



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.023

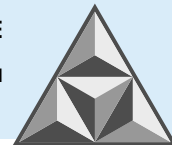
Доступная Арктика

С.В. Расторгуев

Семен Васильевич Расторгуев

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

rastorguevsv@ystu.ru

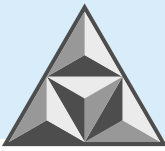


Рассматривается проект освоения Арктической зоны Российской Федерации и побережья Северного Ледовитого океана, создание обслуживающей и поддерживающей инфраструктуры Северного морского пути. Представлены данные предпроектного исследования территории и показана необходимость ее логистического насыщения с целью повышения эффективности добычи полезных ископаемых и кратного повышения объемов транспортируемых грузов. Для реализации идей предложены новые типы арктических баз и поселений на основе геометрии геодезических куполов, обладающих рядом технических преимуществ и эстетической выразительностью. В основу концепции поселений предлагается заложить принципы модульности, взаимозаменяемости отдельных модулей и их составных частей, максимального снижения веса и упрощения транспортировки. С целью повышения автономности арктических поселений предлагается установить ветровую энергоэкологическую и ряд других инженерных систем.

Ключевые слова: архитектура Арктики, Северный морской путь, модуль, геодезический купол, энергоустойчивость, ветроэнергетика

Для цитирования:

Расторгуев С.В. Доступная Арктика // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 4. С. 89-105. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n4_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

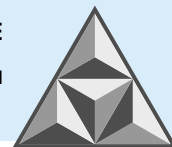
Accessible Arctic

S.V. Rastorguev

Semyon V. Rastorguev

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

rastorguevsv@ystu.ru

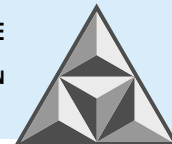


The article considers the project of development of the Arctic zone of the Russian Federation and the Arctic Ocean coast, the creation of servicing and supporting infrastructure of the Northern Sea Route. The authors present data from a pre-project study of the territory and show the need for its logistical enrichment in order to increase the efficiency of mineral extraction and multiply the volume of transported cargo. To realise these ideas, the authors propose new types of Arctic bases and settlements based on the geometry of geodesic domes, which have a number of technical advantages and aesthetic expression. The authors propose to base the settlement concept on the principles of modularity, interchangeability of individual modules and their component parts, maximum weight reduction and simplified transport. We propose to install wind energy-ecological and a number of other engineering systems to increase the autonomy of Arctic settlements.

Key words: Arctic architecture, Northern Sea Route, module, geodesic dome, energy stability, wind power engineering

For citation:

Rastorguev, S.V. (2023) Accessible Arctic, *Smart Composite in Construction*, 4(4), pp. 89-105 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n4_2023



ВВЕДЕНИЕ

В последние годы возросла популярность архитектурных конкурсов по созданию лунных и марсианских баз (Moontopia, NASA 3D printed Mars Habitat) [1,2], а также направленных на освоение спутника Юпитера Европа (Fondation Jacques Rougerie). Часть конкурсов проводится на высочайшем профессиональном уровне: в состав жюри входят специалисты по инженерии космических систем и непосредственно космонавт. Это приводит к созданию проектов, качественных не только с архитектурной, но и инженерных позиций. Однако среди экспертов бытует мнение, что отправлять человека для исследования даже ближайшего космоса экономически нецелесообразно; с таким заданием лучше и дешевле справятся роботы. С другой стороны, всего в тысячах, а не миллионах или миллиардах километров существуют совершенно пустынные территории Земли, где подобные наработки могут быть применены, поскольку исходные данные во многом совпадают (хотя климатические условия мягче). Речь в данном случае идет об Арктике и проектировании там арктических баз и поселений.

Первоначально исследованы требования, предъявляемые к архитектуре и строительству в климатических и логистических условиях Арктической зоны России. В результате сделаны выводы, что традиционные архитектурные и конструктивные решения, применяемые в этих регионах, не оптимальны. В связи с этим в настоящей работе представлен проект «Доступная Арктика», призванный продемонстрировать, как могла бы выглядеть архитектура на побережье Северного Ледовитого океана с учетом реальных условий.

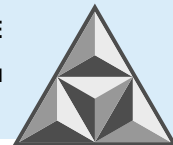
В основе геометрических и конструктивных решений, принимаемых в проекте, лежит ряд разработок (в частности, геодезические купола), примененных Б. Фуллером в 1940-х годах [3] и затем, в конце XX – начале XXI столетий, уже в крупных постройках архитекторов Н. Гримшоу и Н. Фостера [4]. Также рассмотрен проект «Новый элемент расселения» И.Г. Лежавы и А.Э. Гутнова [5] и учтен реальный опыт проектирования арктических и антарктических баз. Инновационные подходы к поиску новой геометрии архитектурных конструкций в сочетании с энергоэффективностью сооружений сведены в концептуальных проектах Биосити [6] и Боровое-Биосити [7], а часть наработок применена в настоящей статье.

Следует заранее отметить, что рассматриваемый концептуальный вариант проекта «Доступная Арктика» рассчитан на отдаленную перспективу, поскольку строительство автомагистрали по побережью Северного Ледовитого океана вдоль Северного морского пути – дело будущего [8]. Однако реализация локальных частей проекта – отдельных поселений с расчетом на постепенное создание логистической инфраструктуры, связывающей их, является задачей настоящего времени и ближайшего будущего.

Об актуальности проекта свидетельствует и тот факт, что он высоко оценен сотрудниками отдела перспективных разработок АО «ТВЭЛ» (Росатом): выиграл закрытый конкурс, проводимый на тему развития Северного морского пути. Данный проект был представлен на XII Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее», а также участвовал в экспозиции Госкорпорации Росатом на выставке «Армия-2022».

ПРЕДПРОЕКТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Если обратить внимание на ночной космический снимок территории России, то по светящимся точкам городов и линиям дорог можно оценить реальную плотность населения и освоенность территорий. Более половины территории страны, особенно северо-



восточная ее часть – практически пустует (рис. 1). Развитие Северного морского пути создает своеобразную ось активности в Арктической зоне России.



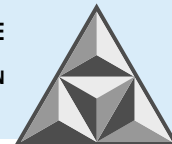
Рис. 1. Ночной космический снимок территории РФ, траектория Северного морского пути и предполагаемый маршрут его обслуживания

Fig. 1. Night space image of the Russian Federation territory, the Northern Sea Route trajectory and the proposed route of its service

Преобразование побережья Северного Ледовитого океана и его насыщение объектами, необходимыми для обслуживания маршрута, ремонта судов и безопасности перевозок, приведет к возникновению новых населенных пунктов. В дальнейшем появится необходимость объединения единой магистралью новых и существующих прибрежных городов и поселков. Даже эстетически светящийся высокотехнологичный объект в бескрайней арктической пустыне не только развеет тьму полярной ночи, но и визуально закрепит на спутниковых снимках северную континентальную границу страны. Кроме того, необходимость сокращения магистрали, связывающей восток и запад страны, уже долгое время обсуждается специалистами. Согласно схеме, представленной на рис. 1, такая магистраль способна почти в два раза сократить маршрут между северо-западом и северо-востоком России (в данном случае в точках начала и конца магистрали расположены города Архангельск и Певек).

В условиях экстремального арктического климата и затрудненной логистики возникает необходимость использовать принципиально новый подход к выбору строительных конструкций и материалов. Целью настоящей работы является возможность создания автономных поселений с применением нестандартных строительных и архитектурных технологий.

Для начала обозначим преимущества арктических регионов, а также сложности, препятствующие полноценной реализации их потенциала.



Роль Арктики как кладези огромных запасов природных ресурсов неопределима. В Арктической зоне России осуществляется добыча 91% природного газа и сосредоточено 80% газа промышленных категорий. Здесь также содержатся запасы апатитового концентрата, 50-90% ценных металлов – от никеля до вольфрама, более 95% редкоземельных элементов, свыше 98% платиноидов, около 90% запасов золота и серебра, 99% алмазов, а также дефицитные руды марганца, хрома и титана. На шельфе и в арктических архипелагах выявлены запасы и ресурсы россыпного олова, полиметаллов, флюорита и самоцветов. Имеются предпосылки к открытию месторождений меди, фосфоритов, железа. Общие кондиционные прогнозные запасы залегающих здесь углей оцениваются минимум в 780 млрд. т, из них 599 млрд. т – энергетических и 181 млрд. т – коксующихся. Стоимость минерального сырья в недрах арктических районов России оценивается в 30 трлн. долларов. При этом степень разведанности и освоения недр не превышает 5-7% [9].

Кроме ресурсного потенциала, основными преимуществами освоения Арктики являются:

- создание новых транспортно-логистических систем, которые открывают дорогу к северным морям, прокладывают альтернативные транзитные пути и по-новому направляют потоки мировой торговли, что позволит Арктике стать одним из узловых транспортных и промышленных районов планеты;
- сокращение сроков доставки грузов из европейской части в азиатскую, по сравнению с традиционным маршрутом через Суэцкий канал;
- растущее значение в военно-политическом отношении.

Вместе с тем уникальные природно-климатические условия накладывают на приарктические государства определенные обязательства в сфере охраны окружающей среды.

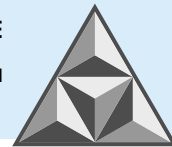
Для эффективного использования потенциала Арктики можно сформулировать задачу соединения материковой и портовой инфраструктуры в единую логистическую систему. В условиях удаленности территории от основных промышленных центров страны возникает необходимость строительства разветвленной сети железных и автомобильных дорог: с одной стороны – для поддержания высокого уровня добычи полезных ископаемых, с другой – для снабжения арктических регионов.

Основное преимущество Северного морского пути заключается в том, что его использование позволяет значительно (на 14-22 сут.) сократить время доставки полярных грузов на рынки стран АТР. По предварительным прогнозам, восточный участок Северного морского пути будет открыт для круглогодичного судоходства после ввода в эксплуатацию ледоколов «Лидер» с 2028 г. [10, 11].

Возникает резонный вопрос: почему сейчас, при всех описанных преимуществах, арктические регионы России пустынные?

Это объясняется следующими причинами:

- отсутствуют развитые сети дорог; из-за высокой ветровой нагрузки дорожное полотно быстро «заметается», покрывается снегом;
- отсутствует необходимая оперативная помощь (медицинская, техническая) и привычные способы оповещения о ее необходимости;
- слабо развиты коммуникации – энергетические, информационные, телекоммуникационные; сети присутствуют локально, в непосредственной близости от населенных пунктов;
- «инфраструктурный вакуум» (отсутствие автозаправочных станций, магазинов и дорожных гостиниц на многих отрезках дорог);
- тяжелые климатические условия (температура на побережье Северного Ледовитого океана зимой $-25...-55$ °C и летом $-8...+8$ °C) и особенности смены суток (полярная ночь и полярный день) [12].



Транспортные возможности и мощности по добыче полезных ископаемых в арктических регионах, а также геополитические предпосылки к развитию данной территории должны обеспечить условия для преодоления указанных недостатков.

ПРИНЦИПЫ АРКТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проект «Доступная Арктика» создан для того, чтобы наиболее экономичным способом начать освоение региона и в полной мере реализовать его потенциал. Сформулируем требования, которые предъявляются к создаваемому арктическому поселению или многофункциональному комплексу:

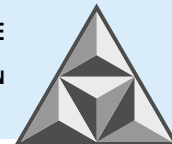
- транспортная свобода и быстрая доступность;
- энергетическая, информационная и коммуникационная связь между поселением и «большой землей»;
- доступность выбора места проживания и ограниченное расстояние от него до места работы и общественных центров;
- высокая скорость доставки грузов и материалов между поселениями;
- наличие в непосредственной доступности мест досуга, поддержания физической формы и здоровья обитателей;
- обеспечение возможности проводить время в условиях оптимального «внутреннего» климата и минимально соприкасаться с внешними неблагоприятными погодными условиями.

Рассмотрим потенциальный маршрут между городами Архангельск и Певек вдоль побережья Северного Ледовитого океана. Протяженность магистрали составляет 5400 км. Чтобы обустроить данный маршрут, необходимы колоссальные затраты ресурсов, сопоставимые с созданием лунной или марсианской базы. Климатические условия на полярных территориях лучше инопланетных, но при этом традиционное строительство обходится на порядок дороже, чем в средних широтах. В этой связи представляется логичным заимствовать некоторые черты создания космических поселений.

Исходные данные для строительства на арктических территориях:

- дорогостоящая логистика требует снижения массы и компактности конструкций;
- защита от внешних погодных условий при минимальных затратах на поддержание внутреннего микроклимата приводит к необходимости максимально использовать энергосберегающие конструкции и технологии их возведения;
- отсутствие подходящих грунтов для строительства требует применения прочных элементов с расчетом опоры на поверхность грунта без заглубления и легких составных частей – модулей, из которых должны состоять крупные комплексы;
- необходимость максимальной энергоустойчивости арктических поселений при отсутствии или непостоянном внешнем энергоснабжении;
- отсутствие дружелюбной внешней среды для обитателей проектируемых поселений, которое требует использования биотехнологий, создания оранжерей и человеко-ориентированных пространств внутри комплексов.

Для адекватного ответа на эти вызовы целесообразно обратиться к модульному проектированию. Разнообразие функций сложных обитаемых комплексов приводит к различию форм проектируемых объектов и модулей; при этом необходимо придерживаться единого принципа их создания. Другими словами, отдельные модули – это «буквы» единого алфавита, в правильном сочетании создающие «законченную фразу». В размерах и в формах каждая «буква» не выходит за определенные рамки.



За основу модуля взят геодезический купол, построенный из одинаковых и равных по размерам геометрических элементов – трехгранных или шестигранных. Максимальная унификация и взаимозаменяемость модулей и образующих их ячеек важна для повышения эффективности строительства и снижения затрат на эксплуатацию комплекса.

Одной из базовых «букв» нашего «алфавита» является биоклиматический модуль, который постараемся рассмотреть наиболее подробно.

Кроме биоклиматических модулей, обладающих, в первую очередь, функцией жилья, в проекте «Доступная Арктика» разработаны и другие виды модулей, их комбинаций и сооружений:

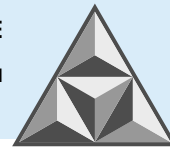
- механизированные базы и склады купольного типа;
- арктические теплицы и оранжереи;
- защитные светопрозрачные конструкции туннельного типа (для стационарных дорог) и из лежневых настилов (для временных дорог);
- энергетические модули, в частности ветрогенераторы, адаптированные для арктического климата.

Автономные арктические поселения собираются из различных типов модулей. Основу большинства модулей составляет купольная оболочка. Это каркасная конструкция, к которой крепятся унифицированные купольные ячейки. Купольные модули соединяются между собой тамбурами или шлюзами. Сохранение климата обеспечивается герметичностью конструкции ячеек и мест их примыкания к каркасу.

Ячейка является конструктивным элементом купольного модуля. Она изготавливается из композитно-алюминиевого профиля и реального материала ETFE (этилентетрафторэтилена) – частично фторированного сополимера этилена и тетрафторэтилена [13] и представляет собой герметичную многослойную пленочную конструкцию с высокой теплоизоляцией. Пленка ETFE (ЭТФЭ) характеризуется химической стойкостью, термо-, атмосферо-, био- и огнестойкостью, антиадгезионными и антифрикционными свойствами, имеет высокие механические и диэлектрические характеристики, но низкую диффузионную проницаемость (в 8-30 раз ниже полиэтилена). Структурные ячейки с использованием данного материала имеют малый вес. Масса 1 м² поверхности трехслойной пневматической конструкции составляет около 2-3 кг (1% от массы эквивалентного структурного остекления).

Для проекта арктического поселения ценными являются следующие характеристики оболочки модулей:

- высокая прочность на разрыв; относительное удлинение при разрыве составляет 150-400%;
- пожаробезопасность; пленка оболочки относится к группе горючести Г1 (не распространяет горение, не образует капель при плавлении);
- широкий рабочий диапазон температур наружного воздуха, что важно для арктического климата (отсутствует растрескивание при резком изменении температуры);
- долговечность (расчетный ресурс – более 50 лет);
- прозрачность для ультрафиолетового излучения; один слой пленки толщиной 250 мкм пропускает 98% солнечных лучей;
- стойкость к химической коррозии (инертность к кислотным, щелочным и другим агрессивным средам); объект может эксплуатироваться как в условиях жилого арктического поселения, так и в условиях промышленных зон, в том числе – месторождений угля, руды и др.;



- устойчивость к ветровым нагрузкам (упругая оболочка);
- адаптивность к снеговым и ливневым нагрузкам (на поверхности не накапливаются большие объемы снега, льда или ливневых осадков, которые могут вызвать локальный прогиб или разрушение пневмоконструкции и несущего профиля); самоочищаемость наружной поверхности, препятствующая намерзанию льда, что связано с отсутствием микропор и высоким коэффициентом поверхностного натяжения;
- энергоэффективность (количество слоев материала в ячейках – два): чем больше в ячейке слоев материала, тем выше ее сопротивление теплопередаче (по аналогии со стеклопакетом);
- возможность регулировки светопрозрачности оболочки модулей; на слои пленки предварительно наносится рисунок в виде множества полос, при подаче избыточного давления между двумя слоями создается эффект муара или жалюзи, тем самым регулируется количество пропускаемого оболочкой света;
- подавление шума (эластичная пленка частично поглощает шум, создавая комфортную среду для находящихся внутри модуля людей).

Что касается основания конструкций купольных модулей, в проекте не предполагается заглубление в грунт, поскольку вечная мерзлота не создает устойчивой опоры для сооружений и может оттаивать со временем. Для оптимизации уборки снега и откапывания стен модулей при снежных заносах большую часть модулей предлагается устанавливать на конструкцию высотой от 2 м (каркас без оболочки). Также возможен монтаж модулей на поверхности земли. В обоих случаях теплоизоляционный элемент основы пола купольного модуля – подложка из переработанной резины. Она служит для выравнивания рельефа и установки каркаса. Основание выдерживает нагрузку 60 т и имеет высокие теплоизоляционные свойства.

Ветровая энергоэкологическая система предполагает обеспечить небольшие модульные комплексы электроэнергией в сочетании с аккумуляторами и дизель-генераторами для пиковых нагрузок. В арктических регионах на побережье Северного Ледовитого океана большую часть года скорость ветра достаточно велика (до $100 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$), однако традиционные ветрогенераторы здесь не годятся, поскольку они подвержены намерзанию льда на лопасти, что останавливает их вращение и может привести к разрушению из-за непрогнозируемого увеличения веса.

Существуют ветроэнергетические установки арктического исполнения VETROX Arctic GE-50 мощностью 50 кВт [14]. Также в настоящее время в разработке находится левитирующая на магнитной подвеске, вертикально-осевая двухгенераторная трехмодульная энергоустановка ВОВЭ МАГЛЕВ-Т, использующая модифицированные электрические проводники с низким сопротивлением (МЭПНС), мощность которой предполагается довести до 150-200 кВт [15]. Оба типа ветро-энергоустановок предлагается использовать в проекте.

АРКТИЧЕСКИЕ МОДУЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Приведем описание компоновок модулей для формирования арктических поселений.

Базовый лагерь из купольных модулей (рис. 2) рассчитан на проживание и работу 30-50 чел. Лагерь состоит из купольных модулей радиусом 6 м, высотой 5 м и площадью 111 м^2 .

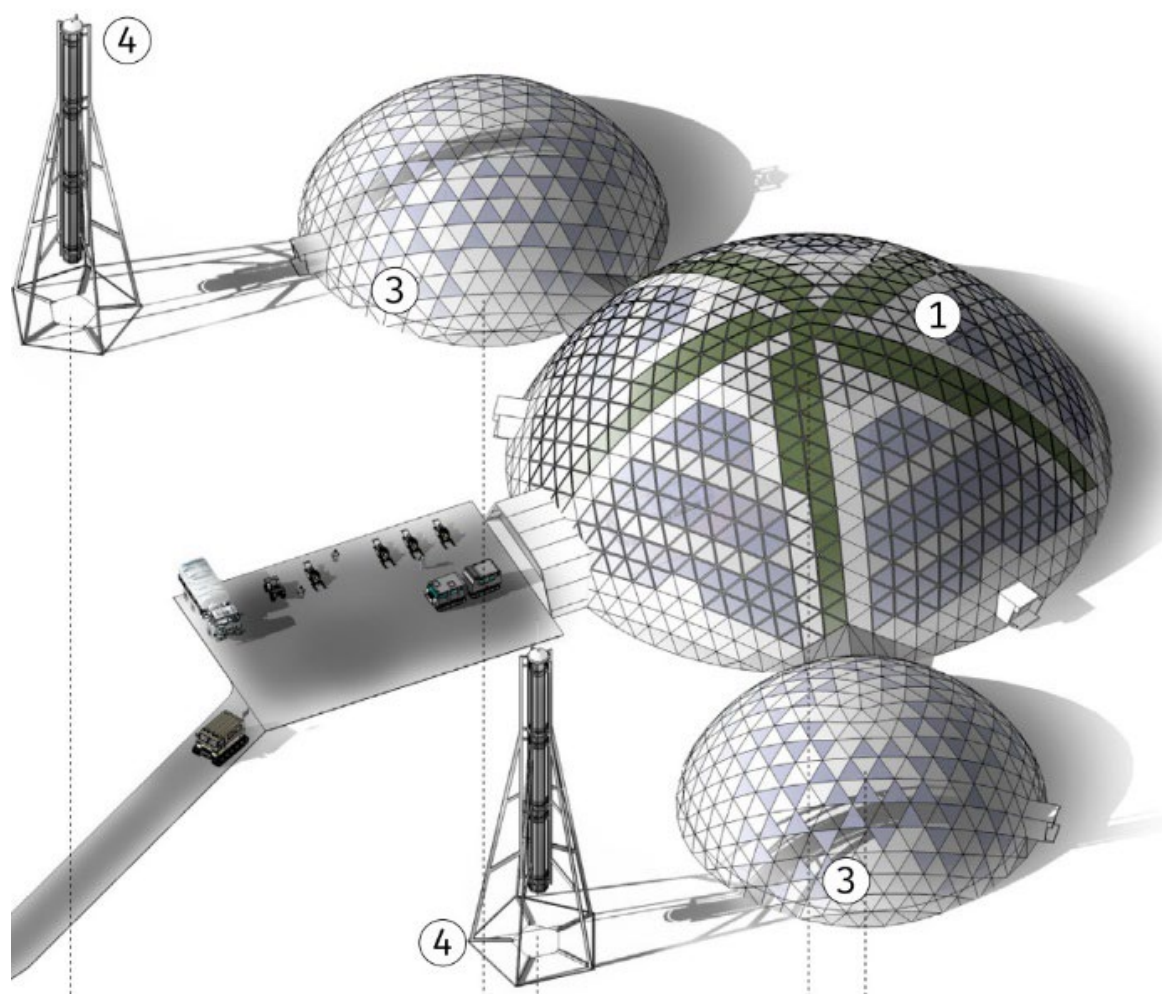


Рис. 2. Базовый лагерь: 1, 2 – жилой и рабочий модуль; 3 – складские и обслуживающие модули; 4 – вертикально-осевые ветро-энергоустановки

Fig. 2. Base camp: 1, 2 – living and working module; 3 – storage and service modules; 4 – vertical-axis wind power plants

Модули могут стыковаться для получения лагеря с различными площадями и функционалом. Кроме основного типа модулей, возможно также применение более крупных, стыковка которых осуществляется с помощью типовых элементов. Для сбора базовых конфигураций достаточно применить элементы двух видов. Высота в точке стыка от уровня «чистого» пола до низа конструкции стыковочного элемента составляет 2.2 м. Применение мелких модулей затруднительно из-за небольшой высоты соединительных элементов (< 2 м).

Модуль включает треугольные ячейки, герметично закрепленные на каркасе из шестигранных металлических рам. Число ячеек в стандартном модуле – 75 шт. Модуль монтируется без применения специальной техники в двух вариантах – на уплотненном грунте с использованием подложки из переработанной резины и на опорных каркасных ячейках для защиты лагеря от заметания снегом в условиях арктического климата. Срок эксплуатации готового модуля составляет 10 лет. При необходимости, кластер из пяти ячеек заменяется на входной тамбур. Максимальный размер ячеек подобран таким образом, чтобы была возможность транспортировать их в большом количестве в стандартном 20-футовом контейнере (рис. 3).

Согласно проведенному моделированию (рис. 3), один контейнер вмещает 45 ячеек. Таким образом, в пяти контейнерах помещаются материалы для трех модулей (225 ячеек и элементы каркаса).

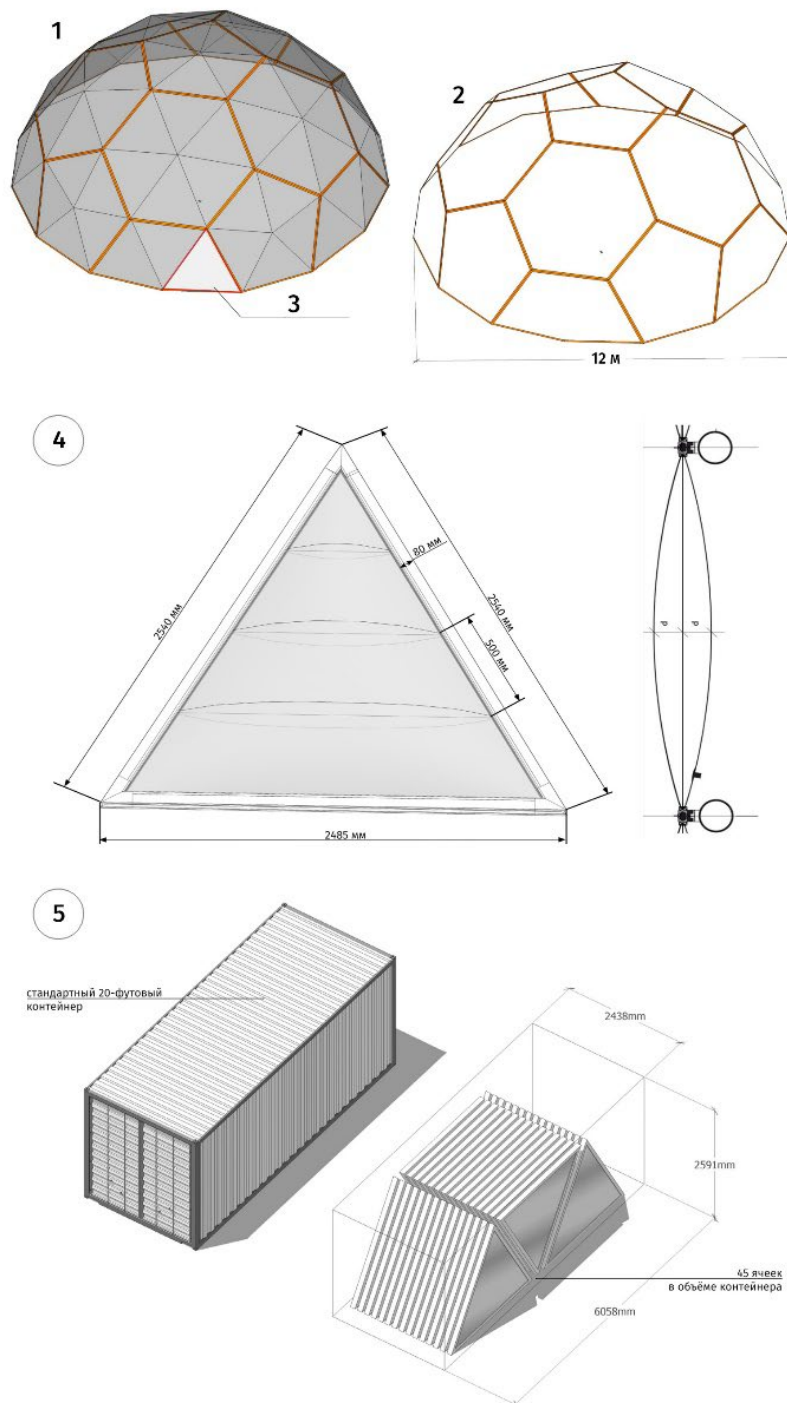
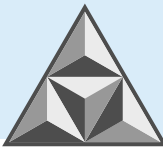


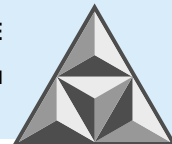
Рис. 3. 1, 2 – купольный модуль и его каркас; 3 – стандартная ячейка модуля; 4 – структура ячейки: профиль и трехслойная пневматическая конструкция из ЭТФЭ пленки;

5 – размещение 45 ячеек в стандартном 20-футовом контейнере для транспортировки

Fig. 3. 1, 2 – dome module and its frame; 3 – standard module cell; 4 – cell structure: profile and three-layer pneumatic structure made of ETFE film; 5 – layout of 45 cells in a standard 20-foot shipping container

Стандартная ячейка состоит из алюминиевой рамы, которая закрывает двухкамерную емкость из прозрачной ETFE-пленки. Камеры заполнены азотом.

Герметичная оболочка купола-модуля из ячеек обеспечивает высокую степень теплоизоляции. Конструкция рамы создана по принципу двухкамерного стеклопакета и препятствует промерзанию ячейки в узких местах. В раме присутствует съемный элемент, который позволяет быстро загрузить «стеклопакет» либо удалить емкость при повреждении.



Сама двухкамерная емкость имеет встроенный внутренний каркас из пенополиуретана, который обеспечивает упрощенный монтаж в раму.

Общие требования, предъявляемые к ячейкам: работа при разнице температур до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ снаружи и $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ внутри; ветровая нагрузка на внешний слой, эквивалентная скорости ветра до $50\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ при влажности воздуха до 100%. Оболочка модуля позволяет регулировать уровень проникновения света.

Биоклиматический модуль – это светопрозрачный пленочный каркасный модуль с автономным энергообеспечением, управляемым климатом и организацией жилой функции (рис. 4).

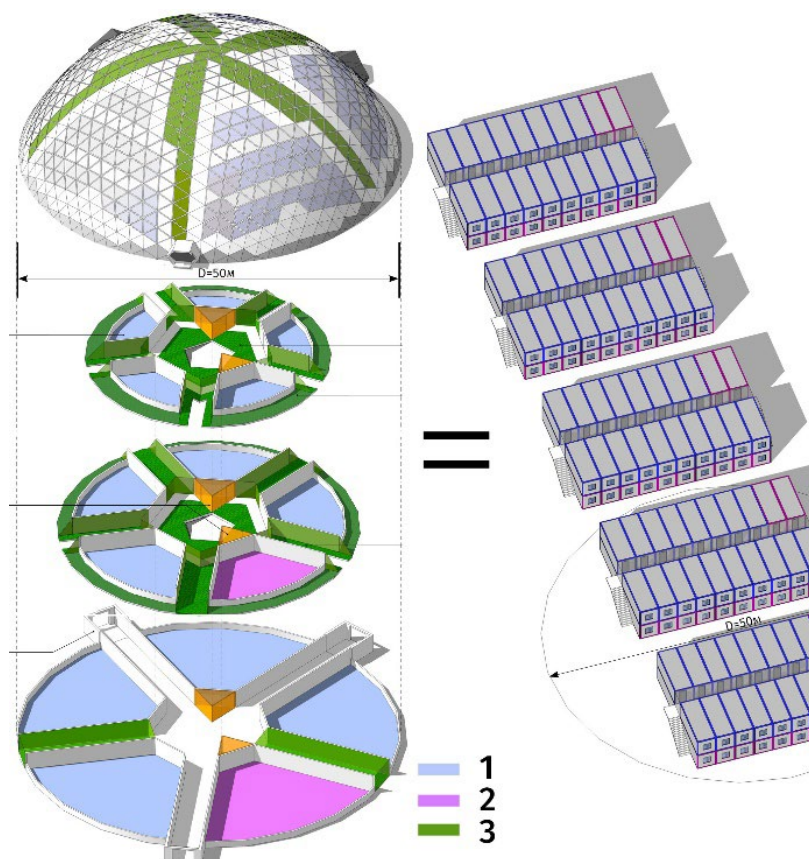


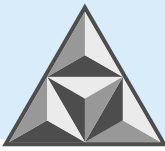
Рис. 4. Биоклиматический модуль, схемы уровней и сравнение по вместимости со стандартным методом вахтового расселения в блок-контейнерах (5 двухэтажных корпусов по 20 контейнеров):

1 – жилая функция; 2 – обслуживание; 3 – озелененные зоны

Fig. 4. Bioclimatic module, level diagrams and comparison of capacity with the standard method of shift accommodation in block containers (5 two-story buildings with 20 containers each):

1 – residential function; 2 – maintenance; 3 – green areas

Модуль обладает радиальной планировкой, оптимальной для купольной формы. Такая планировка позволяет эффективно использовать всю площадь на трех уровнях под сферической поверхностью. Модуль рассчитан на постоянное пребывание 110 поселенцев. Здесь достигается разумное сочетание частного и общественного пространства. Так, общедоступное теплое пространство внутри купола является подобием пешеходной улицы. Транзитные пешеходные потоки внутри одного модуля разделены. Окружность модуля в плане формируют универсальные функциональные сегменты равной площади и размеров, которые взаимозаменяемы. Это позволяет реализовать различный набор функций без изменения конструктивной структуры модуля. Внутри биоклиматического модуля создается естественный микроклимат и функционирует устойчивая экосистема. Это является важным условием для постоянного проживания персонала в условиях Крайнего Севера и полярной



ночи. Возможность выращивать собственные фрукты и овощи создает иллюзию жизни в привычных климатических условиях и одновременно – иллюзию базы отдыха. Также предлагается опция изменения общей освещенности общественных зон для имитации смены времени суток.

Компактный «теплый контур» способствует сокращению затрат на поддержание комфортной температуры. Активно задействованы общественные пространства и социальные связи. «Современность» жилой среды предполагает длительную эксплуатацию комплекса без морального устаревания. «Внутренний оазис» расположен в центре модуля, благодаря чему персонал находится в оптимальных климатических условиях, в постоянном контакте с живой природой, что облегчает адаптацию к условиям Крайнего Севера.

Крупный модульный комплекс «Арктический город» – наиболее масштабный комплекс, представленный в проекте; его вместимость – до 1500 чел. (рис. 5).

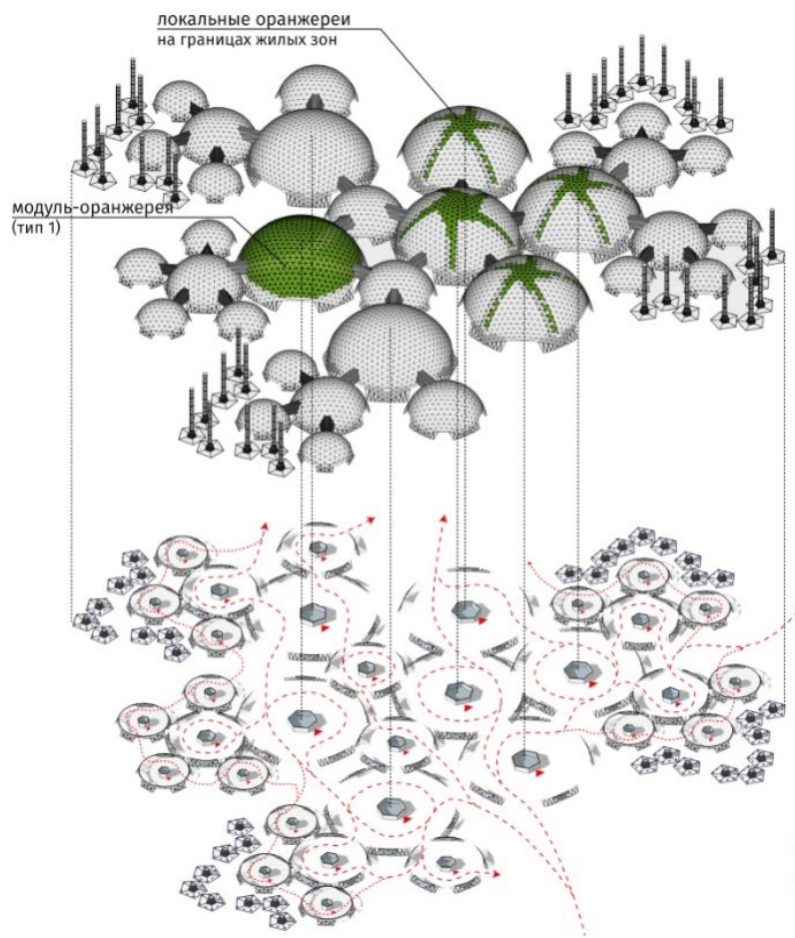


Рис. 5. «Арктический город» из разных типов модулей, связанных теплыми переходами.

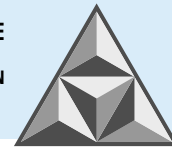
Транспортная схема в сочетании со снегоуборкой на уровне 1

Fig. 5. “Arctic city” made of different types of modules connected by warm passages.

Transport scheme in combination with snow removal at level 1

В данном модульном комплексе предусмотрена автономность функционирования за счет ветроэнерготурбин и встроенных оранжерей. Комплекс оснащен автономными энергетическими элементами и горизонтальными ветряками, функционирующими при отключении от внешней энергосети.

Этот комплекс общей площадью 49600 м² собирается из трех типов стандартных ячеек и универсальных каркасных элементов. Он содержит жилые и рабочие модули, зоны отдыха, складские помещения, зоны ремонта и хранения техники и т.д.



Каждый модуль имеет собственный вход с тамбуром. Кроме того, комплекс оснащен оранжереями для выращивания овощей. Общая оранжерея предназначена для обеспечения овощами всех жителей комплекса. Локальные оранжереи расположены на стыках жилых зон (на разных уровнях). Предусматривается 80 локальных оранжерей в четырех жилых модулях на четырех уровнях. Каждая оранжерея рассчитана на 20 жителей.

Переходы между модулями расположены на уровне 1-2 этажей. Входы в модули комплекса находятся на уровне земли. Предусмотрен проезд техники в зону крытой стоянки на 15 увеличенных машиномест (11×3 м). Ширина проезда составляет 14.0 м, высота – 4.5 м. Зона стоянки имеет прямую коммуникацию с зоной обслуживания техники. Транспортная схема связана с системой уборки и вывоза снега, при том функциональные уровни большинства модулей начинаются на уровне второго этажа.

В комплексе запроектированы инженерные системы с расчетом на их автономность и независимость от внешних подключений. Система очистки канализационных стоков предназначена для накопления и очистки сточных вод при отсутствии местных стационарных систем канализации. Она включает элементы биопереработки. Очистка осуществляется до норм сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения. Для минимизации выбросов отходов в окружающую среду, предотвращения распространения заболеваний, и загрязнения водоемов и грунтовых вод в составе комплекса предусмотрена установка утилизации. Автономность обеспечения комплекса достигается благодаря системе очистки воды, поступающей из открытых и подземных источников.

Влияние комплекса на вечную мерзлоту исключено. Срок его эксплуатации не ограничивается 10 годами и может продлеваться. Срок службы пленки и элементов каркаса – 30 лет. Большинство элементов сборки – стандартные треугольные ячейки размером 2.5×2.5×2.5 м. Элементы каркаса и ячейки перевозятся в морских 20-футовых контейнерах.

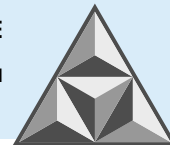
Все модули комплекса объединены в замкнутую систему с внутренним микроклиматом. В большинстве случаев жителям не требуется покидать эту систему, чтобы осуществлять ежедневную деятельность и рабочие действия.

Данную разработку можно представить как технологическую основу для создания локальных проектов в Арктической зоне России. Полученный в результате точечного проектирования опыт можно рассматривать как «обратную связь» и корректировать на ее основе общую концепцию. Многие вопросы потребуют в дальнейшем научно-обоснованного подхода к их решению: «Большое арктическое путешествие» только начинается. Так, следует более подробно рассмотреть экологические проблемы арктической территории (очистка побережья океана от накопившегося антропогенного мусора, его переработка и рециркуляция [16]). Кроме того, проектирование дорог выполнено пока на концептуальном уровне; этот обширный научный пласт, несомненно, будет сопровождаться временными затратами на детализацию [8, 17].

ВЫВОДЫ

Рассматриваемый проект является объемным, как сама тема освоения Арктики. Предлагаемые универсальные модули проекта «Доступная Арктика» необходимо адаптировать к определенной территории или осуществить реконструкцию на новом технологическом уровне конкретного населенного пункта, расположенного на побережье Северного Ледовитого океана (в том числе – заброшенного).

В ходе реализации проекта представляется перспективным также оценить возможности использования инновационных технологий (3D-печать), автоматизированной сборки



сооружений и другие аспекты. Возрастающая роль Арктики в мировой экономике и полноценный запуск Северного морского пути должны ускорить востребованность проекта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Внеземная архитектура: 9 проектов лунных колоний // *Naked Science*: [сайт]. 2018. URL: <https://naked-science.ru/article/nakedscience/vnezemnaya-arhitektura-9>
2. 3D-Printed Habitat Challenge // *The National Aeronautics and Space Administration*. URL: <https://www.nasa.gov/prizes-challenges-and-crowdsourcing/centennial-challenges/3d-printed-habitat-challenge/>
3. **Токарев Е.А.** Купола Б. Фуллера и его последователей в современной архитектуре URL: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz18_pril/30/template_article-ar=K41-60-k41.htm
4. **Ален И.** Николас Гримшоу. Проект Эдем // *Проект классика*. 2002. № 4. С. 28. URL: www.projectclassica.ru
5. **Лежава И.Г.** НЭР Триеннале. URL: <https://ilya-lezhava.livejournal.com/2475.html>
6. **Расторгуев С.В., Кудряшов М.Н.** Альтернатива. М.: Издательские решения, 2022. С. 68-76.
7. **Кудряшов М.Н., Расторгуев С.В.** Боровое-Биосити - Biocity // *Портал «Архитектура и энтропия»* [сайт]. 2021. URL: <https://cih.ru/kz/index.html>
8. Доступная Арктика // *Cih.ru блог*: [сайт]. URL: <https://cih.ru/wp/bld/2023/08/31/arctic/>
9. **Орлов Д.** Развитие Арктической зоны России и основные вызовы для ее освоения // *ИА REGNUM*. 2018. URL: <https://regnum.ru/article/2407690>
10. Арктика – мировой природный ресурс // *Проектный офис развития Арктики*: [сайт]. 2019. URL: <https://goarctic.ru/news/arktika-mirovoy-prirodnyy-resurs/>
11. **Подстрехина В.В.** Освоение Арктики равно освоению космоса // *Газовая промышленность*. 2014. № 8(710). С. 44-45.
12. **Тагиева Н.К., Онегин В.Е.** Дорога в Арктику Стратегия развития и транспортная инфраструктура // *Деловой журн. Neftegaz.RU*. 2018. № 5(77). С. 58-61.
13. **Мороз А.А.** Преимущества новейшего полимерного материала – пленки ETFE // *Евростройпрофи*. 2015. № 5. URL: <https://lommata.ru/files/Evrostroyprofi.pdf>
14. Ветроэнергетическая установка арктического исполнения 50 кВт // *ЭнергоСток*: [сайт]. URL: <https://energystock.ru/arkticheskogo-ispolneniya/>
15. **Карначев П.И., Карначев И.П.** Градусы северной широты. Обеспечение энергосберегающей эффективности объектов теплоснабжения в условиях российской Арктики на основе концепции «Наилучших доступных технологий» // *Безопасность и охрана труда*. 2014. № 4(61). С. 52-54.
16. **Таюрский В.Г.** На вывоз из Арктики скопившегося металлолома не хватает денег. URL: <https://rg.ru/2021/02/04/reg-dfo/na-vyvoz-iz-arktiki-skopivshegosia-metalloloma-ne-hvataet-deneg.html>
17. **Толкачева К.В.** Проблемы организации строительства автомобильных дорог в условиях Арктики // *StudArctic Forum*. 2021. Т. 1, № 21. С. 95-101.

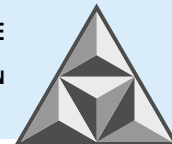
Поступила в редакцию 13.11.2023

Одобрена после рецензирования 29.11.2023

Принята к опубликованию 12.12.2023

REFERENCES

1. Naked Science portal, (2018) *Extraterrestrial architecture: 9 projects for lunar colonies* [online]. Available at: <https://naked-science.ru/article/nakedscience/vnezemnaya-arhitektura-9> (in Russian).
2. 3D-Printed Habitat Challenge, *The National Aeronautics and Space Administration* [online]. Available at: <https://www.nasa.gov/prizes-challenges-and-crowdsourcing/centennial-challenges/3d-printed-habitat-challenge/> (in Russian).
3. **Tozarev, E.A.** *Domes of B. Fuller and his followers in modern architecture* [online]. Available at: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz18_pril/30/template_article-ar=K41-60-k41.htm (in Russian).
4. **Allen, I.** (2002) Nicholas Grimshaw. Project Eden, *Project Classics*, (4) (in Russian).



5. **Lezhava, I.G.** *NER Triennale* [online]. Available at: <https://ilya-lezhava.livejournal.com/2475.html> (in Russian).
6. **Rastorguev, S.V. & Kudryashov, M.N.** (2022) *Alternative*. M.: Izdatel'skie resheniya (in Russian).
7. **Kudryashov, M.N. & Rastorguev, S.V.** (2021) Borovoe-Biocity, *Portal «Arhitektura i entropiya»* [online]. Available at: <https://cih.ru/kz/index.html> (in Russian).
8. Cih.ru blog, (2023) *Accessible Arctic* [online]. Available at: <https://cih.ru/wp/bld/2023/08/31/arctic/> (in Russian).
9. **Orlov, D.** (2018) Development of the Arctic zone of Russia and the main challenges for its development, *Inform. agent. REGNUM* [online]. Available at: <https://regnum.ru/article/2407690> (in Russian).
10. Arctic Development Project Office, (2019) *The Arctic is a global natural resource* [online]. Available at: <https://goarctic.ru/news/arktika-mirovoy-prirodnny-resurs/> (in Russian).
11. **Podstrehina, V.V.** (2014) Arctic exploration is equal to space exploration, *Gazovaya promyshlennost'*, 8(710), pp. 44-45 (in Russian).
12. **Tagieva, N.K. & Onegin, V.E.** (2018) Road to the Arctic Development strategy and transport infrastructure, *Delovoy zhurn. Neftegaz.RU*, 5(77), pp. 58-61 (in Russian).
13. **Moroz, A.A.** (2015) Advantages of the newest polymer material – ETFE film, *Evrostroyprofi*, 5 [online]. Available at: <https://lommata.ru/files/Evrostroyprofi.pdf> (in Russian).
14. EnergoStok. *Arctic wind power plant 50 kW* [online]. Available at: <https://energystock.ru/arkticheskogo-ispolneniya/> (in Russian).
15. **Karnachev, P.I. & I.P. Karnachev** (2014) Degrees of northern latitude. Ensuring energy-saving efficiency of heat supply facilities in the Russian Arctic based on the concept of “Best Available Technologies”, *Bezopasnost' i okhrana truda*, 4(61), pp. 52-54 (in Russian).
16. **Tayursky, V.G.** (2021) *There is not enough money to remove accumulated scrap metal from the Arctic* [online]. Available at: <https://rg.ru/2021/02/04/reg-dfo/na-vyvoz-iz-arktiki-skopivshegosia-metalloloma-ne-hvataet-deneg.html> (in Russian).
17. **Tolkacheva, K.V.** (2021) Problems of organizing the construction of highways in the Arctic, *StudArctic Forum*, 1(21), pp. 95-101 (in Russian).

Received 13.11.2023

Approved after reviewing 29.11.2023

Accepted 12.12.2023