

Academia. Архитектура и строительство, № 3, стр. 54–63.
Academia. Architecture and Construction, no. 3, pp. 54–63.

Исследования и теория
Научная статья
УДК 699.8:69.001.5
DOI: 10.22337/2077-9038-2023-3-54-63

Архитектурно-конструктивные приемы в проектировании энергоэффективных арктических поселений

Корнилов Терентий Афанасьевич (Якутск). Доктор технических наук, доцент, действительный член Академии наук Республики Саха (Якутия). Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (Россия, Якутск, ул. Белинского, 58, СВФУ). Эл. почта: kornt@mail.ru

Алексеев Николай Николаевич (Якутск). Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (Россия, Якутск, ул. Белинского, 58, СВФУ)

Аннотация. Для активного освоения Арктической зоны РФ строительство комфортного жилья является одним из основных задач в сфере социального развития. В статье на основе опыта строительства и эксплуатации зданий на северных территориях рассмотрены основные архитектурно-конструктивные приёмы в проектировании арктических поселений. В новом строительстве арктических районов следует планировать в населённых пунктах квартальную застройку энергоэффективными многофункциональными жилыми комплексами (МЖК) с полным инженерным обустройством. Разработаны объёмно-планировочные решения МЖК, отвечающие требованиям энергоэффективности и комфортного проживания в экстремальных условиях Арктики. Предложены основные принципы выбора конструктивно-технологического решения жилых комплексов в зависимости от транспортно-логистической схемы и организации малых производств строительных материалов на основе местного сырья. Выполнен анализ конструктивных способов проектирования ограждающих конструкций энергоэффективных зданий с учётом специфических климатических условий. Рассмотрены проблемы инженерного обеспечения жилых зданий в арктических районах.

Ключевые слова: арктические поселения, экстремальные климатические условия, энергоэффективность, многофункциональные жилые комплексы, архитектурно-конструктивные приёмы, ограждающие конструкции, теплотехнические характеристики, тепловые мосты

Финансирование. Статья подготовлена в рамках исследований по Государственному заказу Республики Саха (Якутия) по теме «Разработка научно-обоснованных решений в проектировании, строительстве и эксплуатации арктических поселений, отвечающих современным стандартам устойчивого развития и комфортности проживания. Этап 1» (ГК № 8019) в рамках комплексных научных исследований (2-й этап).

Для цитирования. Корнилов Т.А., Алексеев Н.Н. Архитектурно-конструктивные приёмы в проектировании энергоэффективных арктических поселений // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 3. – С. 54–63. – DOI: 10.22337/2077-9038-2023-3-54-63.

Architectural and Constructive Techniques in the Design of Energy-Efficient Arctic Settlements

Kornilov Terentii A. (Yakutsk). Doctor of Science in Technology, Docent, Academician of Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia) M.K. Ammosov North-Eastern Federal University (58 Belinsky str, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677027, Russia, NEFU). E-mail: kornt@mail.ru

Alekseev Nikolai N. (Yakutsk). M.K. Ammosov North-Eastern Federal University (58 Belinsky str, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677027, Russia, NEFU).

© Корнилов Т.А., Алексеев Н.Н., 2023.

Abstract. For the active development of the Arctic zone of the Russian Federation, the construction of comfortable housing is one of the main tasks in social development field. Based on the experience of construction and operation of buildings in the northern territories, the main architectural and construction techniques in the design of Arctic settlements are considered. In the new construction of the Arctic regions, it is necessary to plan the quarterly development of energy-efficient multifunctional residential complexes (MRC) with full engineering arrangement. Space-planning solutions of the MRC have been developed, that meet the requirements of energy efficiency and comfortable living in the extreme conditions of the Arctic. The basic principles of choosing a constructive and technological solution of residential complexes are proposed, depending on the transport and logistics scheme and the organization of small-scale production of building materials based on local raw materials. The analysis of constructive methods of designing enclosing structures of energy-efficient buildings is carried out taking into account the specific climatic conditions. The problems of engineering support of residential buildings in the Arctic regions are considered.

Keywords: Arctic settlements, extreme climatic conditions, energy efficiency, multifunctional residential complexes, architectural and structural techniques, enclosing structures, thermal characteristics, thermal bridges

Funding. The article was prepared within the framework of research under the State Order of the Republic of Sakha (Yakutia) on the topic "Development of science-based solutions in the design, construction and operation of Arctic settlements that meet modern standards of sustainable development and living comfort. Stage 1" (GC No. 8019) within the framework of complex scientific research (Stage 2).

For citation. Kornilov T.A., Alekseev N.N. Architectural and Constructive Techniques in the Design of Energy-Efficient Arctic Settlements. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2023, no. 3, pp. 54–63, doi: 10.22337/2077-9038-2023-3-54-63.

Особое место в системе обеспечения стратегических национальных интересов России в области геополитики и обороны, экономики и транспорта, охраны окружающей среды, инноваций занимают арктические районы. Государственная поддержка жилищного строительства, строительство объ-

ектов инженерной и социальной инфраструктуры в местах традиционного проживания малочисленных народов, формирование в населённых пунктах современной городской среды являются основными задачами в сфере социального развития Арктической зоны² [1]

Поиск конструктивных, архитектурных и градостроительных решений для организации жизни на севере особенно активно вёлся с 50-х до начала 80-х годов XX века в период индустриального развития Крайнего Севера [2–6]. В обзорной работе Н.С. Чуклова [2] отмечено, что в 60-е годы XX века впервые было предложено строительство особых типов поселений в Арктике с учётом экстремальных условий: комплекс зданий жилого и общественного назначения, соединённых крытыми переходами. Для снижения скорости ветра и уменьшения снегоотложения архитектор К. Агафонов разработал проект посёлка из круглых в плане пятиэтажных зданий с внутренними двориками, укрытыми от ветра, где располагались бы площадки для прогулок и сады. Концептуально схожий по замыслу проект предложили ленинградские архитекторы С. Одновалов и М. Цимбал с жилыми 15-этажными домами, имевшими в плане овальную форму (рис. 1). Впоследствии

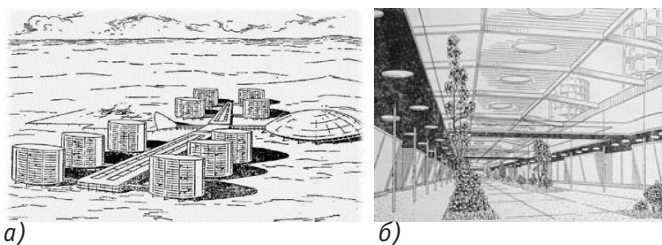


Рис. 1¹. Арктическое поселение. Проект. Архитекторы Станислав Одновалов и Майя Цимбал: а) общий вид; б) крытая улица-пассаж с искусственным микроклиматом



Рис. 2. Город Фробишер-бэй (Frobisher-bay). Проект. Архитектор Э.А Гарднер. 1959 год

¹ Все иллюстрации, кроме особо оговорённых, взяты из открытого доступа сети Интернет.

² Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645 (https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2020/11/24/01/Стратегия_Арктика_2035.pdf); Стратегия социально-экономического развития арктической зоны Республики Саха (Якутия) на период до 2035 года / Администрация Главы РС (Я) и Правительства РС (Я) 2022 год (<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/1400202008170001>).

с развитием строительных технологий зарубежными и российскими архитекторами предлагались проекты арктических «городов под куполом» (рис. 2).

Большое внимание архитекторами прошлого столетия уделялось массивным зданиям-моноблокам различных формы и высот [2–4]. Практически во всех проектах значительный объём зданий занимали рекреации с общественными центрами, садами и спортивными площадками. Это были в основном футуристические проекты, авторы которых не задавались вопросами технологичности, экономической эффективности строительства и эксплуатации крупных сооружений в отдалённых северных районах (рис. 3). Из всех идей архитекторов и разработанных проектов удалось реализовать крытые тёплые переходы-галереи в посёлке Удачном (рис. 4).

В сложившейся геополитической ситуации в 2000-е годы и в связи с активным индустриальным освоением Арктики вновь актуальной стала тема поиска новых подходов к проектированию арктических поселений [7–14]. В качестве теоретического подхода к устойчивому развитию городов и посёлков Арктической зоны РФ в [8] рассмотрены концепции: «зелёного умного» города, термического стресса в арктическом городе, «зимнего города», арктического города-базы, развития прибрежных арктических посёлков на основе принципов «синей» экономики (экономики мор-

ского природопользования и прибрежных зон), обеспечения жизнедеятельности арктических городов и др. В [7] предложена гипотеза пространственной организации Арктической зоны РФ как сети самодостаточных поселений в системе современной инфраструктуры и рассмотрены стартовые положения концепции формирования и развития базовых арктических городов. Многие исследователи отмечают новый круг требований к арктическому домостроению, отвечающих современным стандартам устойчивого развития и комфортности проживания: экологичности, энергоэффективности, экономичности, быстровозводимости и конструктивной безопасности. Развитие арктической зоны прежде всего должно происходить на основе принципов сохранения и восстановления экосистемы, а также безопасности проживания в этих районах [10].

Удачными примерами реализации современных проектов являются военные комплексы «Арктический трилистник» и «Северный клевер». Комплексы имеют полную автономность и в целом схожую структуру: крупный атриум в центре главного блока, имеющего форму треугольника [2]. В проектах научно-исследовательских станций «Принцесса Элизабет» (Princess Elisabeth) в Антарктиде, «Земная обсерватория» (Earth Observatory) на архипелаге Шпицберген и других использованы обтекаемые объёмно-пространственные формы,

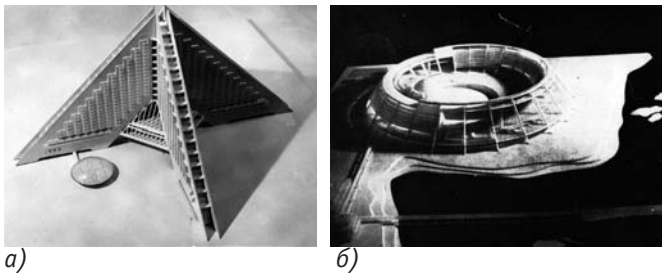


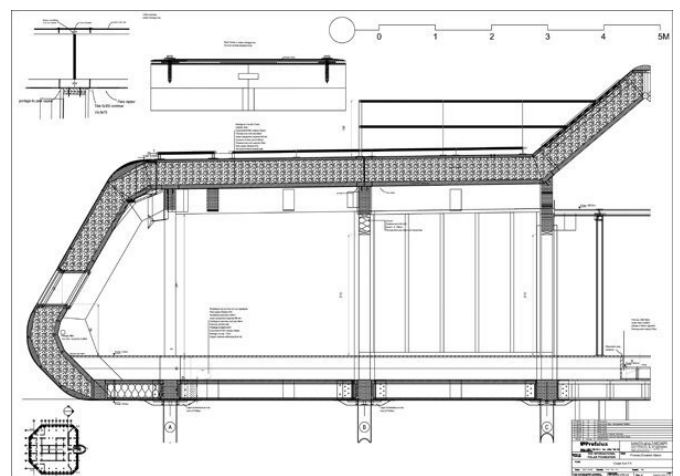
Рис. 3. Арктические поселения. Проекты. Архитекторы Валентина Танкаян (а) и Александр Шипкова (б). 1960-е годы. Фото из личного архива авторов



Рис. 4. Город Удачный (б. посёлок Удачный). Застройка с тёплыми галереями. Современное фото



а)



б)

Рис. 5. Научно-исследовательская станция «Принцесса Элизабет» (Princess Elisabeth) в Антарктиде: а) общий вид; б) разрез станции

энергосберегающие технологии строительства, системы автономного обеспечения, включая возобновляемые источники энергии и переработку мусора [13; 14] (рис. 5).

Большая часть современных проектов жилых комплексов: «Умка», «Экогород–2020», плавучий комплекс «Арктик харвестер» (Arctic Harvester), «Дрейфующий дом» и т.д., – представляют собой проекты сооружений в формате моноблока на 200–500 человек с искусственным климатом и замкнутым циклом жизнеобеспечения, способного приспособиваться к экстремальным природно-климатическим и геолого-геоморфологическим условиям [2; 4]. В проектах комплексов использована следующая функционально-планировочная схема: верхние этажи, как правило, являются жилыми помещениями, а первые этажи отданы под общественные помещения [12].

Многие современные исследователи-архитекторы пришли к единому мнению: многофункциональные жилые комплексы (МЖК) в ближайшей перспективе должны стать основной планировочной единицей градостроительного проектирования в арктических районах. В дальнейшем необходима разработка новых типов МЖК для массового жилищного строительства в арктических районах, чья объёмно-планировочная структура наиболее полно соответствовала бы современным потребностям населения с учётом специфики его демографической структуры, образа жизни и видов хозяйственной деятельности. Ниже рассмотрены возможности применения функционально-планировочных схем МЖК для строительства нового жилья в арктических районах Республики Саха (Якутия) с учётом реальной потребности и экономической ситуации.

К Арктической зоне Российской Федерации отнесены 13 административных районов РС(Я), в которых проживают 676 тыс. человек. Доля домов, исчерпавших срок службы в 50 лет, составляет 14,9%. Большая часть жилищного фонда (78,2%) в арктических районах подключена к централизованному источникам теплоснабжения. При этом жилищный фонд представлен в основном деревянными брусовыми и бревенчатыми домами (70,6%), которые имеют низкие теплотехнические характеристики и не отвечают современным требованиям энергоэффективности. Соответственно, бюджет Республики



Рис. 6. Вахтовый посёлок месторождения Эбелях-Гусиный. Анабарский район Республики Саха (Якутия)

Саха (Якутия) несёт огромные затраты на субсидирование расходов на теплоснабжение жилых домов в арктических районах.

В современной экономической ситуации актуальной задачей, определяющей потребность арктических районов РС(Я) в новом жилищном строительстве, является ликвидация аварийного и ветхого жилья (155,6 тыс. кв. м.) по соответствующей федеральной программе. Вторая важная задача – обеспечение притока и закрепление для постоянного местожительства молодых специалистов (необходимо примерно 400 чел., более 9 тыс. кв. м.). Безусловно, вновь строящееся жилье в арктических районах должно соответствовать принципам компактности застройки и отвечать современным требованиям энергоэффективности, экологичности и комфортности проживания.

Ещё в конце 70-х годов прошлого столетия К.Г. Туралысов на основе анализа объёмно-пространственной организации жилых построек коренных народов Севера определил принципиальные основы северного жилища: компактность построек и максимальное сохранение тепла, минимальная парусность сооружения; оптимальное применение трудновозгораемых строительных материалов. Впоследствии им была предложена идея биоклиматического многофункционального северного жилища – аналогичного китайскому «багуа», имеющего компактную многоугольную форму [15; 16]. В современной интерпретации эта идея удачно использована при проектировании и строительстве вахтового посёлка месторождения Эбелях-Гусиный [Анабарский район РС(Я)] (рис. 6).

При проектировании и строительстве комфортного жилого фонда в арктических районах Якутии необходимо учитывать не только климатические условия, но и прежде всего высокую стоимость тепловой и электрической энергии. По итогам 2021 года общие затраты по поставкам тепловой энергии в арктические районы Якутии для многоквартирных (МКД) и домов блокированной застройки (ДБЗ) составили 4375,27 млн рублей, из них начисленные субсидии из бюджета РС(Я) – 4003,14 млн рублей; для индивидуальных жилых домов (ИЖД) – 2476,38 млн рублей, из них начисленные субсидии из бюджета РС(Я) – 2324,3 млн рублей. То есть выработка 1 Гкал тепловой энергии в арктических районах обходится очень дорого: для МКД и ДБЗ в среднем 9607,1 руб.; для ИЖД – от 6371,3 до 15755,1 руб., в среднем 10468,9 рублей. Для сравнения, этот показатель для Якутска в среднем: для МКД – 2201,6 руб./Гкал, для ИЖД – 2446,1 руб./Гкал.

Исходя из этого, при новом строительстве в населённых пунктах арктических районов следует планировать квартальную застройку МЖК с инженерным обустройством при экономическом обосновании эксплуатационных расходов. МЖК должен иметь высокий класс энергосбережения – V+ и выше, в соответствии с СП 50.13330.2012³. Достичь высокого класса энергосбережения при проектировании МЖК

³ СП 50.13330.2012. «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (<https://docs.cntd.ru/document/1200095525>).

в климатических условиях Арктики возможно только при использовании передовых архитектурно-градостроительных и конструктивных решений и энергосберегающих приёмов.

Прежде всего, при проектировании МЖК следует придерживаться общеизвестного принципа компактности сооружения. При этом не рекомендуется применять сложные формы наружной теплоизоляционной оболочки здания. С учётом характерных для арктических районов метелей в зимний период предлагается предусматривать внутренние непродуваемые дворики со входными зонами в квартиры. Важным аспектом при архитектурном проектировании является учёт ориентации по сторонам света, предпочтительнее всего привязка дома по направлению юг–север. По возможности площадь светопрозрачных конструкций следует свести к минимуму. Для ветрозащиты и снижения инфильтрации воздуха по периметру наружной стены здания можно предусматривать закрытые балконы.

С целью достижения максимальной энергоэффективности и создания благоприятных условий проживания людей в условиях экстремального климата предлагается объёмно-планировочное решение МЖК, представленное на рисунке 7. Близкое к кругу в плане здание МЖК обеспечивает минимальную площадь наружных стен для достижения минимальных теплопотерь. Вторым контуром застеклённых балконов достигается ветрозащита и снижение инфильтрации воздуха по периметру наружной стены здания.

Входные зоны во дворик располагаются в трёх секциях многоугольника. Входные группы защищены от снегозаносов и дождя, обеспечены подъёмниками для маломобильной группы населения. Для создания внутри дворика более комфортной температуры он по периметру цокольной части здания ограждается панелями небольшой толщины. Проведённые исследования регулируемого подполья зданий со свайными фундаментами в условиях криолитозоны подтвердили возможность создания более благоприятного температурного режима воздуха внутри дворика без снижения несущей способности грунтов основания [17]. На первом этаже – технические и общественные помещения, в центре этажа располагается универсальный зал для проведения общественных мероприятий.

На каждом этаже МЖК, начиная со второго, расположено по 24 квартиры. Кухня и прихожая в квартирах расположены со стороны внутреннего дворика, где естественное освещение поступает через верхний купольный фонарь. Жилые помещения в отдельных секциях предусматриваются с наружной широкой стороны. Балконы также служат местом для хранения сезонной одежды и обуви, запасов мяса и рыбы, заготавливаемых, как правило, поздней осенью. В центре жилого этажа на каждом уровне, начиная со второго, располагается атриум, освещённый верхним светом, – место общения жильцов дома.

В другом архитектурно-планировочном решении МЖК конфигурация здания в плане принята П-образной с внутренним двором (рис. 8). Меридиональная ориентация – распо-

ложение здания длинной стороной с севера на юг – обеспечивает относительно равномерную инсоляцию обеих сторон дома. С северной стороны МЖК не имеет оконных проёмов, и внутренние помещения защищены лестничными клетками.

Планировочное решение дома имеет общую коридорную систему со стороны внутреннего дворика, который организован конструктивно, как в вышеприведённом решении. Так же, как и в круглых в плане МЖК, в центре жилого этажа на

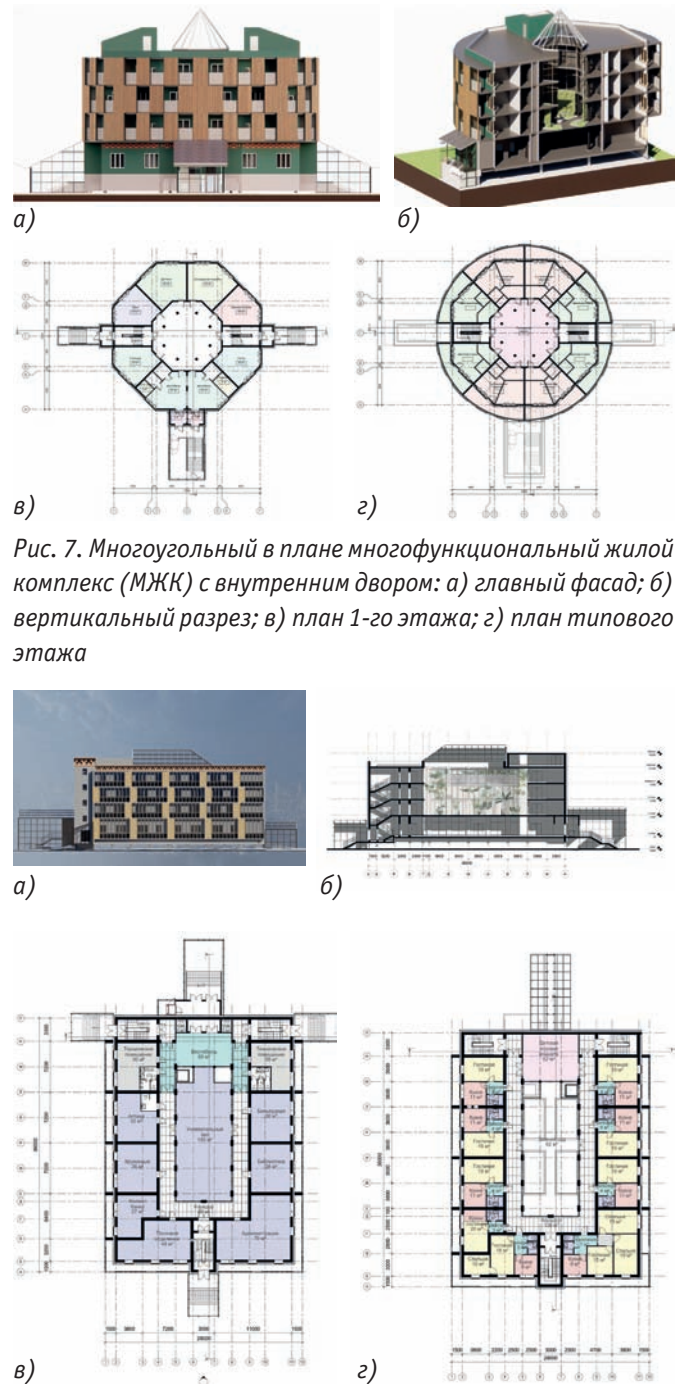


Рис. 7. Многоугольный в плане многофункциональный жилой комплекс (МЖК) с внутренним двором: а) главный фасад; б) вертикальный разрез; в) план 1-го этажа; г) план типового этажа

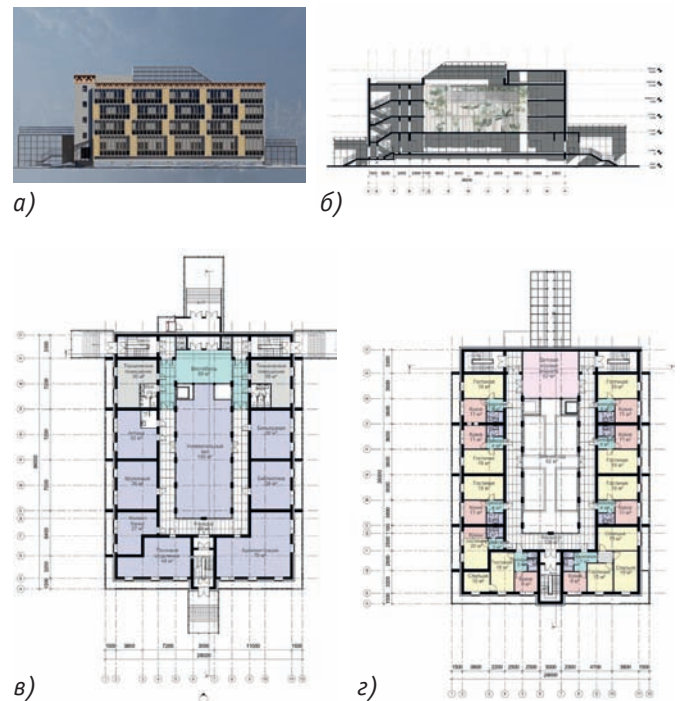


Рис. 8. Прямоугольный в плане многофункциональный жилой комплекс (МЖК) с внутренним двором: а) главный фасад; б) вертикальный разрез; в) план 1-го этажа; г) план типового этажа

каждом уровне, начиная со второго, располагается атриум, освещённый верхним светом, – зимний сад, место общения жильцов дома. Два параллельных отсека здания разделены светопрозрачной конструкцией. По всему периметру наружной стороны размещаются закрытые балконы, являющиеся барьером для ветра и немного повышающие температуру воздуха в балконном помещении, тем самым снижая инфильтрацию воздуха. Входные группы защищены от снегозаносов и дождя, обеспечены подъёмниками для маломобильной группы населения.

Выбор конструктивно-технологической схемы МЖК зависит от его транспортной доступности: например, наличия речного транспорта или доступности только по автозимникам. При наличии речного транспорта возможна доставка инертных материалов в объёмах, необходимых для нужд домостроения, поэтому в таких случаях есть возможность возводить капитальные здания с применением бетона, железобетона и каменно-блочных материалов. В населённых пунктах с автотранспортным сообщением по автозимникам рационально применение лёгких быстровозводимых зданий: панельно-щитовые, каркасные – из стальных элементов, и деревянные – из МХМ-панелей.

В целом высокий класс энергосбережения МЖК достигается архитектурно-конструктивными решениями, основанными на теоретических исследованиях и опыте строительства зданий в холодных регионах путём учёта приведённых ниже принципов.

Высокие теплозащитные характеристики ограждающих конструкций. Тепловые потери зданий напрямую связаны с уровнем теплоизоляции наружных ограждающих конструкций, нормируемое значение которого определяется согласно

СП 50.13330.2012⁴ в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП), составляющего для арктических районов РС(Я) от 10906 до 12556 единиц. Соответственно, при проектировании арктических поселений нормируемых значений сопротивления теплопередаче (стен – 5,22...5,79 м²·°С/Вт, покрытий и цокольного перекрытия – 7,65...8,48 м²·°С/Вт, окон и балконных дверей – 0,77...81 м²·°С/Вт) можно достичь только при использовании в ограждающих конструкциях эффективных теплоизоляционных материалов с низким коэффициентом теплопроводности ($\lambda \leq 0,045$ Вт/м·°С).

В условиях особо низких температур наружного воздуха и наличия проветриваемого подполья большое влияние на теплозащиту нижних этажей многоэтажных зданий оказывает инфильтрация воздуха. В период наиболее холодных месяцев ($t_{н} = -44$ °С... -55 °С), когда скорость ветра может достигать 8 м/сек, разница давления воздуха на наружных и внутренних поверхностях ограждающих конструкций составляет для первого этажа четырёхэтажного дома – 26...64,0 Па.

Многослойность ограждающих конструкций. Все ограждающие конструкции должны быть многослойными с перекрытием стыков отдельных слоёв. Оптимальной является ограждающая конструкция, с внутренней стороны которой располагается теплопроводный элемент с высокой тепловой инерцией, а снаружи – теплоизоляционный материал разной плотности. Этим требованиям соответствует стена из мелких камней с вентилируемым фасадом. Такое конструктивное решение в каменных домах имеет следующие преимущества: зона выпадения конденсата смещается в теплоизоляционной слой и здание за счёт высокой тепловой инерции кладки стен и железобетонных перекрытий здание остывает медленнее.

В малоэтажных каркасных домах из лёгких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) или дерева стены рекомендуется делать двухслойными. Как показывают теплотехнические расчёты и опыт эксплуатации домов из ЛСТК [18], в трёхслойной конструкции линия с нулевой температурой в местах установки стоечных профилей располагается с внутренней стороны, что приводит к промерзанию при малейших дефектах теплоизоляции вдоль профилей (рис. 9).

Неразрывность теплозащитной оболочки зданий. К сожалению, в большинстве проектов многоквартирных зданий не соблюдается именно данное условие [19]. Например, в каркасно-монолитных зданиях и малоэтажных каменных зданиях с несущими стенами из бетонных блоков разрывы теплозащитной оболочки расположены на уровне цокольного перекрытия (рис. 10).

Уменьшение количества тепловых мостов (мостиков холода) или снижение их влияния. В условиях повышенной инфильтрации воздуха, характерной для арктических районов, тщательно обоснованный теплотехнический анализ выбор конструкций узлов соединения наружных ограждающих

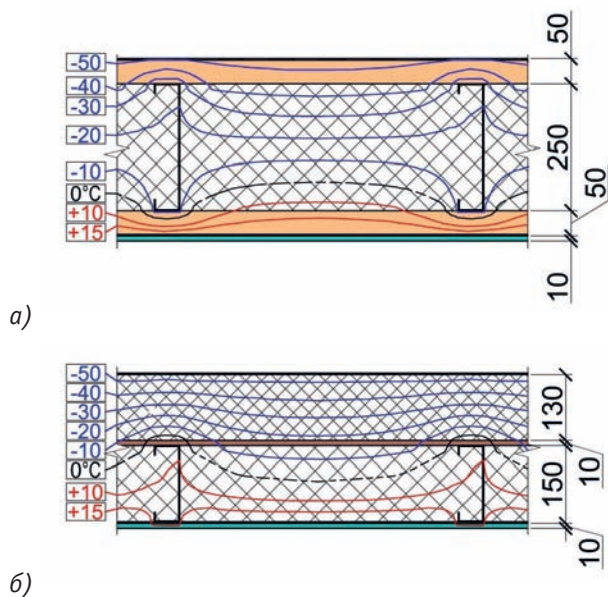


Рис. 9. Графики распределения температуры внутри конструкции стены из применением ЛСТК при $t_{н} = -54$ °С; $t_{в} = +21$ °С: а) трёхслойная стена; б) двухслойная стена. Составлено авторами по результатам теплотехнических расчётов

⁴ СП 50.13330.2012. «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (<https://docs.cntd.ru/document/1200095525>).

щих конструкций является ключевым моментом, позволяющим снизить тепловые потери и обеспечить высокий класс энергосбережения домов. Во многих зданиях, особенно при наличии монолитных железобетонных или стальных каркасов, имеются многочисленные теплопроводные элементы, в том числе несущие конструкции, которые служат мостиками холода [20; 21].

Для сокращения теплопотерь из-за мостиков холода в каркасно-монолитных зданиях рекомендуется размещать теплоизоляционный слой снаружи ограждающих конструкций. Для примера на рисунке 11 приведено решение энергоэффективного узла на участке цокольного перекрытия. Массивный ростверк отделён от цокольного перекрытия плитой из экструдированного полистирола, и сквозным тепловым мостом остаётся только колонна. Теплоизоляция цокольного перекрытия осуществляется с наружной стороны снизу, тем самым обеспечивая непрерывность теплозащитной оболочки здания.

В малоэтажных зданиях со стальным каркасом одним из решений является расположение стальных элементов в зоне с положительной температурой путём применения несущего термовкладыша. Например, для снижения инфильтрации и исключения мостика холода в малоэтажных зданиях из ЛСТК в качестве воздухопроницаемой конструкции применяется железобетонное цокольное перекрытие, и окладные венцы из деревянного бруса – в качестве терморазрыва [21].

Один из современных принципов проектирования зданий – наружные оболочки должны быть воздухопроницаемыми. Если каменные здания с железобетонными перекрытиями являются герметичными, то для каркасных малоэтажных зданий из дерева или ЛСТК обеспечение воздухопроницаемости актуально. В каркасных домах для удобства монтажа паронепроницаемой мембраны все элементы ограждающих конструкций с внутренней стороны должны быть выполнены по возможности в простом исполнении и без выступов. Один из самых простых способов избежать разрывов... – не устраивать розетки, выключатели и т.п. на наружных стенах.

Снижение тепловых потерь через окна и балконные двери. Опыт эксплуатации многоквартирных домов на территории Якутии показывает, что одними из проблемных элементов наружных ограждений являются окна и балконные двери [22]. Для климатических условий арктических районов в соответствии с ГОСТ 23166-2021⁵ подходят оконные блоки с классом А1 ($R_{0,TP}=0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и более) и А2 ($R_{0,TP}=0,75 \dots 0,79 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$). Обеспечение класса А2 и выше для оконных блоков из ПВХ профилей возможно при использовании двухкамерных стеклопакетов с низкоэмиссионным мягким покрытием стёкол и заполнением аргоном, применении дистанционных планок из

⁵ ГОСТ 23166-2021. Межгосударственный стандарт «Конструкции оконные и балконные светопрозрачные ограждающие. Общие технические условия (https://docs.cntd.ru/document/1200179605).

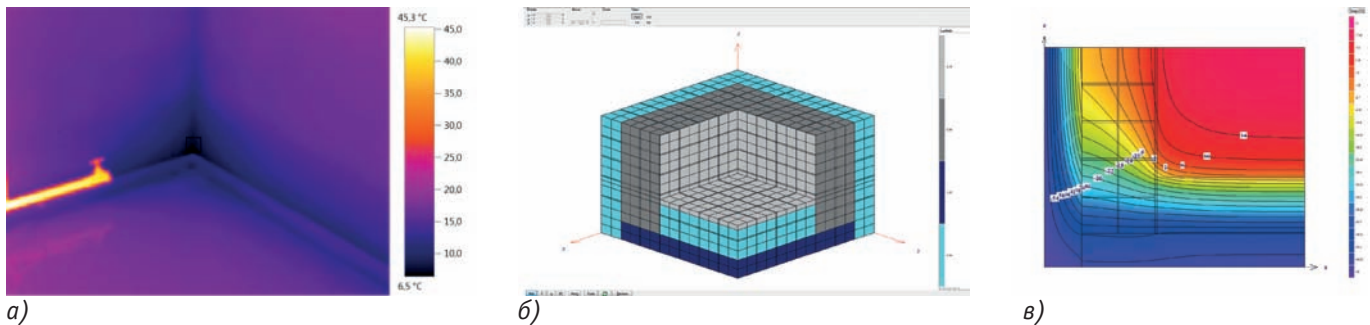


Рис. 10. Схемы разрыва теплозащитной оболочки в шестиквартирном доме. Посёлок Батагай, РС (Я): а) термограмма; б) расчётная модель; в) распределение температуры в вертикальном сечении по глади пола. Составлено авторами по результатам тепловизионных обследований и теплотехнических расчётов



Рис. 11. Энергоэффективный узел примыкания колонны к цокольному перекрытию в каркасно-монолитном здании: а) с наружной теплоизоляцией цоколя (источник: патент на изобретение RU 2780187 С1. Заявка 2022107412, 22.03.2022. Корнилов Т.А., Федотов П.А., Назаров Т.А., Васильева А.Т. Способ сооружения цокольного перекрытия с колонной над холодными и проветриваемыми подпольями; б, в) реализация. Фото автора статьи

высококачественного полипропилена. В арктических районах для обеспечения класса А1 наиболее эффективным было бы использование отдельных оконных блоков с двумя однокамерными стеклопакетами и низкоэмиссионным покрытием внутреннего стекла, так называемых «финских окон» с высоким термическим сопротивлением – 1...1,56 (м²·°С)/Вт. С учётом короткого светового дня в зимний период для обычных окон с двухкамерными стеклопакетами возможно применение тёплых рольставен с сопротивлением теплопередаче 0,63 (м²·°С)/Вт.

Инженерное благоустройство. В арктических районах приборы учёта тепловой энергии и системы автоматического управления МЖК, в том числе системы дистанционного управления и информатизации, наиболее логично подключать к существующей центральной системе отопления населённого пункта. Из-за отсутствия централизованных сетей водоснабжения в большинстве населённых пунктов арктических районов водоснабжение МЖК может быть автономным с использованием привозной воды. Отвод стоков следует предусматривать в проектируемый около каждого дома канализационный сборник. В дальнейшем утилизация сточных вод из накопительных ёмкостей организовывается путём вывоза специализированным транспортом на модульную канализационно-очистную станцию, рассчитанную на проектируемый энергоэффективный квартал.

* * *

Таким образом, в современной экономической ситуации многофункциональные жилые комплексы в ближайшей перспективе могут стать основной планировочной единицей градостроительного проектирования в Арктической зоне РФ. Выбор конструктивно-технологической схемы таких комплексов следует осуществлять в зависимости от транспортно-логистической схемы населённого пункта и наличия баз стройиндустрии. При проектировании в арктических районах необходимо добиться высокого класса энергосбережения многофункциональных жилых комплексов с использованием архитектурно-строительных приёмов.

Список источников

1. *Половинкин, В.Н.* Значение северного и арктического регионов в новых геополитических и геоэкономических условиях / В.Н. Половинкин, А.Б. Фомичев. – Текст : непосредственный // Арктика: экономика и экология. – 2013. – № 3 (11). – С. 58–63.
2. *Чуклов, Н.С.* Преемственность в объёмно-планировочных элементах городов с контролируемым климатом в Заполярье / Н.С. Чуклов. – Текст : электронный // Architecture and Modern Information Technologies. – 2019. – № 2 (47). – С. 251–266. – URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/2kvart19/PDF/16_chuklov (дата обращения 15.07.2023).
3. *Калеменова, Е.* Какими могли быть арктические города / Екатерина Калеменова. – Текст : электронный // Arzamas. – URL: <https://arzamas.academy/materials/1821> (дата обращения 15.07.2023).
4. *Бородич, Ю.* Арктическая жизнь будущего: какими могут быть станции, поселения и города на Крайнем Севере / Юлия Бородич. – Текст : электронный // VC.RU. – URL: <https://vc.ru/design/114912-arkticheskaya-zhizn-budushchego-kakimi-mogut-byt-stancii-poseleniya-i-goroda-na-kraynem-severe/> (дата обращения 15.07.2023).
5. *Калеменова, Е.А.* «Город под куполом»: советские архитекторы и освоение Крайнего Севера в 1950–1960-е годы / Е.А. Калеменова. – Текст : непосредственный // Bulletin des Deutsches Historisches Institut Moskau. Вып. 7: Конструируя «советское»: Доклады научн. конф. студентов и аспирантов. 20–21 апреля 2012 года. – Санкт-Петербург : [б.и.], 2013. – С. 93–108.
6. *Зайцев, Н.Е.* Некоторые проблемы социальной экологии и социологии в архитектуре арктических «городов под куполом» / Зайцев Н.Е. – Текст : электронный // Вестник Евразийской науки. – 2018. – № 6. – URL: <https://esj.today/issue-6-2018.html> (дата обращения 15.07.2023).
7. *Бурый, О.В.* Теоретические и практические вопросы создания самодостаточных арктических поселений / О.В. Бурый, Т.Е. Дмитриева // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2015. – № 3 (23). – С. 141–148.
8. *Потравный, И.М.* Города и посёлки Российской Арктики: подходы к устойчивому развитию / И.М. Потравный. – Текст : непосредственный // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2021. – Т. 1, № 6. – С. 237–242.
9. *Палкина, О.Л.* Принципы планирования и проектирования в Арктике на основе динамической архитектуры / О.Л. Палкина. – DOI: 10.24411/9999-034A-2020-10063.- – Текст : электронный // Практика. – С. 264–266. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiyu-planirovaniya-i-proektirovaniya-v-arktike-na-osnove-dinamicheskoy-arhitektury/viewer> (дата обращения 15.07.2023).
10. *Шубенков, М.В.* В поиске градостроительных принципов развития северных поселений / М.В. Шубенков, О.М. Благотетева. – Текст : непосредственный // Градостроительство. – 2015. – №3 (37). – С. 76–81.
11. *Смирнов, К.* Строительство в высоких широтах. Принципы, возможности и перспективы / Кирилл Смирнов. – Текст : электронный // Строительный эксперт. – URL: <https://ardexpert.ru/article/5072> (дата обращения 15.07.2023).
12. *Малышкин, Е.В.* Архитектурные приёмы формирования комфортного жилья для районов Крайнего Севера / Е.В. Малышкин, Е.А. Ильина. – Текст : электронный // Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации». – 2017. – № 5. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/05/83079> (дата обращения: 20.12.2022).
13. *Пунтус, В.А.* Концептуальное проектирование жилища для Арктики и Антарктиды / Пунтус В.А., Мясепп К.К. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2015. – № 15. – С. 12–17.

14. Савинова, В. Особенности проектирования и строительства в арктическом регионе / В. Савинова, М.М. Бродач. – Текст : непосредственный // Здания высоких технологий. – 2018. – № 4. – С. 50–57.
15. Туралысов, К.Г. Биосфера – расселение – жилище Севера / К.Г. Туралысов. – Якутск : Сахаполиграфиздат, 1996. – 104 с. – Текст : непосредственный.
16. Скупов, Б.А. Идеальный биоклиматический дом для Севера архитектора Климата Туралысова / Б.А. Скупов. – Текст : непосредственный // Технологии строительства. – 2016. – № 3 (113).
17. Корнилов, Т.А. Прогнозирование состояния мерзлых грунтов основания здания со свайными фундаментами при применении подполья с регулируемым температурным режимом / Т.А. Корнилов, А.Я. Никифоров, М.А. Сивцев. – Текст : непосредственный // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2021. – № 2. – С. 27–31.
18. Корнилов, Т.А. Наружные стены малоэтажных домов из лёгких стальных тонкостенных конструкций для условий Крайнего Севера. – Текст : непосредственный / Т.А. Корнилов, Г.Н. Герасимов // Жилищное строительство. – 2016. – № 7. – С. 20–24.
19. Вольфгант, Ф. Основные положения по проектированию пассивных домов / Ф. Вольфгант ; 2-е издание. – Москва : АСВ, 2011. – 148 с. – Текст : непосредственный.
20. Корнилов, Т.А. Тепловые потери через сопряжения трехслойных стен с железобетонными перекрытиями / Т.А. Корнилов, А.Т. Васильева. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 8. – С. 25–31.
21. Kornilov T.A., Nikiforov A.Ya. Thermal Protection of Low-Rise Buildings from Light Steel Thin-Walled Structures / T.A. Kornilov, A.Ya. Nikiforov. – Текст : непосредственный // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – № 84 (8). – P. 140–149.
22. Буслаев, Ю.Н. Конструкции и монтаж окон на Севере : учебное пособие / Буслаев Ю.Н., Данилов Н.Д., Матвеева О.И. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2015. – 200 с. – Текст : непосредственный.
- References*
1. Polovinkin V.N., Fomichev A.B. Znachenie severnogo i arkticheskogo regionov v novykh geopoliticheskikh i geoeconomicheskikh usloviyakh [Importance of the Northern and Arctic Regions in New Geopolitical and Geo-Economic Conditions]. In: *Arktika: ekonomika i ekologiya [Arctic: Ecology and Economy]*, 2013, no. 3 (11), pp. 58–63. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Chuklov N.S. Preemstvennost' v ob'emno-planirovochnykh elementakh gorodov s kontroliruemym klimatom v Zapolyar'e [The Space-Planning Elements Succession of the Arctic Cities with Climate Control]. In: *Architecture and Modern Information Technologies*, 2019, no. 2 (47), pp. 251–266. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/2kvart19/PDF/16_chuklov. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Kalemeneva E. Kakimi mogli byt' arkticheskie goroda [What Could Be the Arctic Cities]. *Arzamas*. URL: <https://arzamas.academy/materials/1821> (Accessed 07/15/2023). (In Russ.)
4. Borodich Yu. Arkticheskaya zhizn' budushchego: kakimi mogut byt' stantsii, poseleniya i goroda na Krainem Severe [Arctic Life of the Future: What Stations, Settlements and Cities in the Far North Can Be]. *VC.RU*. URL: <https://vc.ru/design/114912-arkticheskaya-zhizn-budushchego-kakimi-mogut-byt-stancii-poseleniya-i-goroda-na-kraynem-severe/> (Accessed 07/15/2023). (In Russ.)
5. Kalemeneva E.A. «Gorod pod kupolom»: sovetskie arkhitektory i osvoenie Krainego Severa v 1950–1960-e gody ["The City under the Dome" : Soviet Architects and the Development of the Far North in the 1950s–1960s]. In: *Bulletin des Deutschen Historischen Instituts Moskau*. Ausgabe 7. *Konstruiruya «sovetskoe» [Aufbau des „Sowjets“]*, Berichte einer wissenschaftlichen Konferenz von Studenten und Doktoranden. 20.–21. April 2012. – St. Petersburg, S. 93–108.
6. Zaitsev N.E. Nekotorye problemy sotsial'noi ekologii i sotsiologii v arkhitekture arkticheskikh «gorodov pod kupolom» [Some Problems of Social Ecology and Sociology in the Architecture of the Arctic "Cities under the Dome"]. In: *Vestnik Evraziiskoi nauki [Bulletin of Eurasian Science (google)]*, 2018, no. 6. URL: <https://esj.today/issue-6-2018.html> (Accessed 07/15/2023). (In Russ., abstr. in Engl.)
7. Buryi O.V., Dmitrieva T.E. Teoreticheskie i prakticheskie voprosy sozdaniya samodostatochnykh arkticheskikh poselenii [The Theoretical and Practical Problems of Creating Self-Sufficient Arctic Settlements]. In: *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN [Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]*, 2015, no. 3 (23), pp. 141–148. (In Russ.)
8. Potravnyi I.M. Gorody i poselki Rossiiskoi Arktiki: podkhody k ustoichivomu razvitiyu [Cities and Towns of the Russian Arctic: Approaches to Sustainable Development]. In: *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Sistemnyi analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem [Ecology. Economy. Informatics. System Analysis and Mathematical Modeling of Ecological and Economic Systems]*, 2021, Vol. 1, no. 6, pp. 237–242. (In Russ., abstr. in Engl.)
9. Palkina O.L. Printsipy planirovaniya i proektirovaniya v Arktike na osnove dinamicheskoi arkhitektury [The Principles of Planning and Design in the Arctic Based on Dynamic Architecture]. In: *Praktika*, pp. 264–266, DOI: 10.24411/9999-034A-2020-10063. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-planirovaniya-i-proektirovaniya-v-arktike-na-osnove-dinamicheskoy-arhitektury/viewer> (Accessed 07/15/2023). (In Russ., abstr. in Engl.)
10. Shubenkov M.V., Blagoteteva O.M. V poiske gradostroitel'nykh printsipov razvitiya severnykh poselenii [In the Search of Town Planning Principles of Development for the Northern Settlements]. In: *Gradostroitel'stvo [Urban Planning]*, 2015, no. 3 (37), pp. 76–81. (In Russ., abstr. in Engl.)

11. Kirill Smirnov. Stroitel'stvo v vysokikh shirotakh. Printsipy, vozmozhnosti i perspektivy [Building in High Latitudes. Principles, Opportunities and Prospects]. In: *Stroitel'nyi ekspert [Construction expert]*. URL: <https://ardexpert.ru/article/5072>. (Accessed 07/15/2023). (In Russ., abstr. in Engl.)
12. Malyshkin E.V., Il'ina E.A. Arkhitekturnye priemy formirovaniya komfortnogo zhil'ya dlya raionov Krainego Severa [Architectural Techniques for the Formation of Comfortable Housing for the Regions of the Far North]. In: *Elektronnyi nauchno-prakticheskii zhurnal "Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii" [Electronic scientific & practical journal "Modern scientific researches and innovations"]*, 2017, no. 5. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/05/83079> (data obrashcheniya: 20.12. 2022). (In Russ., abstr. in Engl.)
13. Puntus V.A., Myasepp K.K. Kontseptual'noe proektirovanie zhilishcha dlya Arktiki i Antarktity [Conceptual Designing of Housing for the Arctic and Antarctic]. In: *Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]* 2015, no. 15, pp. 12–17. (In Russ., abstr. in Engl.)
14. Savinova V., Brodach M.M. Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva v arkticheskom regione [Features of Design and Construction in the Arctic Region]. In: *Zdaniya vysokikh tekhnologii [Buildings of High Technologies]*, 2018, no. 4, pp. 50–57. (In Russ.)
15. Turalysov K.G. Biosfera-rasselenie-zhilishche Severa [Biosphere – Resettlement – Dwelling of the North]. Yakutsk, Sakhapoligrafizdat Publ., 1996, 104 p. (In Russ.)
16. Skupov B.A. Ideal'nyi bioklimaticheskii dom dlya Severa arkhitekora Klima Turalysova [The Ideal Bioclimatic House for the North by Architect Klim Turalysov]. In: *Tekhnologii stroitel'stva*, 2016, no. 3 (113). (In Russ.)
17. Kornilov T.A., Nikiforov A.Ya., Sivtsev M.A. Prognozirovaniye sostoyaniya merzlykh gruntov osnovaniya zdaniya so svainymi fundamentami pri primenenii podpol'ya s reguliruemym temperaturnym rezhimom [Predictive Modelling of the Frozen Base of Pile Foundation Buildings with Temperature Control of the Underfloor Space]. In: *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Soil Mechanics And Foundation Engineering]*, 2021, no. 2, pp. 27–31. (In Russ.)
18. Kornilov T.A., Gerasimov G.N. Naruzhnye steny maloetazhnykh domov iz legkikh stal'nykh tonkostennykh konstrukttsii dlya uslovii Krainego Severa [External Walls of Low Rise Houses made of Light Steel Thin-Walled Structures for the Far North Conditions]. In: *Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]*, 2016, no. 7, pp. 20–24. (In Russ., abstr. in Engl.)
19. Vol'fgant F. Osnovnye polozheniya po proektirovaniyu passivnykh domov. Moscow, ASV Publ., 2011, 148 p. (In Russ.)
20. Kornilov T.A., Vasil'eva A.T. Teplovye poteri cherez sopryazheniya trekhslonnykh sten s zhelezobetonnymi perekrytiyam [Heat Losses through the Coupling of Three-Layer Walls with Reinforced Concrete Floors]. In: *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*, 2022, no. 8, pp. 25–31. (In Russ., abstr. in Engl.)
21. Kornilov T.A., Nikiforov A.Ya. Thermal Protection of Low-Rise Buildings from Light Steel Thin-Walled Structures. In: *Magazine of Civil Engineering*, 2018, no. 84 (8), pp. 140–149. (In Engl.)
22. Buslaev Yu.N., Danilov N.D., Matveeva O.I. Konstrukttsii i montazh okon na Severe [Construction and Installation of Windows in the North]. Yakutsk, Publishing house of SVFU, 2015, 200 p. (In Russ.)