

**АРХИТЕКТУРА ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНО-ХОЛОДНОМ
КЛИМАТЕ**

Исследование направлено на разработку архитектурно-конструктивных принципов проектирования общественных зданий в условиях экстремально холода (температуры ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, сплошная мерзлота, амплитуда свыше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$), приобретающих стратегическое значение для освоения Арктики и Крайнего Севера Российской Федерации, где многолетняя мерзлота покрывает две трети территории, а ежегодная деградация объектов достигает значительных масштабов из-за неправильной эксплуатации грунтов.

Цель исследования – систематизация проверенных решений посредством множественного кейс-анализа на примере трёх реализованных проектов мирового уровня. Первый рассмотренный объект – полярная станция «Princess Elisabeth Antarctica» (энергетически-пассивное здание на гранитном основании в условиях антарктических ветров до 300 км/ч с уникальным планировочным решением и эффективными ограждающими конструкциями. Второй объект – национальный арктический кампус «Canadian High Arctic Research Station» в Кембридж-Бей (блочный комплекс на сплошной мерзлоте с интеграцией в архитектурно-планировочные решения традиционных инуитских мотивов). Третий объект – крупный спортивный комплекс «Триумф» в г. Якутске (большепролётная арена пролётом 66 м на сваях с термостабилизаторами в зоне пучинистых грунтов).

Выявлен ряд повторяющихся архитектурно-конструктивных приёмов, реализованных в большинстве проектов: универсальное применение свайного фундамента с вентилируемым подпольем, блочную композицию с чётким разделением тепловых контуров для минимизации нагрузки на мерзлоту, вентилируемые фасады для компенсации экстремальных температурных деформаций, буферное зонирование по принципу «луковицы» для климатической и акустической защиты, большепролётные стальные фермы пролётом $50\text{--}66\text{ м}$ вместо массивных железобетонных плит, зенитное освещение для компенсации дефицита дневного света в полярную ночь. Проанализированы новейшие построенные общественные здания мирового уровня в экстремально-холодном климате в условиях Антарктиды, Канады и Якутии.

Результаты исследования могут быть использованы в качестве основы для методологии проектирования общественных зданий в районах с экстремально-холодным климатом.

Ключевые слова: экстремально-холодный климат, вечная мерзлота, архитектурно-конструктивные принципы проектирования, аэродинамическая форма, многослойная оболочка, свайные фундаменты, энергоэффективность.

М. I. Tiurin
V. V. Stametov**ARCHITECTURE OF PUBLIC BUILDINGS IN EXTREME COLD CLIMATES**

The research is aimed at developing architectural and constructive principles for designing public buildings in conditions of extreme cold (temperatures below $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, continuous permafrost, amplitude over $100\text{ }^{\circ}\text{C}$), which are of strategic importance for the development of the Arctic and the Far North of the Russian Federation, where permafrost covers two thirds of the territory, and the annual degradation of facilities reaches significant scale due to improper use of soils.

The purpose of the study is to systematize proven solutions through multiple case analysis using the example of three implemented world-class projects. The first object considered is the Princess Elisabeth Antarctica polar station (an energy-passive building on a granite base in conditions of Antarctic winds up to 300 km/h with a unique planning solution and effective enclosing structures. The second facility is the

Canadian High Arctic Research Station National Arctic campus in Cambridge Bay (a block complex on permafrost with integration into architectural and planning solutions of traditional Inuit motifs). The third facility is a large sports complex "Triumph" in Yakutsk (a large-span arena with a span of 66 m on stilts with thermostabilizers in a zone of deep soils).

A number of recurring architectural and structural techniques have been identified, implemented in most projects: the universal use of a pile foundation with a ventilated underground, a block composition with a clear separation of thermal contours to minimize the load on permafrost, ventilated facades to compensate for extreme temperature variations, buffer zoning based on the "onion" principle for climatic and acoustic protection, large-span steel trusses with a span of 50-66 m instead of massive reinforced concrete slabs, anti-aircraft lighting to compensate for the lack of daylight on a polar night. The latest constructed world-class public buildings in extremely cold climates in Antarctica, Canada and Yakutia are analyzed.

The results of the study can be used as a basis for the methodology of designing public buildings in areas with extremely cold climates.

Key words: *extreme cold climate, permafrost, architectural and structural design principles, aerodynamic shape, multilayer shell, pile foundations, energy efficiency.*

Архитектура в условиях экстремального холода приобретает стратегическое значение в связи с нарастающим освоением территорий Арктики и Крайнего Севера, а также с экологическими проблемами, связанными с изменением климата и деградацией вечной мерзлоты. К экстремально-холодным условиям принято относить температуры ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, сплошную мерзлоту и годовую амплитуду температур более $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

Многолетняя мерзлота занимает 65% территории РФ и 24% заселённой суши планеты. Ключевые критерии данного типа грунта включают сезонное пучение, просадки при оттаивании до 2 метров в год, температурную нестабильность. По современной классификации существует 4 принципа строительства, возможного на таких территориях: I – с сохранением мерзлоты (на сваях с подпольем); II – с вентилируемым подпольем; III – на неутеплённой плите; IV – на утеплённой плите [2]. Основная проблема при строительстве в условиях многолетней мерзлоты заключается в том, что 15-20% объектов деградируют в первые 10 лет эксплуатации из-за несоблюдения условий сохранения температурных параметров грунта. Российский опыт строительства в городах, расположенных в зоне Крайнего Севера (Норильск, Якутск), показывает 70% аварийного состояния конструкций, вызванных тепловым воздействием на мерзлоту [3,4].

Проблема заключается в отсутствии систематизированных объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих долговечность при одновременном минимизировании теплового воздействия на мерзлоту, а также современного уровня энергоэффективности зданий при увеличенных затратах энергии для обогрева.

Цель исследования заключается в разработке системы архитектурно-конструктивных принципов проектирования общественных зданий в условиях экстремального холода на основе анализа международного и отечественного опыта.

Задачи исследования состоят в углубленном анализе архитектурно-конструктивных решений современных построенных зданий по параметрам геометрии, пространственной организации, материалов и технологий возведения оболочки и фундамента здания. Это необходимо для систематизации наиболее эффективных решений, использованных для строительства в экстремально-холодном климате, а также для выявления основных архитектурно-конструктивных принципов, которые можно будет применить для проектирования в будущем.

В качестве методологии исследования применён множественный кейс-дизайн Yin R., обеспечивающий высокую внешнюю валидность при анализе сложных архитектурно-конструктивных систем [5]. Выбрано три реализованных проекта в различных климатических зонах экстремального холода. Географическое разнообразие объектов (Антарктика-Арктика-Субарктика) обеспечивает репрезентативность; реализованный статус объектов гарантирует практическую целесообразность; специфика охватывает широкий диапазон типологии общественных зданий.

Полярная научно-исследовательская станция «Princess Elisabeth Antarctica» – бельгийская полярная научно-исследовательская станция, первая в мире станция с «нулевым выбросом», работающая исключительно на солнечной и ветровой энергии. Спроектирована командой International Polar Foundation под руководством Алена Юбера по заказу федерального правительства Бельгии в 2004 году. Общая площадь около 1500 кв. м, вместимость 12-20 человек, эксплуатация – летний сезон (ноябрь-февраль), зимой – автоматический режим [6].

Станция расположена на гранитном гребне Утстейнен (UtsteinenRidge), к северу от нунатака Утстейнен в горах Сёр-Ронданэ (SørRondane), Земля Королевы Мод, Восточная Антарктика. Климатические параметры: температура от -50°C до -5°C ; ветер (среднемесячный) около 20 км/ч, максимальные порывы до 250-300 км/ч. Горы Сёр-Ронданэ блокируют основной ветровой поток, что делает площадку относительно защищённой от экстремальных ветров.

Грунтовое основание представляет собой гранитную породу. Район строительства – зона сплошной вечной мерзлоты. Выбор скального основания принципиален: лёд Антарктики постоянно перемещается к побережью, строительство на нём не обеспечивает долговременной стабильности.

Архитектурное решение

Форма станции появилась в результате аэродинамических испытаний в крупнейшей дозвуковой трубе Бельгии (Институт фон Кармана, VKI) на масштабных моделях с реальными данными ветровых замеров. Исходный проект предусматривал ромбовидный план, но эволюционировал в октагональную конфигурацию – сочетание острых и скруглённых углов. Острые углы размещены в ключевых точках для контроля турбулентности и снижения ветрового давления на стены; скруглённые грани минимизируют отрыв потока и снегоотложение. Здание ориентировано по оси восток–запад, перпендикулярно преобладающему юго-восточному ветру [7].

Кровля представляет собой продолжение единой оболочки (стеновые и кровельные панели конструктивно идентичны). На крыше устроены две террасы по 30 кв. м, доступные через двери в

слуховых окнах; террасы используются для размещения метеорологических и аэрозольных приборов, требующих определённой высоты и коротких кабельных трасс. Также на кровле расположены термальные солнечные панели и часть фотоэлектрических панелей (рис. 1) [8].



Рис. 1. Общий вид полярной научно-исследовательской станции «Princess Elisabeth Antarctica»

Здание приподнято на стойках в среднем на 2 м над гребнем, в результате чего ветер свободно проносит снег под станцией, предотвращая засыпание. Эта проблема погубила предыдущую станцию – базу Бодуэн, полностью погребённую под снегом.

Планировочные особенности

Главный вход осуществляется через подснежный тоннель, ведущий из зоны за станцией в гаражи и далее в башню. Башня представляет собой вертикальное ядро связи: лестница и грузовой подъёмник соединяют уровень гаражей с основным жилым модулем и смотровой/диспетчерской наверху.

Гаражи расположены под снегом у подножия горы и разделены башней на два блока: северный («грязный»), включающий ремонтную мастерскую и аварийные дизель-генераторы, и южный («чистый»), вмещающий холодные лаборатории, снеготаялки, научное оборудование, продовольственный склад.

Планировка основного модуля организована по концентрическому принципу трёх «оболочек луковицы», где каждый слой выполняет роль теплового и акустического буфера для следующего (рис. 2). Внешняя оболочка включает в себя гардеробный блок у входа, лабораторию, медпункт (трансформируемое помещение), офисную зону (рабочие места учёных с видовыми окнами), спальную зону (5 мини-дормиториях, по 4 места на двухъярусных койках), жилую зону (гостиная, зона отдыха, фитнес-уголок).

Средняя оболочка – это буферная зона, включающая прачечные, санузлы и душевые, кухню, склады запасов (западный и восточный). Все сантехнические системы работают по принципу рекуперации воды.

Внутренняя часть – техническое ядро, состоящее из системы управления станцией (электропитание, распределение), водоочистной установки, аккумуляторного зала из 192 батарей,

осуществляющих хранение энергии от ветрогенераторов и солнечных панелей. Ядро отделено двойной автоматической дверью и противопожарной дверью, оно представляет собой помещение с полной изоляцией от внешней среды.

Принцип оболочек позволяет реализовать двойную буферную функцию: тепловую (кладовые и бытовые помещения отдают/поглощают тепло, сглаживая разницу между холодной оболочкой и горячим техническим ядром) и акустическую (защита спален и офисов от шума оборудования) [8].

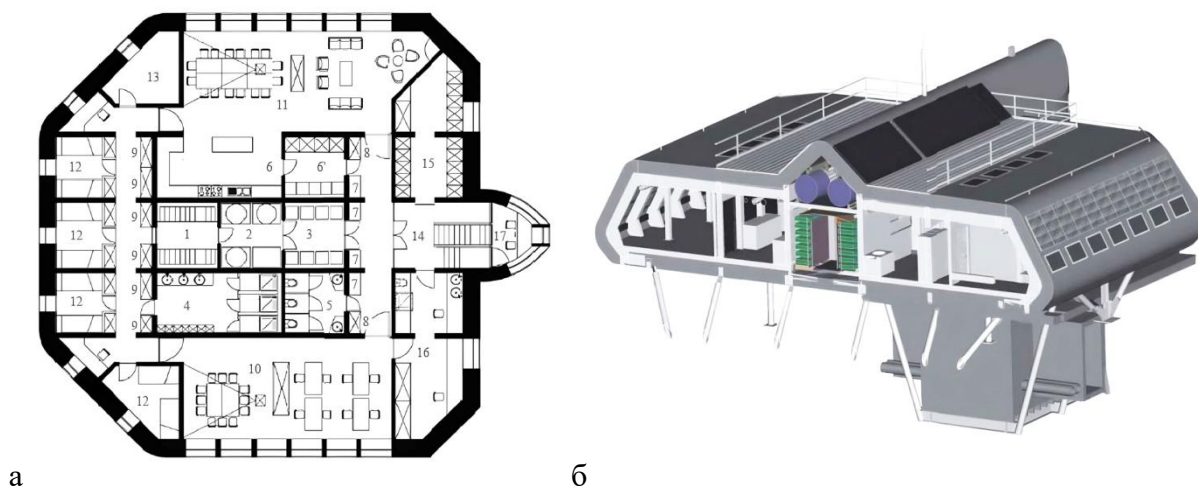


Рис. 2. Полярная научно-исследовательская станция «Princess Elisabeth Antarctica»: а-схема плана; б-схема разреза, совмещенным с общим видом

Материалы и конструкции

В здании станции применяется двухуровневая несущая конструктивная система. Первый уровень представляет собой 4 независимых стальных козловых рамы, способных расширяться и сжиматься при термических деформациях, а также 34 стальных стойки высотой 2-6 м (в зависимости от рельефа основания). Второй уровень – это деревянная суперструктура. Конструкция станции примерно на 80% состоит из дерева, которое не расширяется и не сжимается так критично, как металл при перепадах температур, и компенсирует падение влажности в сухом полярном воздухе [7].

Наружная оболочка выполнена из 168 многослойных панелей. Состав слоев оболочки (изнутри-наружу): шерстяной войлок, выполняющий роль отделки, акустической и пароизоляции ; алюминиевая пароизоляция; мультиплекс (клеёная сосна), придающая панелям внутреннюю жёсткость; пенополистирол с графитом низкой плотности, выполняющий роль основной теплоизоляции; мультиплекс (клеёная сосна) – наружная панель жесткости, связанная с внутренней буковыми стержнями диаметром 60 мм; EPDM-мембрана для гидроизоляции; пенополиэтилен с закрытыми ячейками, создающий уплотнение стыков под обшивкой ; нержавеющая сталь на болтовом креплении, обеспечивающая защиту от ветра, снега, УФ-лучей и абразивных частиц.

Окна представляют собой двойные стеклопакеты с воздушным промежутком 400 мм, рассчитаны на $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ветер 280 км/ч; оснащены клапаном выравнивания давления и солнцезащитным фильтром.

Фундамент выполнен в виде точечных анкерных креплений стальных стоек к гранитной породе. Анкеры устанавливаются в скважины глубиной до 6 м с последующим заполнением смолой, отверждаемой нагревом – через полые стержни прокачивается горячая вода в течение нескольких суток. Подобная конструкция фундамента позволяет противодействовать отрыву здания при ураганных ветрах, а также организовать вентилируемое подполье с продуваемым зазором.

Таким образом, можно выделить следующие уникальные архитектурные и инженерные решения, использованные в данном объекте:

- энергетически-пассивное здание без классического отопления; комфортная внутренняя температура держится за счёт пассивной солнечной радиации и внутренних тепловыделений людей и оборудования, без системы традиционного отопления;
- многослойная сверхтёплая оболочка; полностью воздухонепроницаема и влагонепроницаема, с контролем паро-режима, что важно при сверхнизких температурах.
- аэродинамическая форма, поднятая над грунтом;
- учет направлений ветровых и снеговых потоков; станция расположена так, чтобы доминирующее направление ветра выдували снег от здания, а не на здание;
- использованы материалы с малой теплопроводностью и стабильной геометрией;
- интегрированная вентиляция и перераспределение тепла; тёплые внутренние ядра (техника, баки воды, аккумуляторы) работают как обогреватели для остального объёма.

Национальный арктический кампус «Canadian High Arctic Research Station» (CHARS) в Кембридж-Бей (Nunavut) совмещает научные лаборатории, полевую инфраструктуру и жилые корпуса для исследователей. Проект выполнен бюро EVOQ + NFOE, площадь кампуса около 7900 кв. м. Станция задумывалась как образный «мост» между высокими технологиями и традиционными постройками местных жителей – инуитов [9].

Кембридж-Бей расположен на юго-востоке острова Виктория в Канадском Арктическом архипелаге. Район характеризуется высокой континентальностью: годовой диапазон температур около 45 °С, очень низкие осадки (100-150 мм в год), сильные ветра и обширные снежные заносы [10].

Грунтовое основание представляет собой массив известняков с типичными арктическими формами. Почвы в виде тонкого активного слоя над залегающей на небольшой глубине мерзлотой, с выраженной чувствительностью к оттаиванию.

Архитектурное решение

Кампус состоит из трёх ключевых блоков: основное исследовательское здание, ремонтный корпус и жилые триплексы. Главный корпус – двухэтажный, линейный по плану, но с пластически сложной конфигурацией: большой металлический объем лабораторий «обёрнут» более свободным по форме общественно-офисным поясом с изогнутыми фасадами [11].

Кровли основных объёмов – преимущественно плоские или с малым уклоном, рассчитаны на значительные снеговые нагрузки и возможность безопасного уборки снега. На крыше основного корпуса размещены инженерные установки, их компоновка подчинена ветровой аэродинамике и специфике обслуживания в условиях холода. Образный мотив куполообразного «иглу» проявляется во внутреннем куполе и конфигурации общественных зон, а не в форме всей кровли (рис. 3).

Проект предварялся детальными исследованиями ветрового режима и снегонесущей способности потоков на участке: распределение корпусов и открытых пространств подчинено управлению снежными заносами. Линейный корпус установлен так, чтобы разрывать ветровой поток и одновременно формировать защищённые от ветра наружные зоны для работы и общественных мероприятий [12].



Рис. 3. Общий вид национального арктического кампуса «Canadian High Arctic Research Station»

Планировочные особенности

В кампусе формируется иерархия наружных планировочных зон. Крупная открытая площадка за основным корпусом и полевым зданием, где моют, сушат и сортируют полевое снаряжение, работает как функциональный «двор» для научной деятельности. Также выделяется общественное наружное пространство в образе традиционного иглу, представляющее собой открытую площадку для встреч, мероприятий и приёма гостей. Пространства перед триплексами и вдоль главного корпуса используются как «уличные» зоны для жителей станции и встраиваются в структуру поселка Кембридж-Бей, а не замыкаются в себе.

На плане основного корпуса формируется длинный линейный маршрут, вдоль которого общественные и офисные помещения образуют внутренний променад. Этот общественный пояс – не буквально «улица», но связанная последовательность пространств с вестибюлями, зимним садом, столовой, связывающая входы, лаборатории и выходы к полевым зонам. Входов несколько (два общественных, один полевой), что позволяет разделять потоки посетителей, сотрудников и полевой логистики (рис. 4).

Разделение на общественно-офисный пояс и лабораторный бокс формирует климатический и акустический буфер: тяжёлые лаборатории и мастерские внутренне изолированы от наружного климата, а более тёплые общественные пространства работают как защита от ветра и холода у внешних фасадов. Полевой корпус с мастерскими и складом техники вынесен отдельно, что снижает шум и загрязнение у главного корпуса и создаёт дополнительный термический и функциональный буфер (рис. 5).

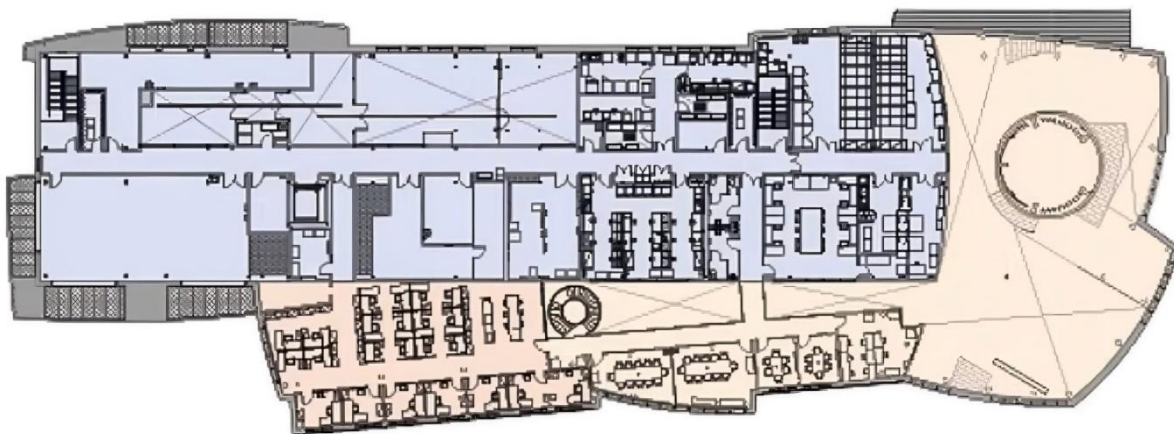


Рис. 4. Схема плана национального арктического кампуса «Canadian High Arctic Research Station»



Рис. 5. Схема разреза национального арктического кампуса «Canadian High Arctic Research Station»

Материалы, конструкции и фундамент

Используется современная стальная или железобетонная каркасная система. Лабораторный объём – индустриальный металлический бокс, рассчитанный на тяжёлые инженерные нагрузки, высокие снеговые/ветровые нагрузки и размещение оборудования. Полевой корпус – большой зальный ангар с высокими воротами для техники; его каркас также стальной, оптимизирован под пролёты и крановое/ремонтное оборудование.

В наружной отделке основного корпуса используются металлокассеты с характерной медной цветовой гаммой в общественных зонах как отсылка к традиционному использованию меди инуитами; более нейтральная облицовка в промышленном духе применяется на лабораторном боксе.

Наружная оболочка проектировалась как «северный» фасад: высокоэффективная теплоизоляция, ветрозащита и пароконтроль, соответствующие канадским арктическим нормам. Внутри широко используются дерево и тёплые отделочные материалы в общественных пространствах для психологического комфорта в суровом климате.

Фундаментные решения подбирались строго под локальные условия мерзлоты. Для региона характерна почти сплошная мерзлота с активным слоем более 1 м и чувствительностью к потеплению. В таких условиях используется следующий принцип работы фундаментных конструкций: минимизация теплового потока в грунт, чтобы не инициировать оттаивание и просадки; возможность адаптации опор по мере изменения состояния.

Таким образом, можно выделить следующие уникальные архитектурные и инженерные решения, использованные в данном объекте:

- кампус реализован как система, а не как одиночное здание; разделение на три ключевых объёма: лабораторный корпус, ремонтный ангар и жилые триплексы позволяет оптимизировать конструкцию и инженерные системы под разные режимы эксплуатации;

- планировочная эспланада из общественных и офисных пространств вокруг лабораторного бокса служит климатическим и акустическим буфером между наружным холодом и высокоточной лабораторией [13];

- управление климатом через планировочную структуру; корпуса формируют защищённые от ветра наружные зоны, в которых можно работать или проводить мероприятия даже при сильном ветре и низкой температуре.

Спортивный комплекс «Триумф» в г. Якутске – крупнейший крытый универсальный спортивный комплекс на Дальнем Востоке и в Сибири, первый в мире крытый стадион такого масштаба, целиком возведённый на сваях в зоне вечной мерзлоты. Общая площадь объекта – 26 000 кв. м [14].

Комплекс расположен в центре Якутска, на берегу озера Сайсары, главный фасад ориентирован на юго-восток. Якутск – крупнейший город в мире, расположенный в зоне сплошной вечной мерзлоты [15,16].

Климатические параметры: годовая амплитуда температур 102,8 °С, абсолютный минимум – 64,4 °С, осадки около 237 мм в год, что делает г. Якутск одним из наиболее контрастных городов мира по годовой амплитуде температур [16].

Грунтовое основание представляет собой сплошную многолетнюю мерзлоту мощностью до 300-400 м. Площадка строительства была осложнена ранее расположенным на этом месте гаражом с тёплыми полами, под которым образовался участок оттаивания размером 300 × 20 м, глубиной 2-8 м с обводнёнными грунтами [17].

Архитектурное решение

Комплекс состоит из трёх сблокированных объёмов: блок А – универсальный легкоатлетический зал с овальной ареной и трибунами на 3 000 мест; блок В – обслуживающий, площадью 5670 кв. м, включает залы единоборств, центр спортивной медицины и реабилитации, столовую на 150 мест, сауну, пресс-центр, инженерные помещения. Блок С – включает 8-этажную гостиницу на 96 мест с административными помещениями. Все три блока конструктивно связаны, но функционально разделены. Такое разделение выполнено с целью изоляции разных тепловых режимов, необходимых для разных функций, что позволяет использовать энергию более эффективно [14].

Кровля стадиона, который имеет овальную форму в плане, решена с пятью стеклянными зенитными проемами, обеспечивающими естественное освещение арены. Кровля опирается на уникальную большепролётную конструкцию пролётом 66 м. Зенитные фонари – необходимое решение для города, где 199 дней в году лежит снег и остро ощущается нехватка естественного света (рис. 6).



Рис. 6. Общий вид спортивного комплекса «Триумф» в г. Якутске

Уникальные конструктивные решения большепролётного покрытия позволили избежать массивных фундаментов и существенно сократить стоимость строительства: лёгкая кровля на пролёте 66 м снижает вертикальную нагрузку на сваи, что критично для мерзлотного основания. Овальная форма плана и относительно невысокий профиль блока А снижают боковую парусность при ветровых нагрузках. Якутск не отличается экстремальными ветрами (в отличие от Антарктики), но снеговая нагрузка и температурные деформации являлись ведущими расчётными факторами [18].

Материалы, конструкции и фундамент

Фасад выполнен в виде навесной вентилируемой фасадной системы – керамогранитные или фиброцементные кассеты на металлическом каркасе с утеплением. Вентилируемый фасад является стандартным решением для Якутска, он позволяет «дышать» стенам, удалять конденсат и обеспечивает ремонтпригодность при экстремальных температурах [19].

Тип фундамента – свайный с проветриваемым подпольем, чтобы изолировать тепло конструкции от мерзлотного основания. Также на площадке «Триумфа» были установлены сезонно-действующие охлаждающие устройства для принудительного промораживания грунта, оттаявшего на месте прежнего гаража. Эти устройства работали без внешних источников энергии: герметичная труба с хладагентом, которая зимой конденсирует тепло в грунте, а затем на поверхности отдаёт его в воздух [20,21].

Таким образом, можно выделить следующие уникальные архитектурные и инженерные решения, использованные в данном объекте:

- большепролетное лёгкое покрытие вместо тяжёлых ж/б плит; такое решение радикально снижает нагрузку на сваи, что критично для мерзлотного основания: чем меньше масса, тем меньше требуемая несущая способность по боковому «намораживанию»;

- свайный фундамент с вентилируемым подпольем; классический для Якутска принцип сохранения мерзлоты: здание «парит» над грунтом, холодный воздух свободно проходит под зданием и не даёт теплу от перекрытия оттаивать мерзлоту;

- блочная композиция (А + В + С); разделение на функциональные блоки позволяет «изолировать» тепловые режимы для лёгкой неотапливаемой арены, тёплого инженерного блока и высотной гостиницы;

- зенитные фонари на кровле; пять стеклянных проёмов компенсируют дефицит дневного света.

Заключение

Анализ решений трех построенных объектов – «Princess Elisabeth Antarctica», «Canadian High Arctic Research Station», СК «Триумф» г. Якутск выявил следующие повторяющиеся архитектурно-конструктивные приемы: свайный фундамент с вентилируемым подпольем, блочная композиция с разделением тепловых контуров, вентилируемый фасад, буферное зонирование, автономность и независимость от внешних источников энергии, аэродинамическая форма основного объема здания. На основании этих решений можно выделить пять категорий архитектурно-конструктивных принципов проектирования общественных зданий в экстремально-холодном климате.

1. Принцип блочной объёмно-пространственной композиции, что позволяет разделить тепловые режимы различных по функции частей здания, минимизируя нагрузку на мерзлоту и теплопотери.

2. Принцип создания защищённых от ветра и снеговых потоков внешних пространств, которые обеспечивают дополнительные функциональные зоны для эксплуатации в экстремальном климате.

3. Принцип буферного зонирования внутреннего пространства, основанный на создании «тёплого пояса» вокруг холодных помещений, а также создание дополнительного естественного освещения с помощью зенитных фонарей.

4. Принцип конструктивного объединения свайного основания с подпольем, принудительное охлаждение талых грунтов и облегчение конструкции, что позволяет продлить срок эксплуатации здания на 30-50%.

5. Принцип многослойности и энергоэффективности материалов и ограждающих конструкций предусматривает применение системы вентилируемых фасадов для компенсации деформаций при температурной амплитуде свыше 100 °С и пассивное теплоснабжение за счёт внутренних источников с рекуперацией тепла.

В результате исследования передового отечественного и зарубежного опыта строительства общественных зданий в условиях экстремально-холодного климата удалось выявить общие закономерности, которые позволяют прогнозировать тенденции развития архитектуры данного типа объекта.

Литература

1. Бабарыкина Д.В. Международный опыт проектирования общественных пространств в условиях холодного климата // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2024. – №2(67). – С. 130-142.
2. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88*. Утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2020 – № 915/пр. – М.: Минстрой России, 2020. – 143 с.
3. Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Малкова Г.В., Облогов Г.Е., Пономарева О.Е., Садуртдинов М.Р., Стрелецкая И.Д., Стрелецкий Д.А., Устинова Е.В., Широков Р.С. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе Российской Арктики // *Криосфера Земли*. 2020. – Т. 24. – № 2. – С. 15-30.
4. Охлопкова Т. В., Гурьянов Г. Р., Плотников А. А. Строительство и проектирование зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты // *ИВД*. 2018. – №4 (51). – 12 с.
5. Yin R.K. *Case Study Research: Design and Methods*. 5th ed. – SAGE, 2014. – 5 p.
6. Samyn Ph., Deprez A., Tabara A. Princess Elisabeth Station: Architecture in Antarctica // *Projecto*. 2009. – № 318. – С. 64-73.
7. Princess Elisabeth Station, Antarctica: Technical Dossier. – Brussels: Educapoles (International Polar Foundation). 2009. – 13 p.
8. Li Y., Zhang X., Wang J. Architectural and Structural Design Technologies in Polar Regions // *Civil Engineering and Sustainability*. 2023. – 11 p.
9. Национальный арктический кампус «Canadian High Arctic Research Station» (CHARS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.canada.ca/en/polarknowledge/CHARScampus/charsfloorplan.html> (дата обращения: 25.02.2026).

10. Кампус Canadian High Arctic Research Station [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.canadianarchitect.com/high-arctic-high-design/> (дата обращения: 24.02.2026).
11. Национальный арктический кампус [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://evoqarchitecture.com/en/-projects/canadian-high-arctic-research-station-chars> (дата обращения: 28.02.2026).
12. Landers K, Streletskiy D. (Un)frozen foundations: A study of permafrost construction practices in Russia, Alaska, and Canada. *Ambio*. 2023. – 14 p.
13. Melnikov V. P., Melnikova A.A., Ivanov K.S. the use of granular foam-glass ceramic in the arctic construction of low-rise buildings // *Earth&aposss Cryosphere*. 2022. – Vol. 12. – № 2. – pp. 271-280.
14. Спортивный комплекс в Якутске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://csp-sakha.ru/about> (дата обращения: 27.02.2026).
15. Ремарчук С. М. Анализ современных подходов к проектированию арктических городов // *Вестник ТГАСУ*. 2024. – Т. 26. – № 2. – С. 36-47.
16. Готоев Д.В. Фундаменты сооружений на мерзлых грунтах в Якутии: монография. – Якутск: Изд-во СВФУ, 2018. – 156 с.
17. Проценко Я. А. Применение принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания // *Вестник науки*. 2024. – Т. 4. – №2 (71). – С. 342-356.
18. Краснопольский Ф. К. Архитектурно-планировочная структура арктических городов // *Наука, образование и экспериментальное проектирование*. 2020. – №1. – С. 266-268.
19. Спортивный комплекс «Триумф» в г. Якутске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kraspan.ru/company/news/Proekty/ObektyzavershennogostroitelstvasportivnyuykompleksTriumfgYakutsk/> (дата обращения: 28.02.2026).
20. Ермаков А.А., Захарова А.С., Бегина В.А., Чухлатый М.С. Особенности строительства свайных фундаментов в зонах вечной мерзлоты на объектах нефтегазовой отрасли // *Нефтяное хозяйство*. 2021. – № 5 (77) – 12 с.
21. Преснов О. М., Мелихов В. П., Зайцев С. А., Сливина Д. М. Возведение свай в условиях вечной мерзлоты // *МНИЖ*. 2022. – №2-1 (116). – С. 41-43.

References

1. Babarykina D.V. International experience in designing public spaces in cold climates. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2024. – №. 2(67) – pp. 130-142.
2. SP 25.13330.2020. Foundations and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88*. Approved by By Order of the Ministry of Construction of Russia dated 12/30/2020 – № 915/ave. – Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2020. – 143 p.

3. Vasiliev A.A., Gravis A.G., Gubarkov A.A., Drozdov D.S., Korostelev Yu.V., Malkova G.V., Oblogov G.E., Ponomareva O.E., Sadurtdinov M.R., Streletskaya I.D., Streletsky D.A., Ustinova E.V., Shirokov R.S. Permafrost degradation: results of long-term geocryological monitoring in the western sector of the Russian Arctic // *Cryosphere of the Earth*. 2020. – Vol. 24. – № 2. – pp. 15-30.
4. Okhlopkova T. V., Guryanov G. R., Plotnikov A. A. Construction and design of buildings and structures in permafrost conditions. 2018. – №4 (51). – 12 p.
5. Yin R.K. *Case Study Research: Design and Methods*. 5th ed. – SAGE, 2014. – 5 p.
6. Samyn Ph., Deprez A., Tabara A. Princess Elisabeth Station: Architecture in Antarctica // *Projecto*. 2009. – № 318. – pp. 64-73.
7. Princess Elisabeth Station, Antarctica: Technical Dossier. – Brussels: Educapoles (International Polar Foundation). 2009. – 13 p.
8. Li Y., Zhang X., Wang J. Architectural and Structural Design Technologies in Polar Regions // *Civil Engineering and Sustainability*. 2023. – 11 p.
9. National Arctic Campus "Canadian High Arctic Research Station" (CHARS) [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.canada.ca/en/polarknowledge/CHARScampus/charsfloorplan.html> (date of access: 02/25/2026).
10. Canadian High Arctic Research Station Campus [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.canadianarchitect.com/high-arctic-high-design/> (date of access: 02/24/2026).
11. National Arctic Campus [Electronic resource]. – Access mode: <https://evoqarchitecture.com/en-projects/canadian-high-arctic-research-station-chars> (date of request: 02/28/2026).
12. Landers K, Streletskiy D. (Un)frozen foundations: A study of permafrost construction practices in Russia, Alaska, and Canada. *Ambio*. 2023. – 14 p.
13. Melnikov V. P., Melnikova A.A., Ivanov K.S. the use of granular foam-glass ceramic in the arctic construction of low-rise buildings// *Earth&aposss Cryosphere*. 2022. – Vol. 12. – № 2. – pp. 271-280.
14. Sports complex in Yakutsk [Electronic resource]. – Access mode: <https://csp-sakha.ru/about> (date of request: 02/27/2026).
15. Remarchuk S. M. Analysis of modern approaches to the design of Arctic cities // *Bulletin of TSASU*. 2024. – Vol. 26. – № 2. – pp. 36-47.
16. Gotoev D.V. Foundations of structures on frozen soils in Yakutia: monograph. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2018. 156 p.
17. Protsenko Ya. A. Application of the principle of using permafrost soils as a base // *Bulletin of Science*. 2024. – Vol. 4. – №2 (71). – 3p. 342-356.
18. Krasnopolsky F. K. Architectural and planning structure of Arctic cities // *Science, education and experimental design*. 2020. – №. 1. – pp. 266-268.

19. The Triumph sports complex in Yakutsk [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.kraspan.ru/company/news/Proekty/ObektyzavershenogostroitelstvasportivnyykompleksTriumfgYakutsk/> (date of access: 02/28/2026).

20. Ermakov A.A., Zakharova A.S., Beginina V.A., Chukhlaty M.S. Features of the construction of pile foundations in permafrost zones at oil and gas industry facilities // Oil industry. 2021. – № 5 (77) – 12 p.

21. Presnov O. M., Melikhov V. P., Zaitsev S. A., Slivina D. M. The construction of piles in permafrost conditions. 2022. – №2-1 (116). – pp. 41-43.

Тюрин М. Ю.

Доцент кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: tiurinmi@susu.ru

Tiurin M. Y.

Senior lecturer of the department "Architecture", South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

E-mail: tiurinmi@susu.ru

Стаметов В. В.

Студент кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: stametov.v.v@gmail.com

Stametov V. V.

Student lecturer of the department "Architecture", South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

E-mail: stametov.v.v@gmail.com