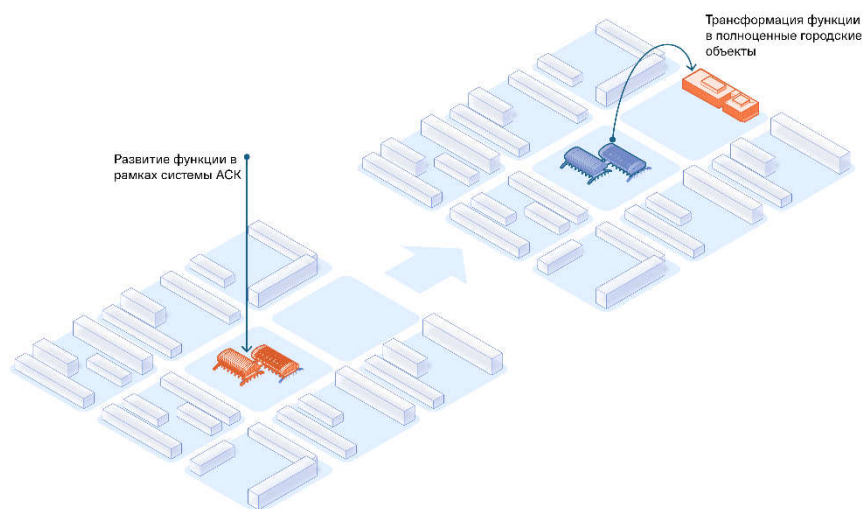


Рисунок 51. Вариант развития компонента АСК. По мере роста востребованности, функция может приобретать формы полноценного обособленного функционального ядра. Схема автора.

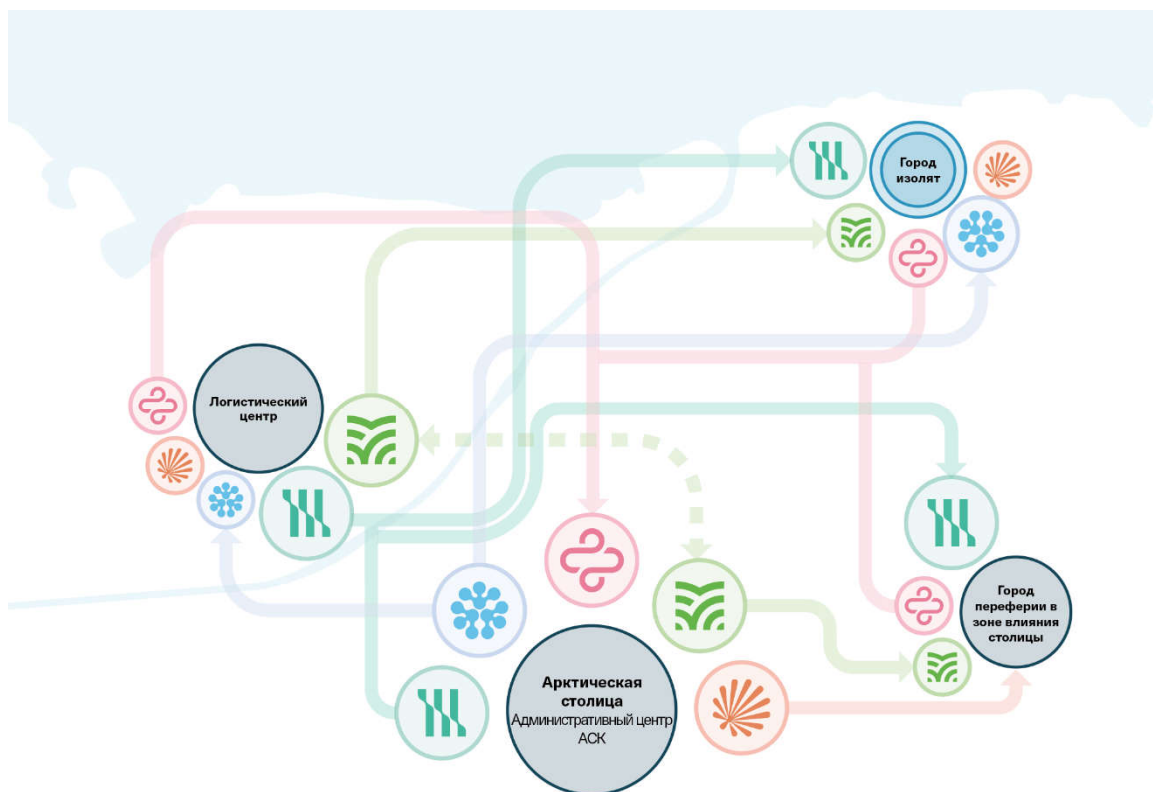


Рисунок 52. Концептуальная схема функционирования АСК в структуре расселения Ямала и Таймыра.

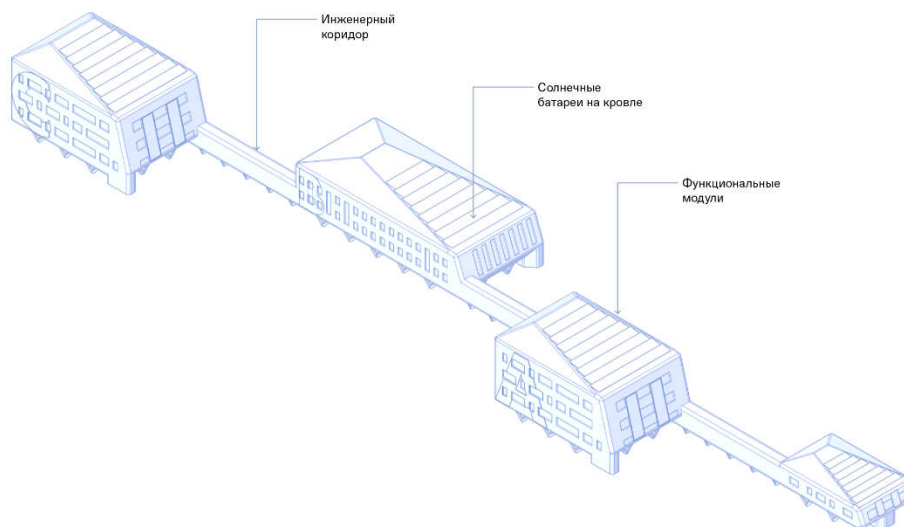


Рисунок 53. Вариант компоновки АСК по модели Тимптон. Схема автора.

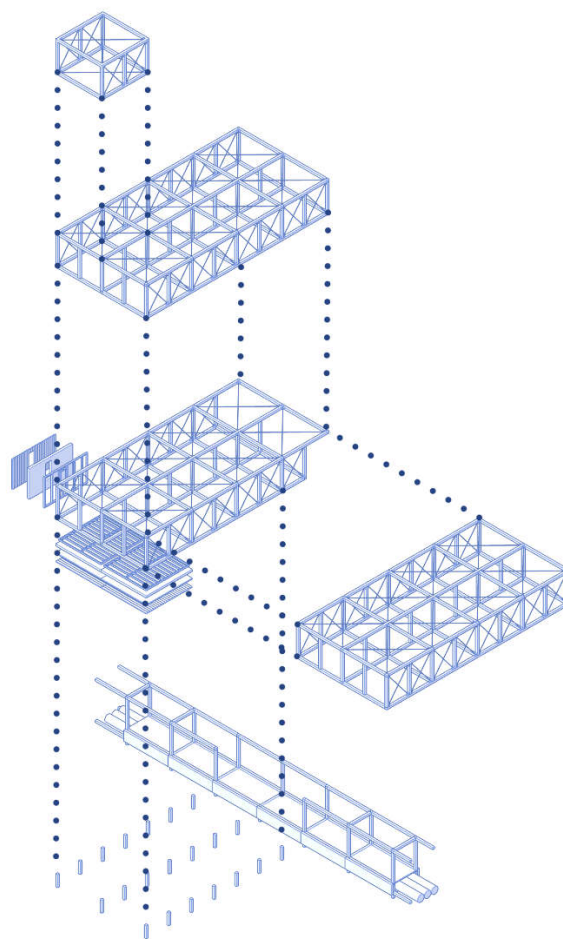


Рисунок 54. Конструктивная система АСК, реализуемая по модели Тимптон в малых и изолированных населенных пунктах ЯНАО и Таймыра. Схема автора.



Рисунок 55. Визуальный образ модуля АСК в малых городах периферии и субпериферии с потенциалом роста. Изображение автора.

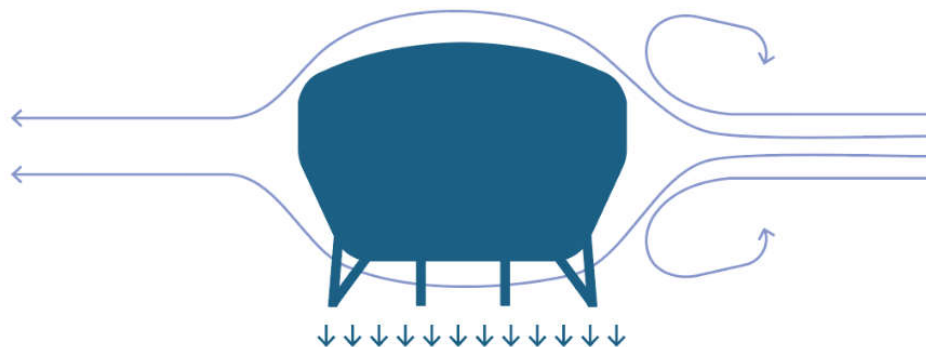


Рисунок 56. Принцип аэродинамического формообразования АСК. Схема автора.

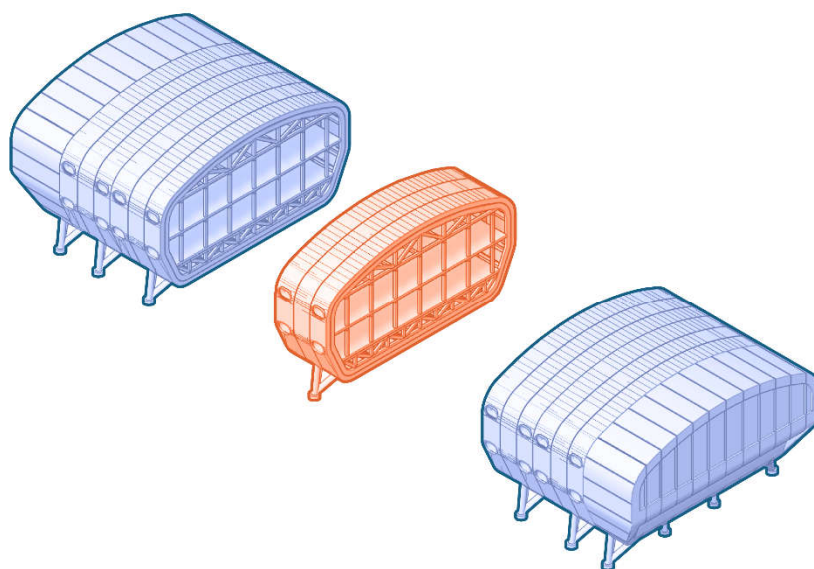


Рисунок 57. Коммуникационный модуль АСК. Схема автора.



Рисунок 58. Визуализация жилого модуля АСК. Изображение автора.



Рисунок 59. Визуализация интерьера модуля рекреации и социализации АСК. Изображение автора.

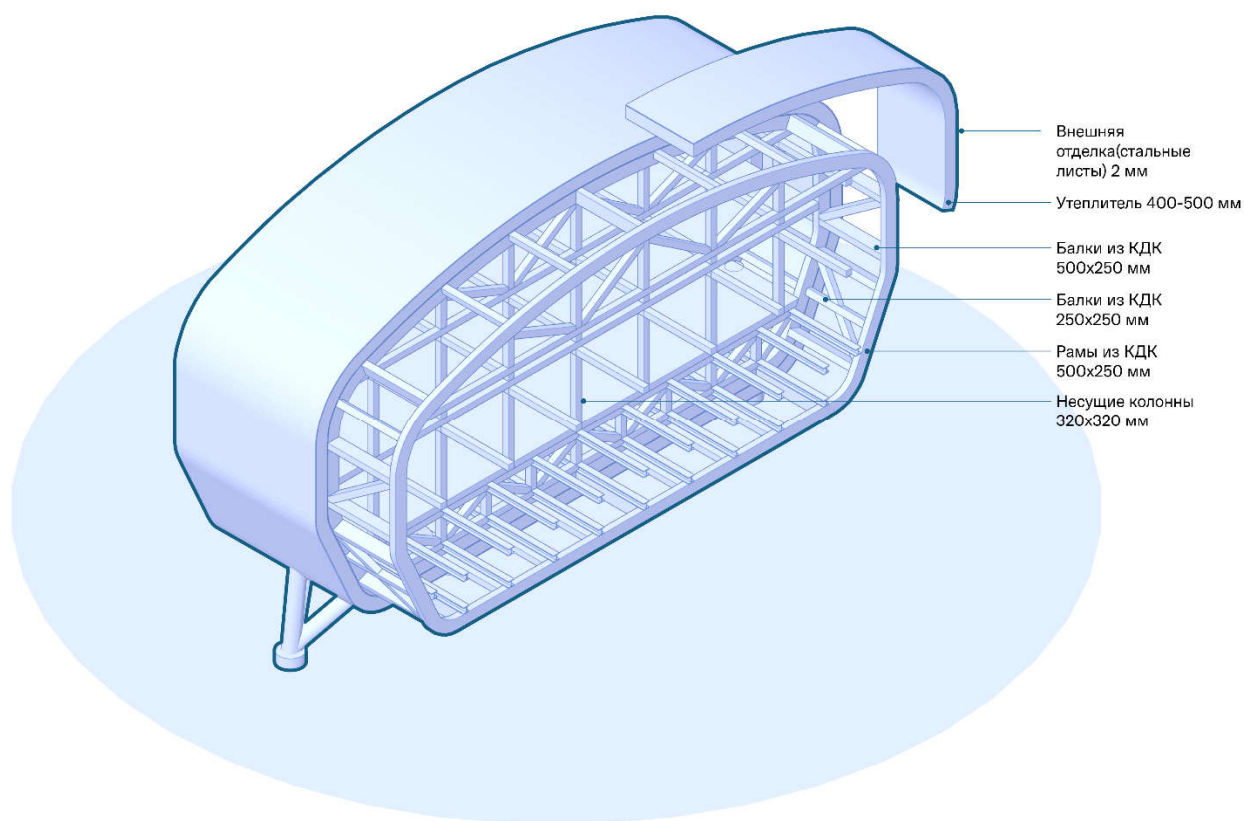


Рисунок 60. Конструктивная схема АСК. На схеме изображен одна двухэтажная секция габаритами 23,4 на 6 на 12,5 м. Схема автора

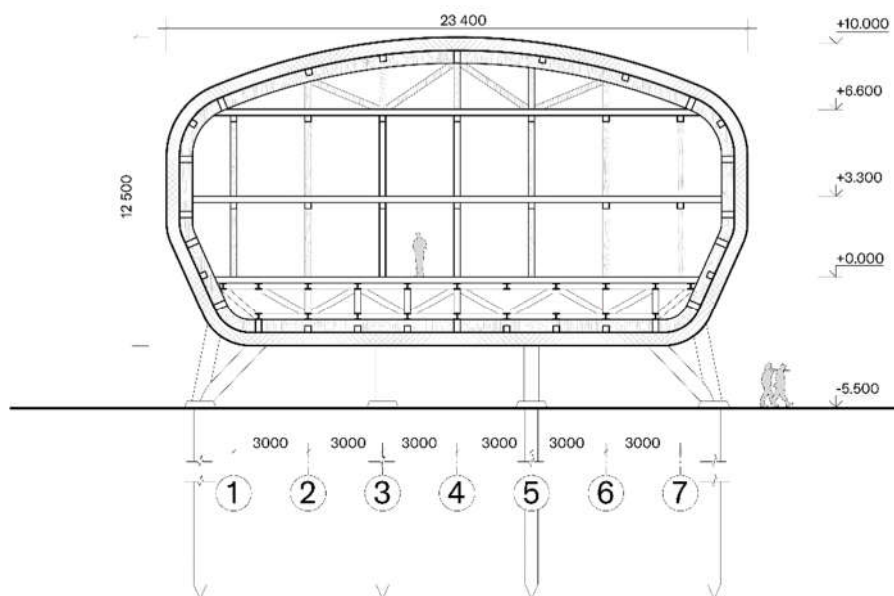


Рисунок 61. Схема разреза типовой двухэтажной секции АСК. На схеме изображен 1 секция габаритами 23,4 на 6 на 12,5 м. Схема автора

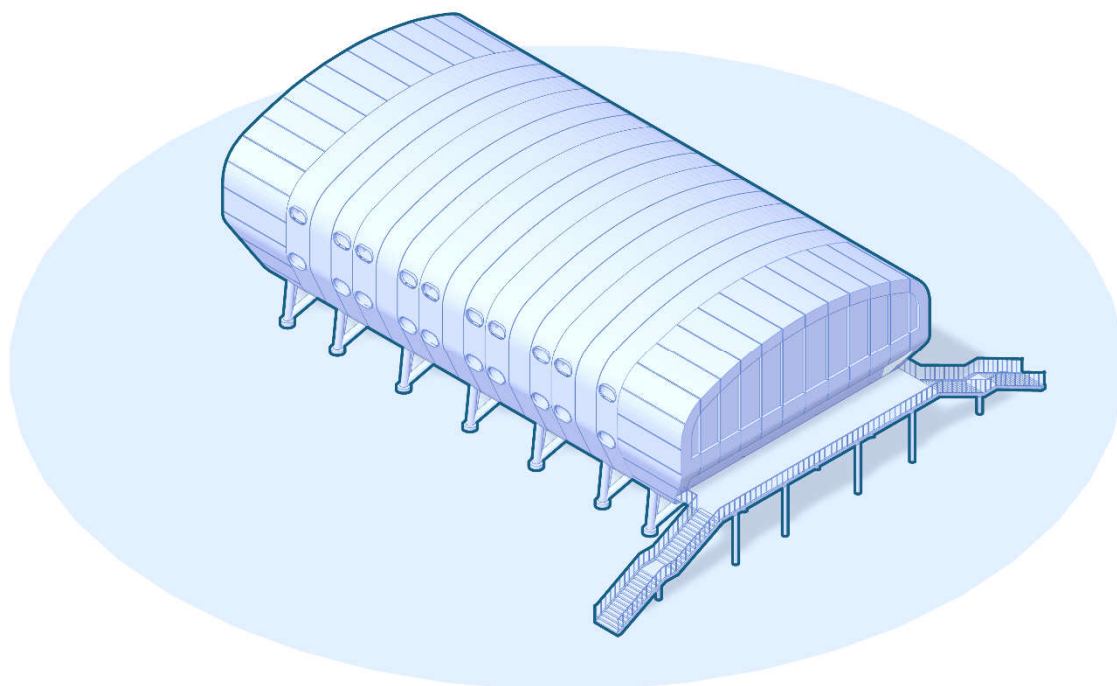


Рисунок 62. Схема двухэтажного модуля АСК в собранном состоянии. Схема автора

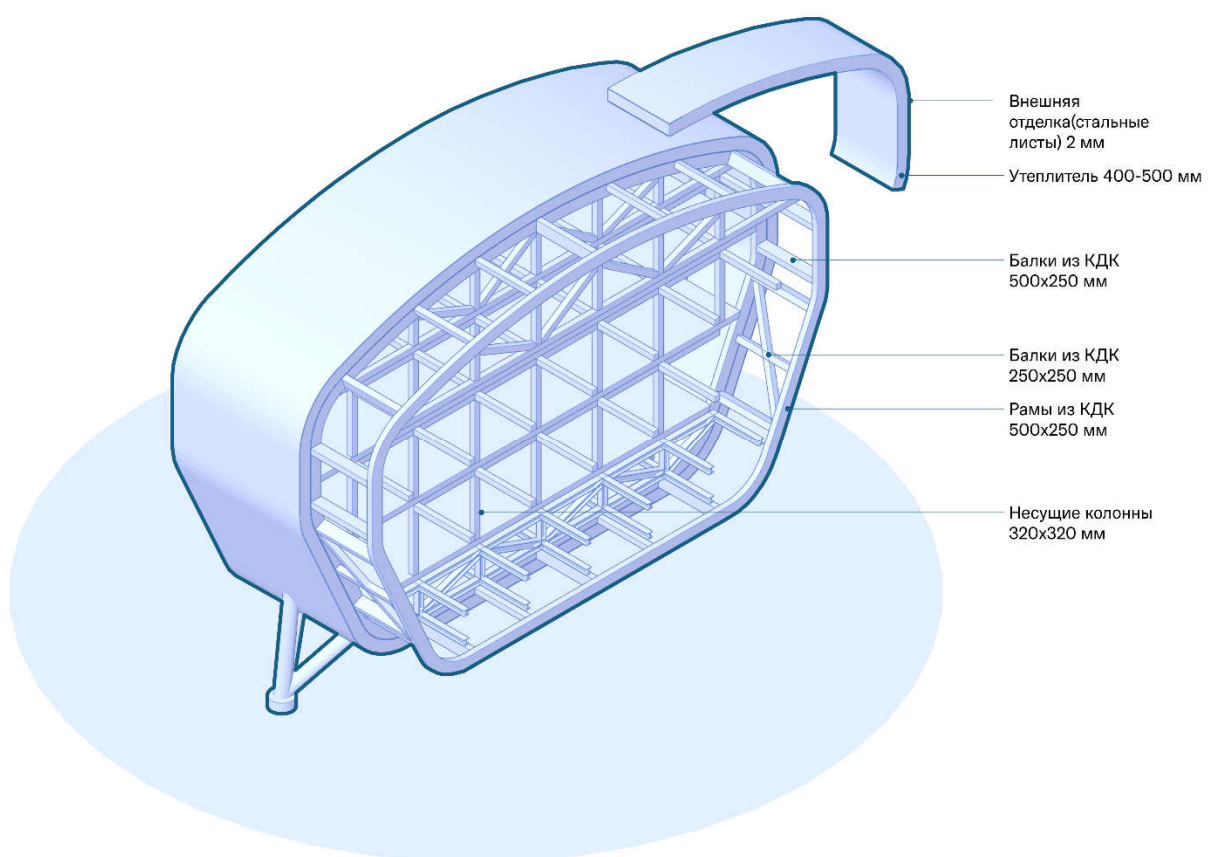


Рисунок 63. Конструктивная схема АСК. На схеме изображен одна трехэтажная секция габаритами 23,4 на 6 на 15,9 м. Схема автора

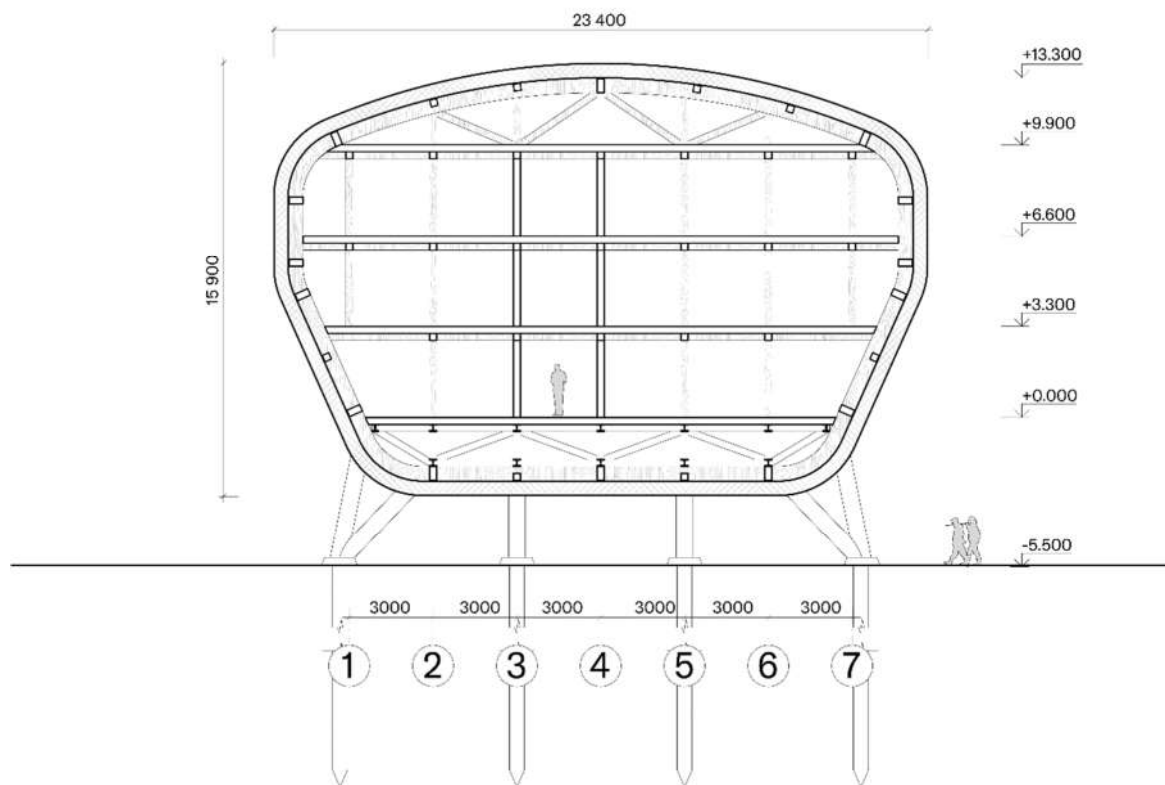


Рисунок 64. Схема разреза типовой трехэтажной секции АСК. На схеме изображен 1 секция габаритами 23,4 на 6 на 15,9 м. Схема автора

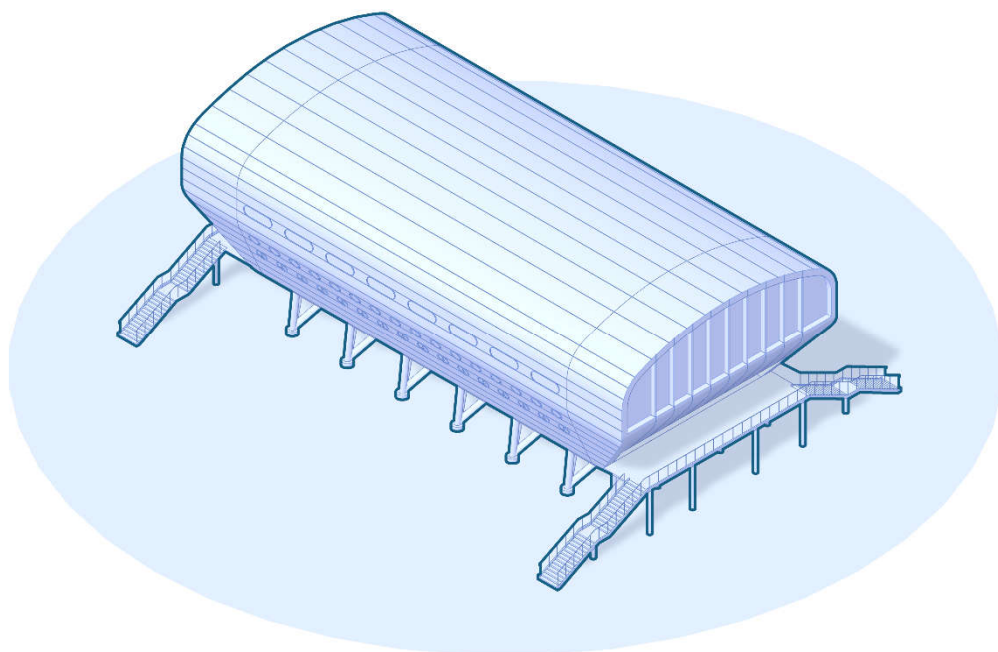


Рисунок 65. Схема трехэтажного модуля АСК в собранном состоянии. Схема автора

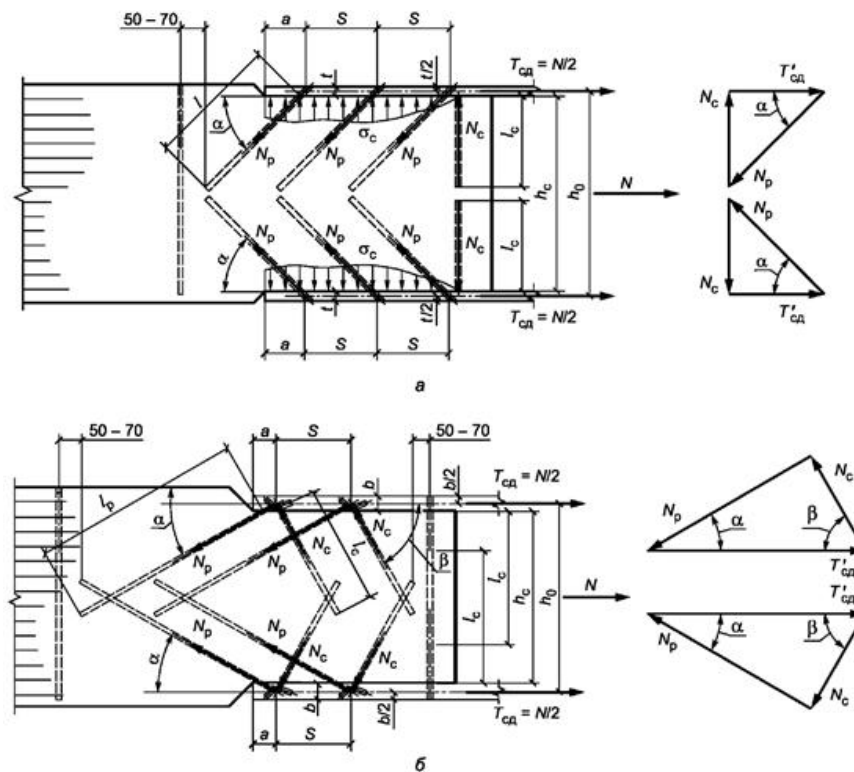


Рисунок 66. Конструкции деревянные клееные на клеенных стержнях.
Схема СП 382.1325800.2017

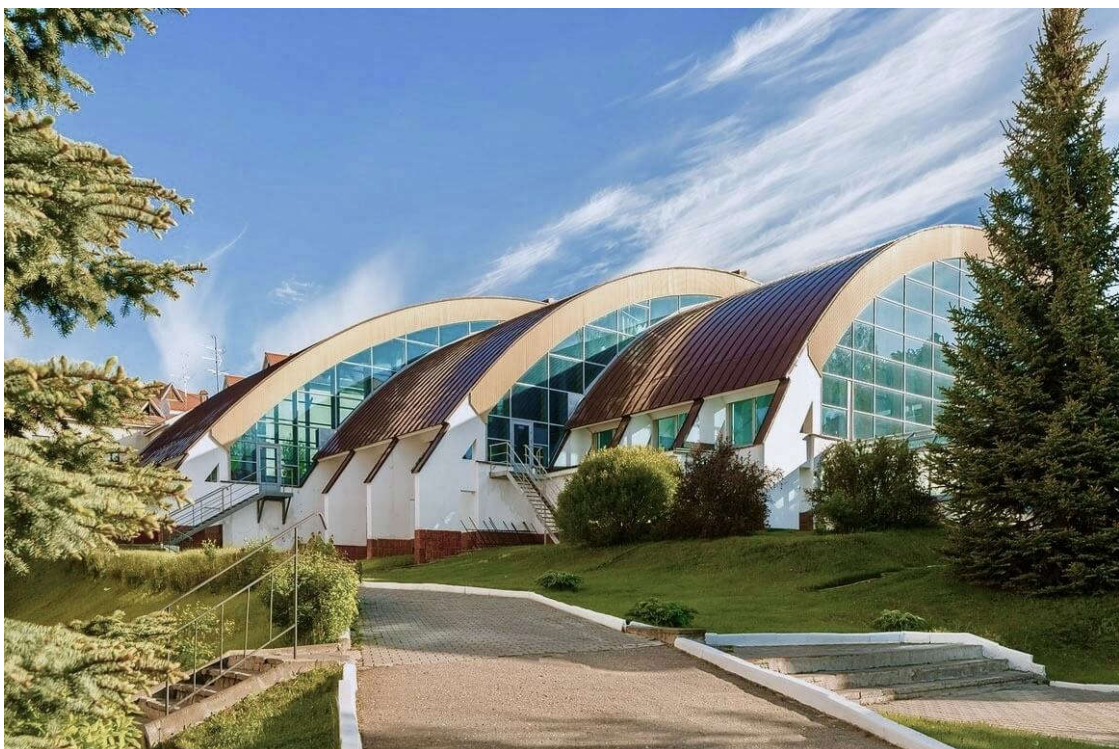


Рисунок 67. Спортивный комплекс пансионата "Буря" (Московская область).
Фотография «РЖД-Здоровье».

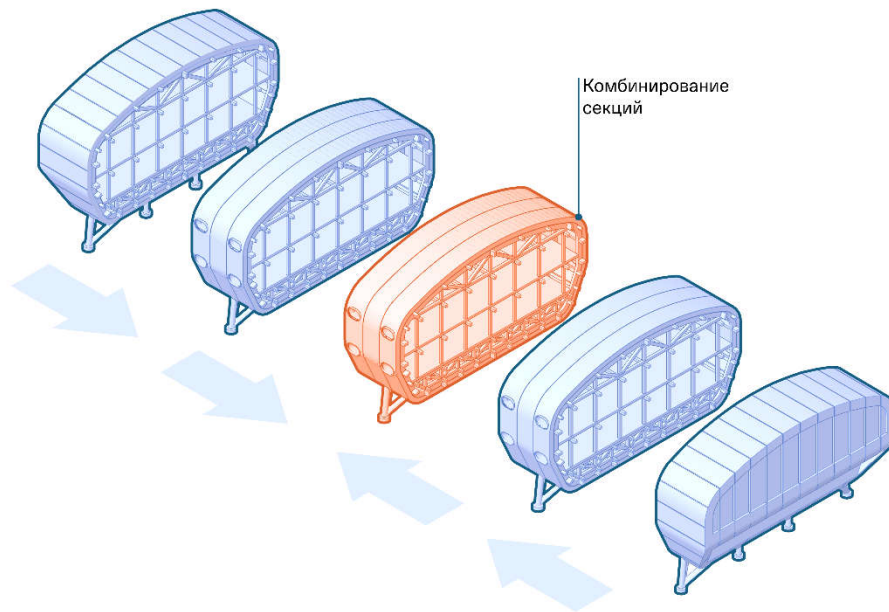


Рисунок 68. Принцип, по которому производится комбинаторика секций АСК.
Схема автора

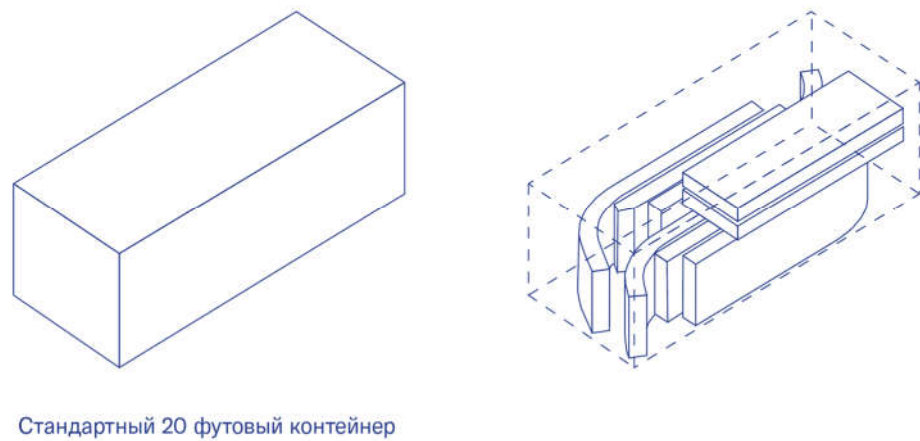


Рисунок 69. Компоновка составных элементов АСК заводского изготовления в стандартном 20 футовом контейнере. Схема автора



Рисунок 70. Визуализация ночной подсветки АСК. Изображение автора.



Рисунок 71. Конфигурация солнечных панелей на фасадах и прилегающей территории научной станции Princess Elisabeth. Фотография International Polar Foundation



Рисунок 72. Конфигурация солнечных панелей на фасадах и прилегающей территории научной станции Princess Elisabeth. Фотография International Polar Foundation

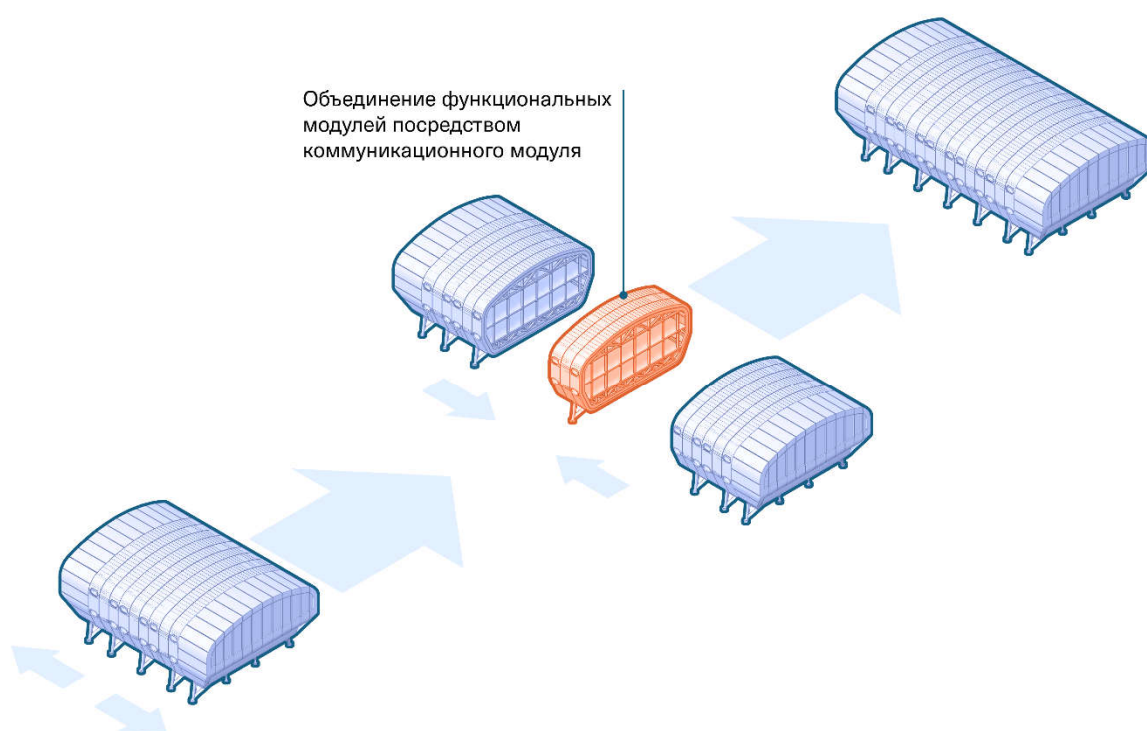


Рисунок 73. Алгоритм сжатия и расширения АСК. Метод расширения посредством коммуникационного модуля. Схема автора.

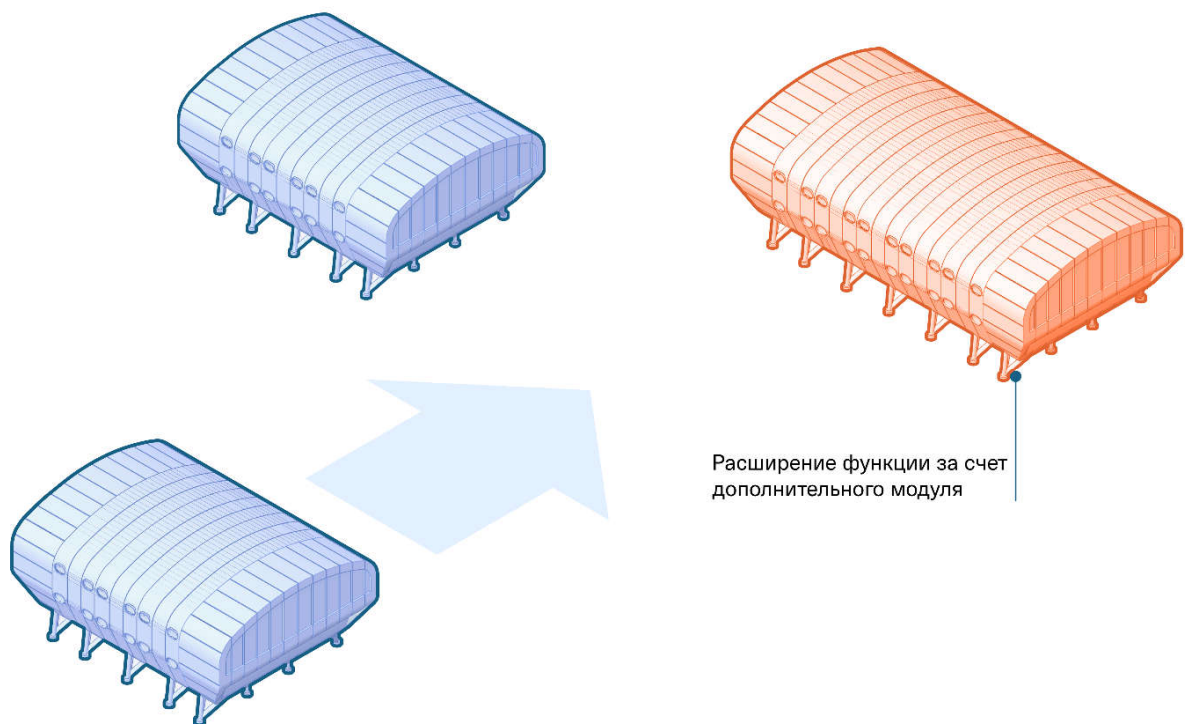


Рисунок 74. Алгоритм сжатия и расширения АСК. Метод расширения посредством строительства дополнительного функционального модуля. Схема автора.

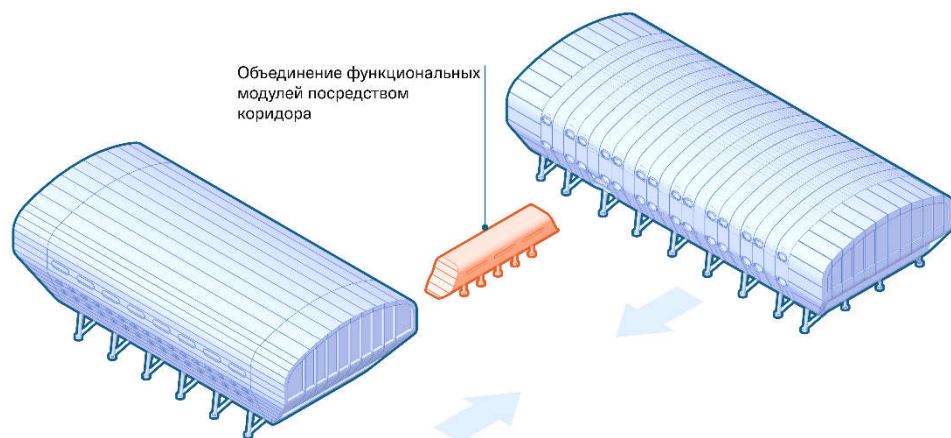


Рисунок 75. Принцип расширения АСК путем создания дополнительного корпуса и организацией теплого перехода между функциональными модулями. Схема автора.



Рисунок 76. Алгоритм развертывания АСК. Схема автора.

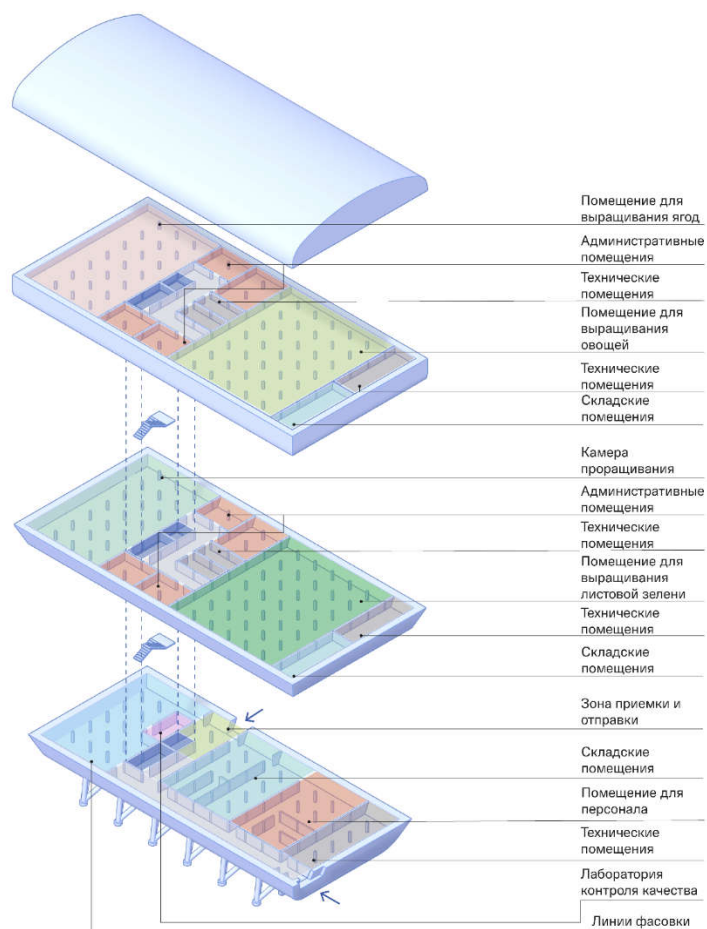


Рисунок 77. Функциональная блок-схема типа II «Агропромышленный блок в структуре АСК». Схема автора



Рисунок 78. Визуализация зала выращивания листовой зелени агропромышленного компонента АСК. Изображение автора.



Рисунок 79. Схема функционирования агропромышленного компонента АСК.
Схема автора.

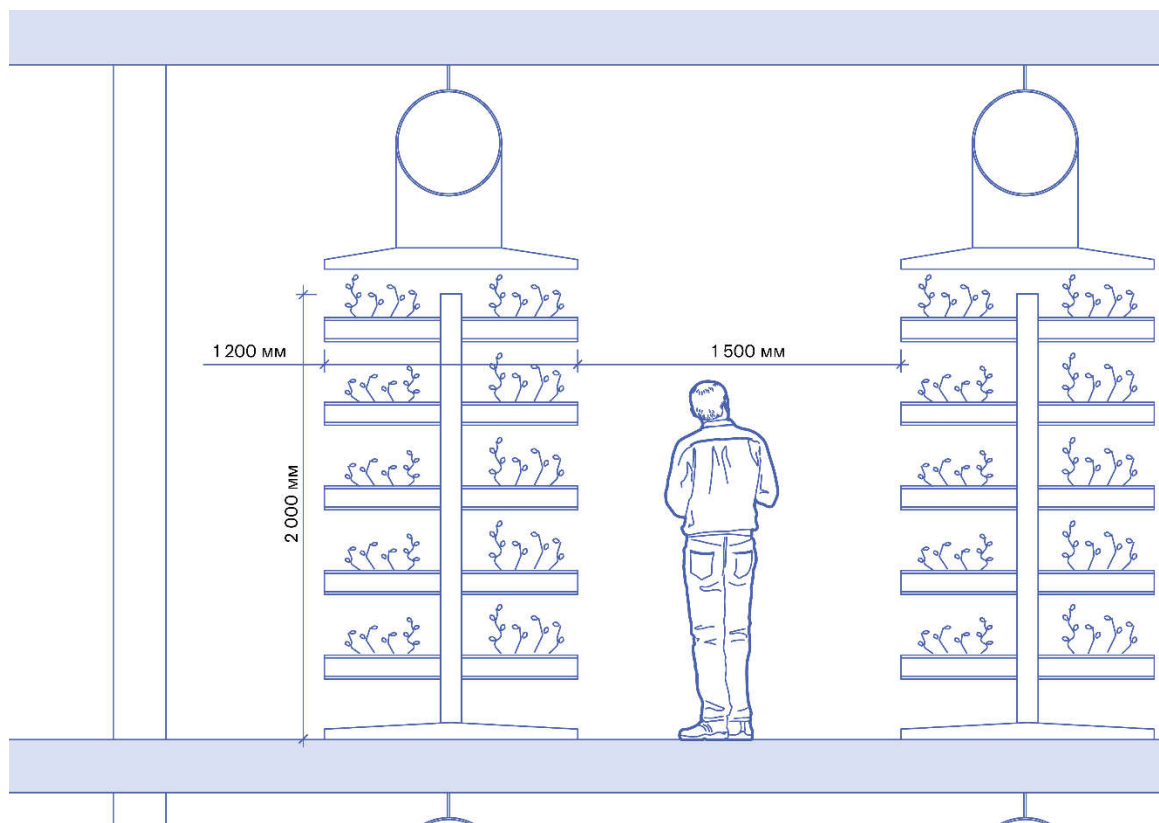


Рисунок 80. Схема расположения стеллажей на агропромышленной ферме АСК. Схема автора.

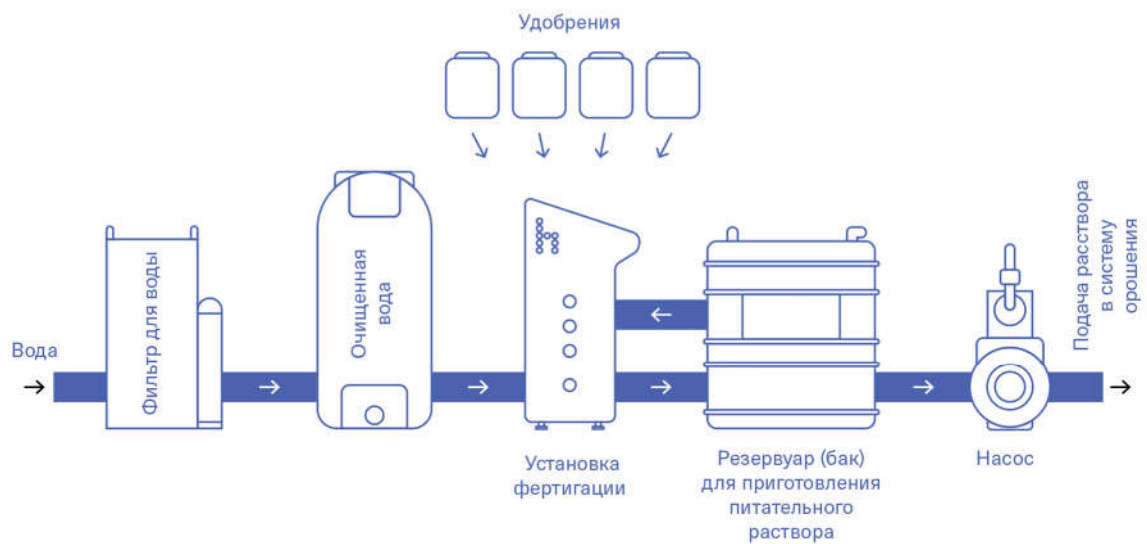


Рисунок 81. Система подготовки удобрений. Схема IFarm

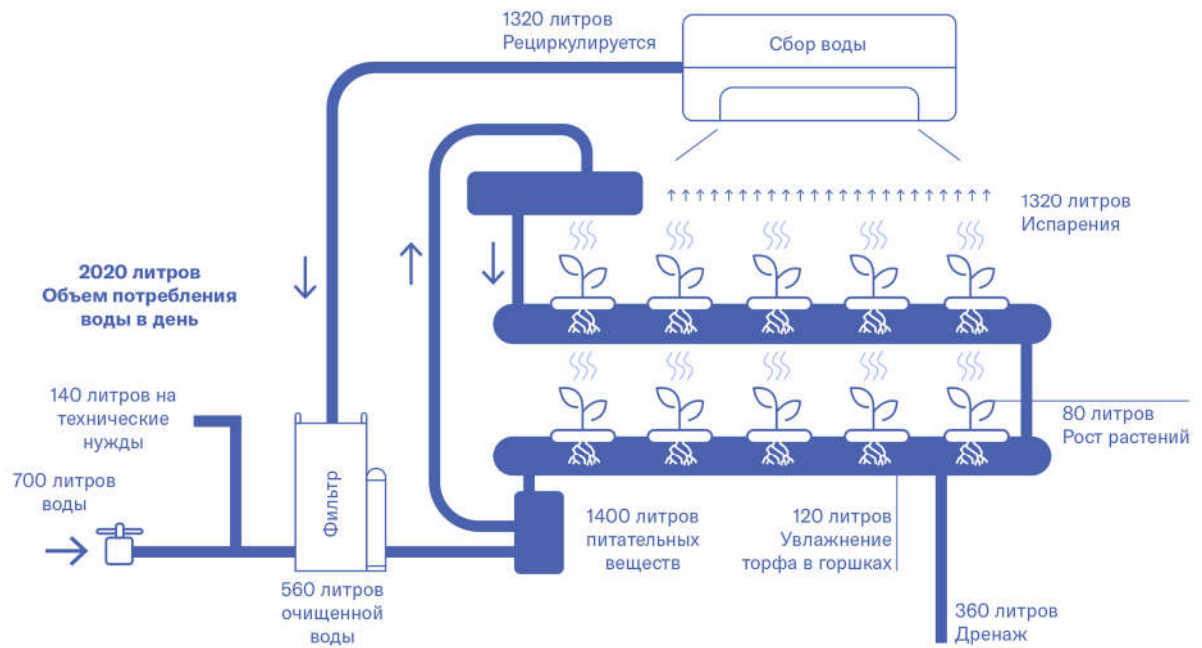


Рисунок 82. Система рециркуляции воды. Схема IFarm

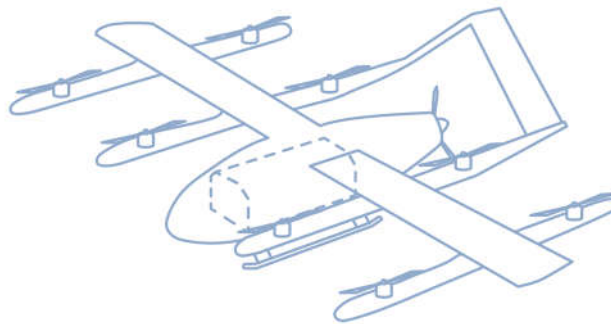


Рисунок 83. Тяжелый грузовой БПЛА. Схема автора.

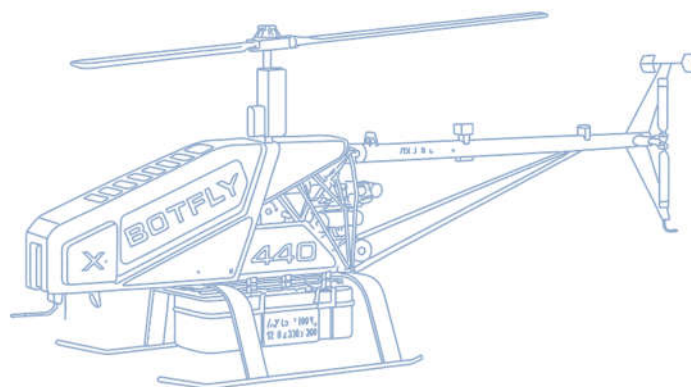


Рисунок 84. Средний грузовой БПЛА. Схема автора.



Рисунок 85. Легкий грузовой БПЛА. Схема автора.

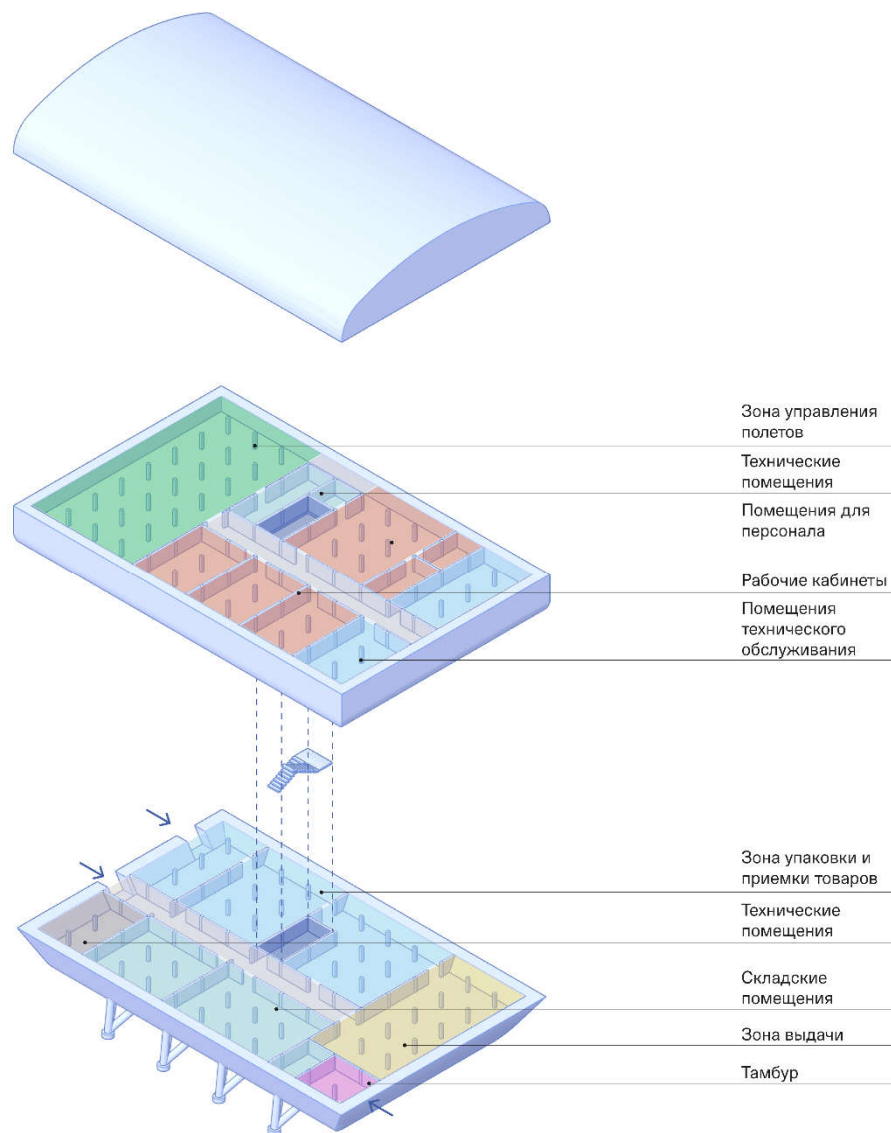


Рисунок 86. Функциональная блок-схема типа II «Малый логистический центр». Схема автора



Рисунок 87. Схема функционирования логистического компонента АСК. Схема автора.

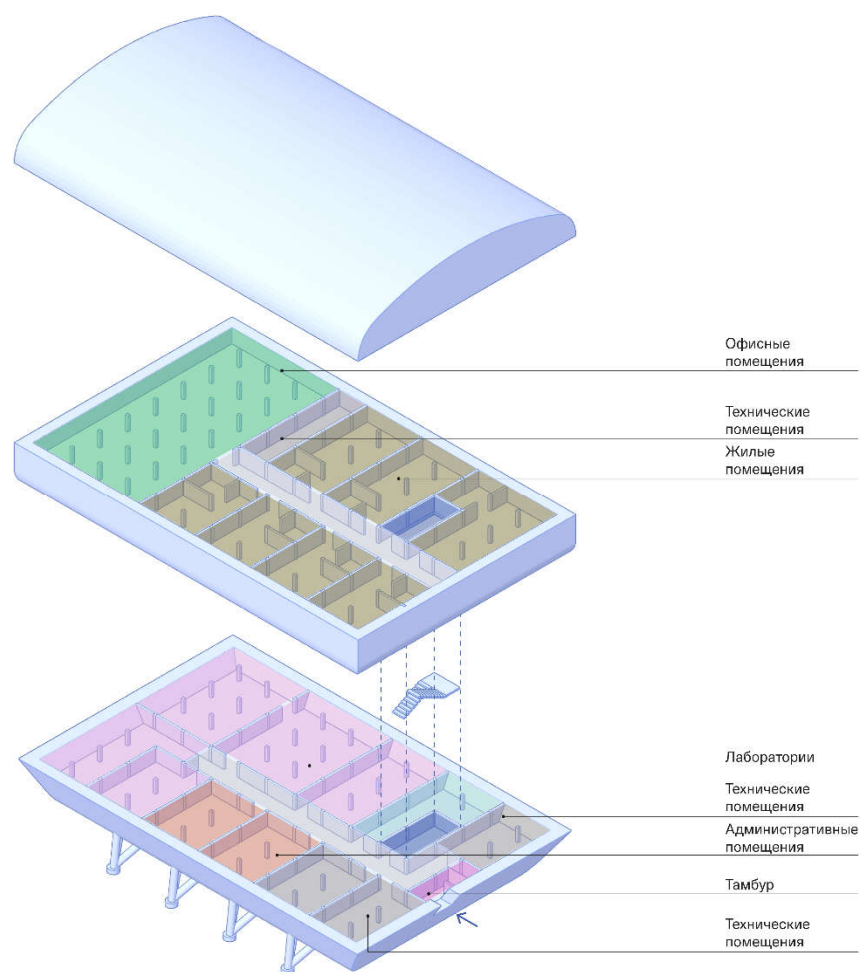


Рисунок 88. Функциональная блок-схема типа II «Средний научный модуль». Схема автора



Рисунок 89. Визуализация интерьера научных лабораторий научного компонента АСК. Изображение автора.



Рисунок 90. Схема функционирования научно-образовательного компонента АСК. Схема автора

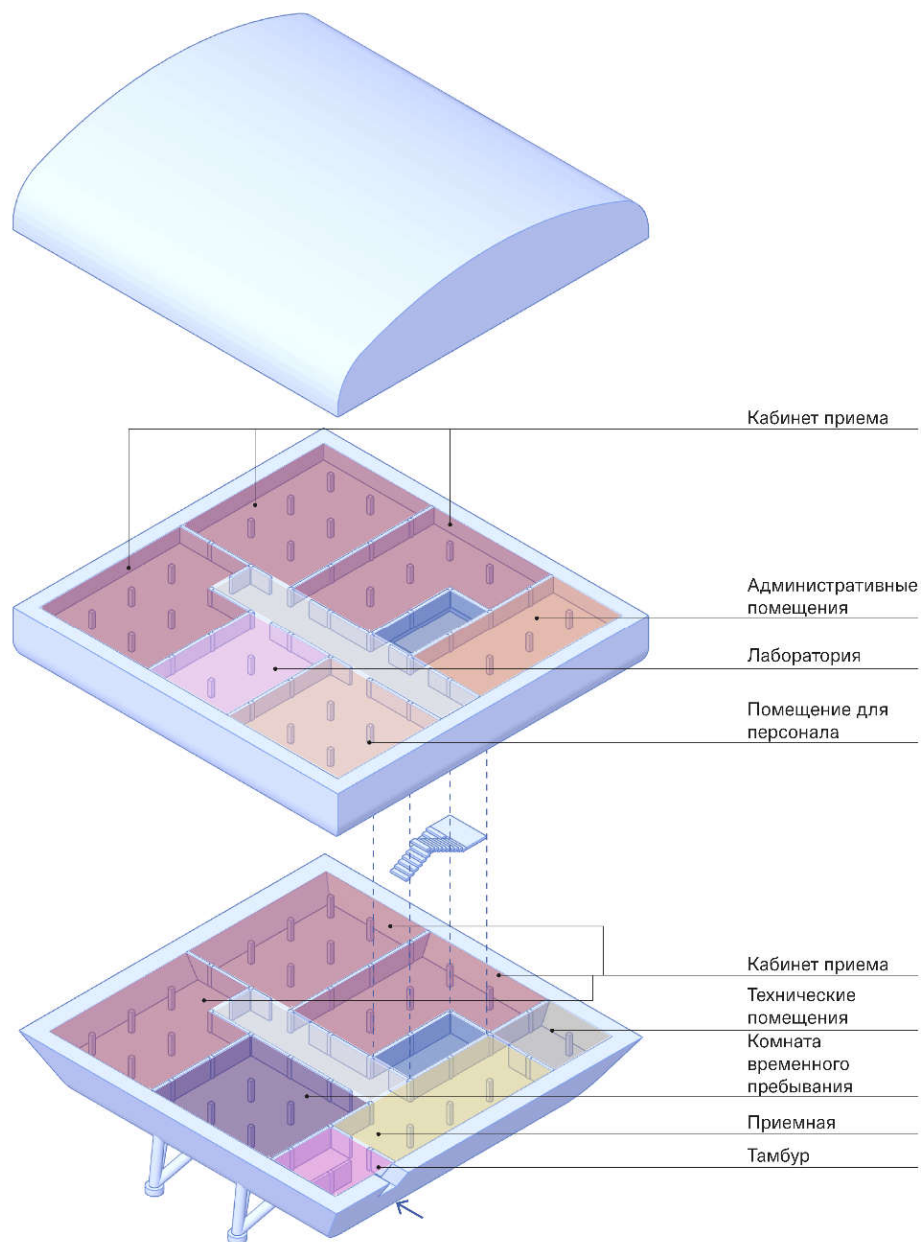


Рисунок 91. Функциональная блок-схема типа I «Фельдшерско-акушерский пункт». Схема автора

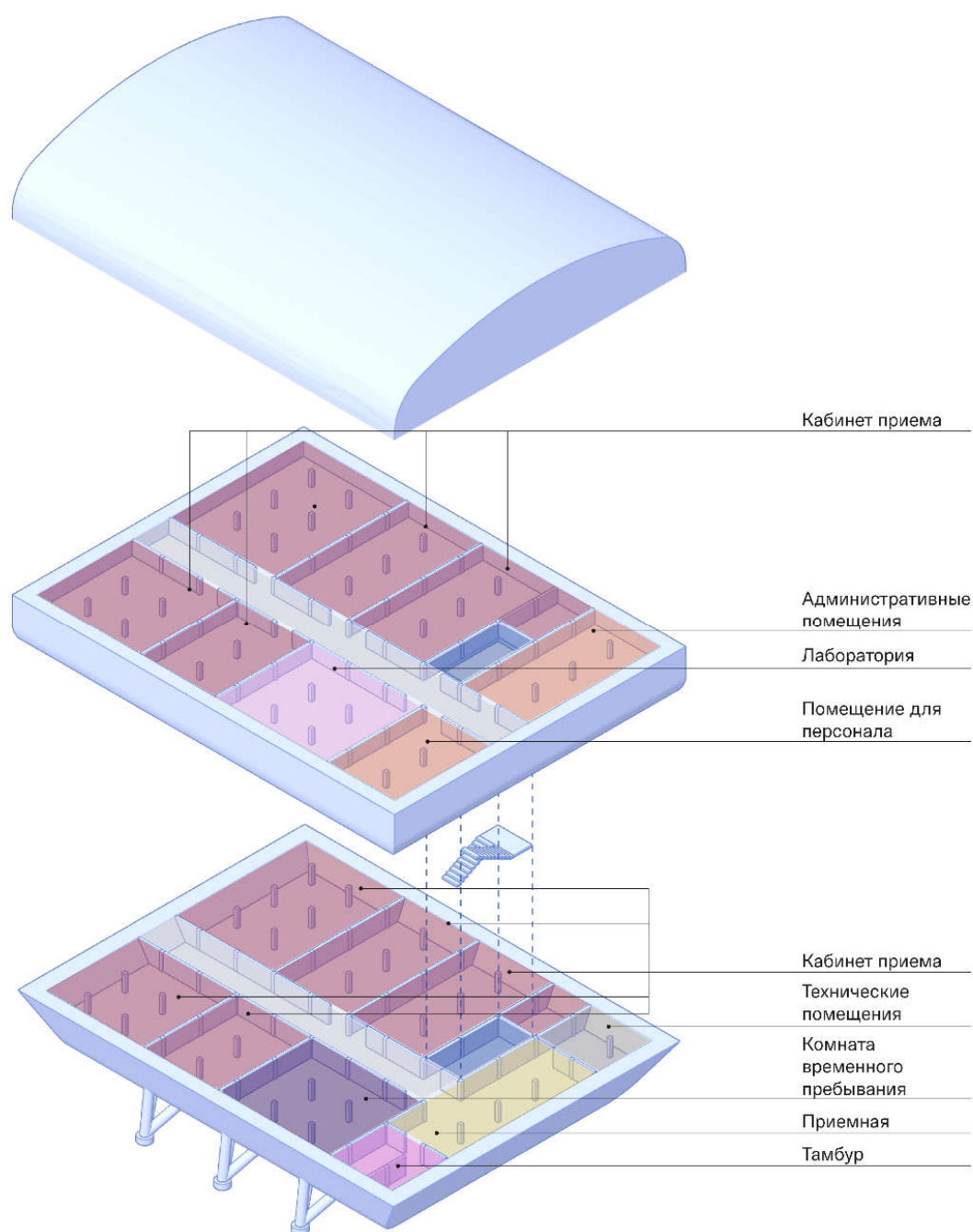


Рисунок 92. Функциональная блок-схема типа II «Малые медицинские центры». Схема автора



Рисунок 93. Визуализация кабинета приема врача медицинского компонента АСК. Изображение автора



Рисунок 94. Схема функционирования медицинского компонента. Схема автора.



Рисунок 95. Схема функционирования энергетического компонента. Схема автора.

Глава 3. Концептуальные предложения по внедрению типологии АСК в города различного функционального профиля Ямало-Ненецкого автономного округа и Таймырского Долгано-Ненецкого района



Рисунок 96. Схема расположения АСК в пгт. Диксон. Схема автора.

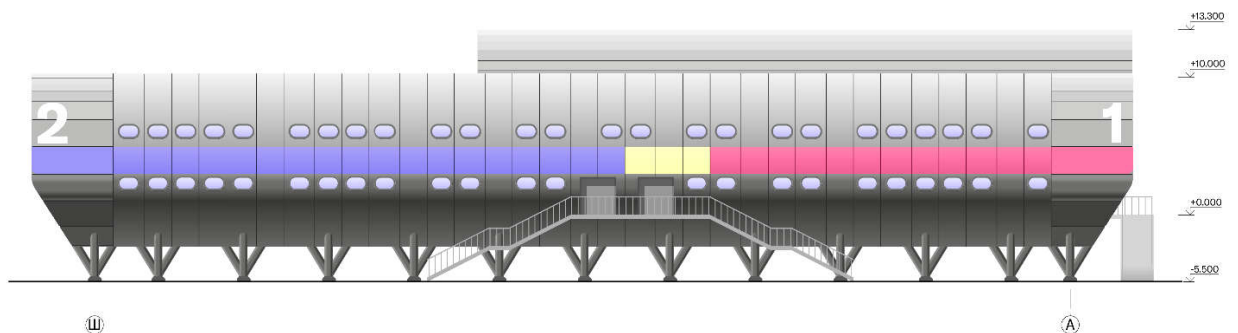


Рисунок 97. Схема фасада многофункционального комплекса АСК в пгт. Диксон. Схема автора.



Рисунок 98. Аксонометрия АСК в пгт. Диксон. Изображение автора.



Рисунок 99. Визуализация многофункционального комплекса АСК в пгт Диксон. Изображение автора.

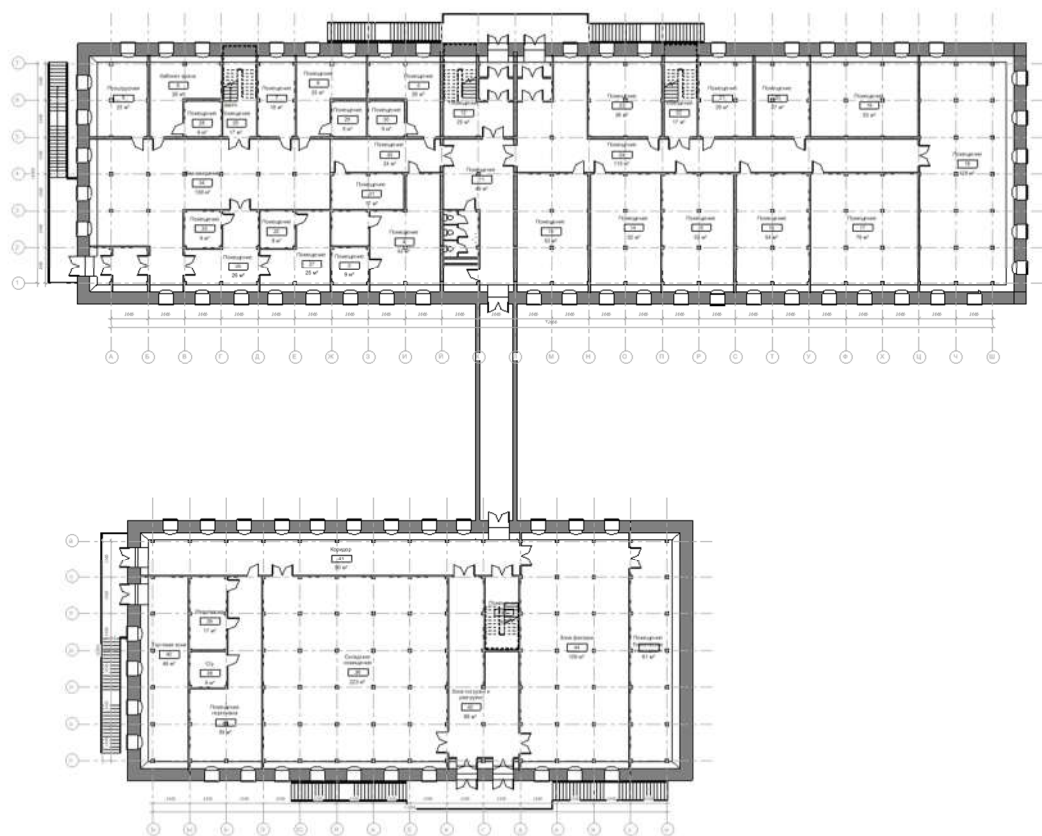


Рисунок 100. Схема плана 1 этажа многофункционального комплекса АСК в пгт Диксон. Схема автора.

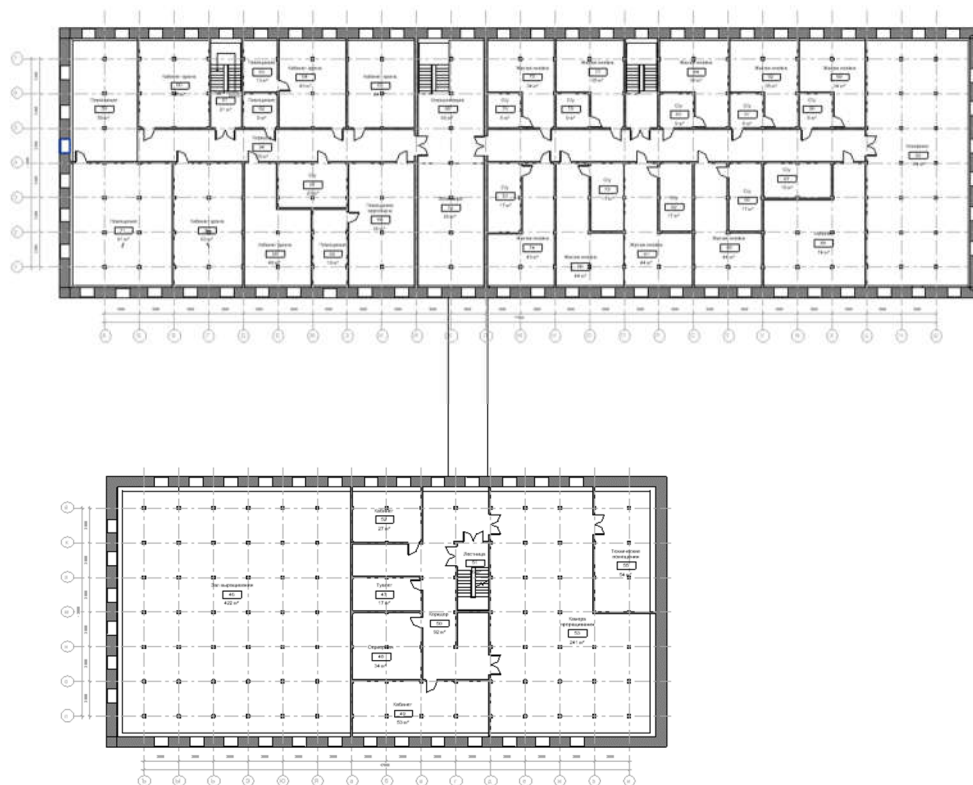


Рисунок 101. Схема плана 2 этажа многофункционального комплекса АСК в пгт Диксон. Схема автора.

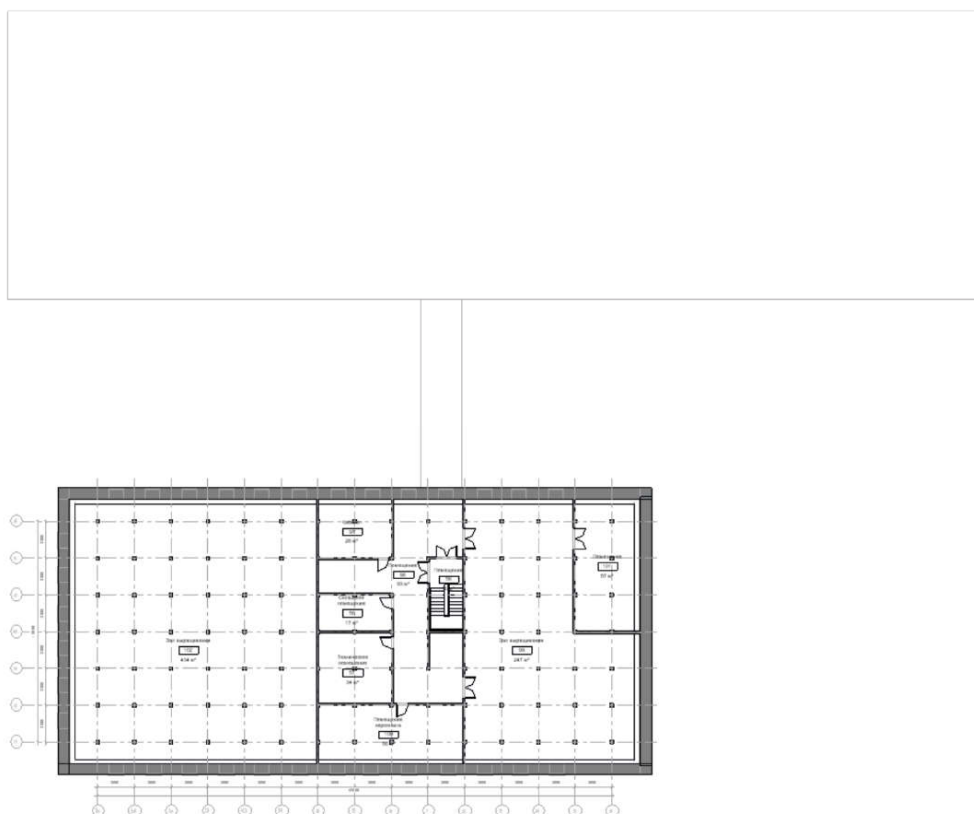


Рисунок 102. Схема плана 3 этажа многофункционального комплекса АСК в пгт. Диксон. Схема автора.



Рисунок 103. Визуализация распределительного центра АСК в г. Дудинка. Изображение автора.



Рисунок 104. Визуализация отдельностоящей агропромышленной фермы в г. Дудинка. Изображение автора.



Рисунок 105. Визуализация научно-образовательного модуля в г. Новый Уренгой. Изображение автора.

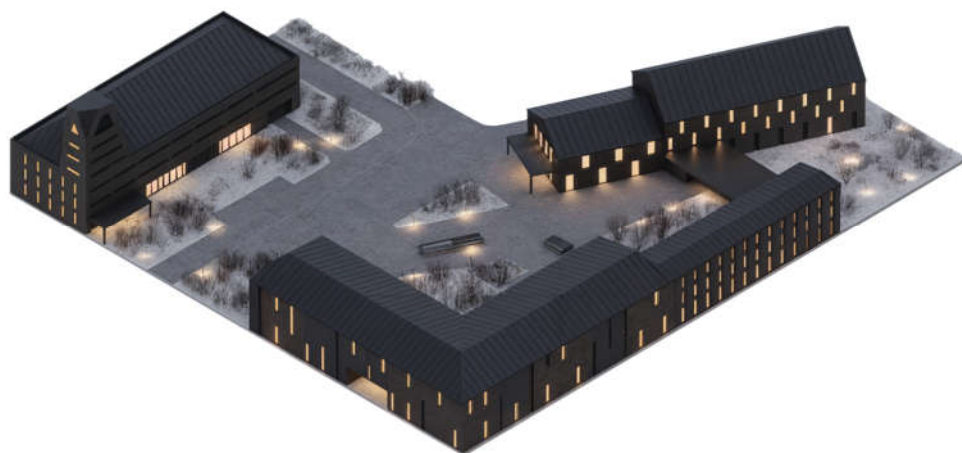


Рисунок 106. Аксонометрия отдельно стоящей агропромышленной фермы в г. Новый Уренгой. Изображение автора.



Рисунок 107. Визуализация отдельно стоящей агропромышленной фермы в г. Новый Уренгой. Изображение автора.