

ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Научная статья



УДК/UDC 728-024.24:551.58(211-17)

DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-182-195

EDN: KKINSR

Способы повышения энергоэффективности модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера

Сергей Николаевич Огородников¹

Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, Москва, Россия

1142220042@pfur.ru

Аннотация. Строительство в условиях Крайнего Севера связано с серьёзными вызовами: экстремально низкие температуры, сильные ветровые нагрузки, высокая влажность и сложность транспортировки строительных материалов. В связи с этим особую значимость приобретают выбранные строительные методики и конструктивные системы. В исследовании проводится анализ современных строительных техник и материалов с целью выявления наиболее оптимального подхода для применения в жилой модульной системе. Исследуемые строительные технологии и приёмы направлены на повышение энергоэффективности жилых и общественных зданий, снижение эксплуатационных расходов и улучшение комфортности проживания в арктических регионах. Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к выбору формы и конструктивного каркаса модуля, объединяющем современные материалы и передовые технологии для строительства в экстремальных климатических условиях.

Ключевые слова: жилое строительство, энергосбережение в модульной архитектуре, модульная архитектура, устойчивое домостроение, арктические зоны, экологические принципы строительства

Для цитирования: Огородников С.Н. Способы повышения энергоэффективности модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера // Architecture and Modern Information Technologies. 2025. № 3(72). С. 182-195. URL:

https://marhi.ru/AMIT/2025/3kvart25/PDF/12_ogorodnikov.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-182-195 EDN: KKINSR

CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY

Original article

Ways to improve energy efficiency of modular housing systems in the Far North

Sergei N. Ogorodnikov¹

RUDN University, Moscow, Russia

1142220042@pfur.ru

Abstract. Construction in the Far North is associated with many challenges, including extremely low temperatures, strong wind loads, high humidity and the complexity of transporting building materials. In this regard, the selected construction approaches and structural systems are of particular importance. This study analyzes modern construction techniques and materials in order to identify the most optimal approach for use in a residential modular system. The approaches under study are aimed at increasing the energy efficiency of residential and public buildings, reducing operating costs and improving the comfort of living in the Arctic regions. The

¹ © Огородников С.Н., 2025

scientific novelty of the study lies in the integrated approach to the choice of the shape and structural frame of the module, combining modern materials and advanced technologies for construction in extreme climatic conditions.

Keywords: residential construction, energy saving in modular architecture, modular architecture, sustainable housing construction, arctic zones, ecological principles of construction

For citation: Ogorodnikov S.N. Ways to improve energy efficiency of modular housing systems in the Far North. Architecture and Modern Information Technologies, 2025, no. 3(72), pp. 182-195. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2025/3kvart25/PDF/12_oigorodnikov.pdf

DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-182-195EDN: KKINSR

Введение

Архитектура и строительство в условиях Крайнего Севера требуют особого внимания, так как северные территории занимают примерно 70% всей площади Российской Федерации² и имеют высокий ресурсный потенциал, где сконцентрированы экологическое, ресурсное, военное, политическое и технологическое направления национальной безопасности страны [1]. В соответствии с текущей стратегией³, основными направлениями становятся сохранение человеческого капитала, улучшение качества жизни жителей Арктической зоны через развитие социальной сферы, изменение городской среды и модернизацию инфраструктуры.

Метод комплексного развития северных городов вновь актуализируется из-за необходимости геополитического закрепления РФ в Арктике. В настоящий момент, самым оптимальным способом освоения Крайнего Севера является система, выстроенная на балансе вахтового и комплексного освоения территории [2]. Наиболее рациональным типом жилья для вахтового метода освоения территорий являются мобильные модульные системы, что также повышает актуальность данного исследования для территорий Крайнего Севера.

Внедрение модульных районов-поселений в градостроительную структуру помогает решить проблемы маятниковой миграции, сохранив исторический центр от излишней точечной застройки, разрушающей структуру города. Вредоносность точечной застройки, игнорирующей исторические предпосылки формирования городов, подробно описана в работе О. Воличенко и Т. Цурик, где авторы раскрывают сложность балансирования между историческим наследием и современными реалиями [3]. Модульные структурные единицы добавляют городу гибкость, позволяя эффективно справляться с резкими демографическими колебаниями.

В северных широтах модульные жилые дома обладают достаточно высоким уровнем комфорта при минимальных затратах на строительство. Вахтовое освоение районов Крайнего Севера стало востребованным начиная с 70-х гг. XX века, когда рабочие, проживая длительное время в арктическом центре, выезжают в короткие командировки в поселки вахтового типа. Как ответ на «пульсирующий» приток-отток населения возникает необходимость во внедрении в городскую структуру быстровозводимых жилых зданий для повышения гибкости городских поселений, что в своём исследовании подчеркивает Е.А. Чайка, предлагая рассмотрение модульных некапитальных объектов и комбинированных решений как способ развития северных регионов [4, с.150].

² Постановление Правительства РФ № 1946 от 16 ноября 2021 г. «Об утверждении перечня районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера». URL: <http://static.government.ru/media/files/iZ4S29b1c3HF8pPlvF1A5DEti3liCSay.pdf> (дата обращения: 08.05.2025).

³ Стратегия социально-экономического развития арктической зоны республики Саха (Якутия) на период до 2035 года, утвержденная указом главы республики Саха от 14 августа 2020 г. №1377. URL: <https://www.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3204989> (дата обращения: 08.05.2025).

Актуальность модульного строительства обосновывается не только вахтовыми поселениями, но и туризмом, который набирает популярность в северных регионах. Наибольшее влияние на формирование туризма в Арктике оказывает природная и этнокультурная составляющая региона, который населяют более 40 коренных народов, обладающих уникальной культурой, адаптированной к суровым климатическим условиям [5, с.37]. Туризм является движущей силой для развития социальной инфраструктуры городов, формирования комфортной среды, диверсификации экономической модели и привлечения внимания к региону не только ресурсодобывающих компаний, но и всех слоев населения [6].

На основе этих факторов можно говорить о грядущем коренном переустройстве урбанизированных территорий Севера, которые, несомненно, нуждаются в комплексном подходе, учитывающем текущие задачи, потенциальные запросы, объективные ограничения и накопленный опыт формирования и развития городов и населенных пунктов Крайнего Севера. Для повышения эффективности строительства, жилой дом для Севера должен обладать следующими тремя особенностями:

- модульность, для упрощения логистических цепочек поставок строительных материалов и повышения качества готового объекта, который будет предварительно собран на высокотехнологичных производствах под контролем технологов;
- автономность и энергоэффективность, что позволит размещать объекты на удалённых от центральных энергосистем территориях, предполагая внедрение энергосберегающих технологий и приборов для минимизации потребления энергии;
- экологичность, что способствует снижению нагрузки на окружающую среду.

Опираясь на выделенные особенности, можно отметить, что для северных территорий, одним из наиболее сложных в реализации является принцип энергосбережения (рис. 1). Для улучшения энергоэффективности здания применяются обтекаемые и компактные формы, а также приподнятое основание для устранения промерзания и предотвращения таяния вечной мерзлоты.

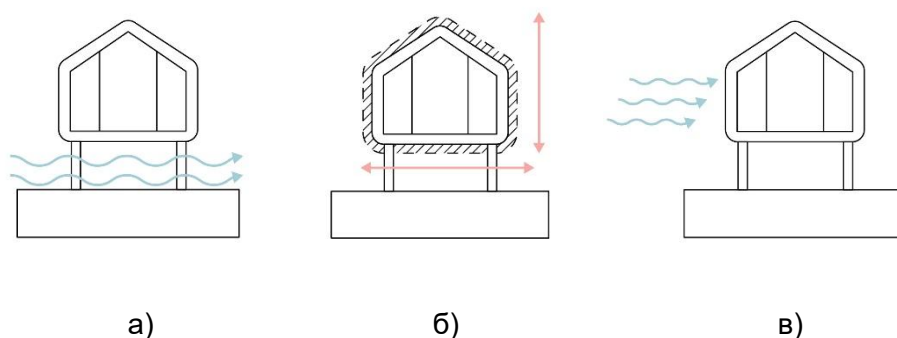


Рис. 1. Архитектурные принципы формообразования для повышения энергоэффективности малоэтажных модульных жилых систем в условиях Крайнего Севера: а) приподнятое основание; б) компактность; в) обтекаемость и аэродинамичность формы

Несмотря на развитые технологии и богатый опыт, накопленный в сфере энергоэффективного домостроения, особого внимания заслуживают отделка и конструктивная система жилого объекта, расположенного в условиях Крайнего Севера. Во-первых, низкие температуры являются основным фактором, увеличивающим энергозатраты на обогрев. В зимний период температура может опускаться до -50°C и ниже, что создает экстремальную разницу температур между внутренним и внешним пространством здания. Это требует высокой теплоизоляции, поскольку даже небольшие утечки тепла ведут к значительным потерям энергии. Кроме того, при таких температурах

обычные строительные материалы могут изменять свои свойства, становясь хрупкими, что также влияет на долговечность конструкции и ее изолирующие свойства.

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

Значительное влияние на итоговые характеристики архитектурного объекта в северных регионах оказывает теплоизоляционный материал. Из-за большой толщины слоя изоляции может измениться как форма, так и архитектурный замысел в целом. Рассматривая модульное домостроение в условиях Крайнего Севера, необходимо комплексно разрабатывать внешний вид и ограждающие конструкции, учитывая компактность и габаритные ограничения, присущие любому модульному домостроению. Особое внимание необходимо уделить размерам и составу конструктивных элементов.

Методология исследования

Проектирование архитектуры для Крайнего Севера должно учитывать сложные условия строительства в регионе и прогнозировать улучшение среды. Разработка энергоэффективного дома начинается уже с планировки района и ландшафтного окружения. Помимо трудностей с инфраструктурой и дефицитом необходимых общественных пространств, важно учесть и климатические факторы. Ввиду сильных ветров и снежных заносов, положение здания в структуре района имеет особое значение. Так, например, «снижение скорости ветра на 1 метр в секунду при минусовых температурах равнозначно повышению температуры воздуха на 2 градуса по Цельсию» [7, с.37]. Но главную роль в энергоэффективности здания играют его архитектурные решения.

Данное исследование сконцентрировано на поиске баланса между компактностью жилого модуля и его энергосберегающими характеристиками с целью подбора наиболее подходящих решений для ограждающих конструкций, позволяющих повысить энергоэффективность здания, сократив до минимума теплопотери, большая часть из которых происходит через ограждающие конструкции (рис. 2).

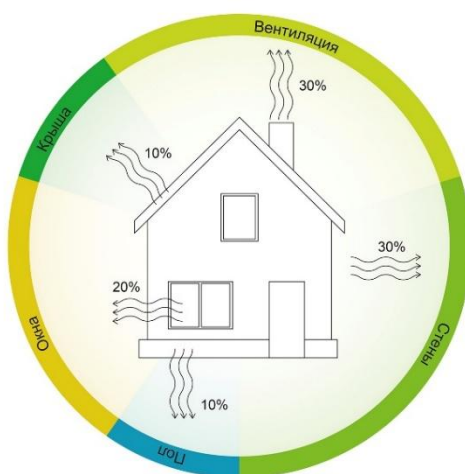


Рис. 2. Схема соотношения теплопотерь здания

В предыдущих исследованиях уже были сформированы архитектурные принципы, позволяющие повысить энергоэффективность здания в условиях Крайнего Севера⁴. К ним относятся:

- компактность планировочных решений, тяготеющих к форме квадрата или круга;
- обтекаемая форма здания для уменьшения ветровых нагрузок и снеговых заносов;
- приподнятость конструкций над уровнем земли для предотвращения таяния вечной мерзлоты.

На основе данных принципов, с учётом климатических особенностей региона и логистических вызовов, обусловленных слабой развитостью сухопутных связей и удалённым расположением территории, было разработано проектное предложение модульной жилой системы (рис. 3). Модульная жилая система представляет собой приподнятые над землёй жилые блоки, собранные из модулей и прикреплённые стальными тросами к треугольному каркасу, что позволяет сохранить продуваемость грунтов и предотвратить таяние вечной мерзлоты. Треугольная форма каркаса и обтекаемость модульных единиц, добавляют устойчивости при порывистых северных ветрах, как отмечено в исследовании Н.С. Калининой и Н.В. Морозова: «аэродинамическая, природоподобная форма зданий, использование легких современных ограждающих конструкций минимизирует воздействие ветров» [8, с. 262]. Внешний вид каркаса визуально напоминает конструкции жилищ коренных народов Севера и, в совокупности с подвесной системой модулей, формирует уникальный и запоминающийся дизайн для привлечения внимания потенциальных туристов. Универсальность модульных блоков позволяет фиксировать их с применением разных типов опор в зависимости от бюджета и целей проекта.



Рис. 3. Проектное предложение конструктивного решения модульной жилой системы в условиях Крайнего Севера

Для повышения автономности комплекса предусмотрены солнечные панели и ветровые турбины. Одним из главных вопросов для дальнейшей проработки является обеспечение энергоэффективности комплекса. В данном вопросе необходимо найти компромиссное решение, которое улучшит характеристики комплекса, сохранив уже достигнутые преимущества в виде компактности и легкости модульных конструкций.

Отталкиваясь от габаритов грузового контейнера для упрощения логистики, размеры одного модуля были приняты как 2,5 x 3,1 м. Учитывая столь ограниченные размеры, можно сделать вывод, что толщина ограждающих конструкций не должна превышать 300-400 мм, иначе полезная площадь модуля значительно сократится, так как ввиду габаритных ограничений размеры внешнего контура фиксированы, и увеличение толщины

⁴ Воличенко О., Огородников С., Абдо И. Архитектура жилых систем в условиях Крайнего Севера // Проект Байкал. 2024. Т. 21. № 82. С. 145-153. DOI: 10.51461/issn.2309-3072/82.2447

стен будет напрямую влиять на интерьер. Не менее важны и весовые характеристики сборных элементов, что влияет на сборку и транспортировку.

Для модульного строительства наиболее оптимальным конструктивным решением для стен являются **сэндвич-панели**. Заранее собранные на производстве, они исключают возможность неправильного монтажа при строительстве и упрощают доставку материалов в северные регионы, в которых, несмотря на богатую сырьевую базу, отсутствуют высокотехнологичные производства. В качестве основы для каркаса панелей применяется деревянный брус или легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК). С архитектурной точки зрения наиболее важным является не только материал конструкций, но и утеплителя, и внешней отделки. Если отделка здания влияет на вид объекта напрямую, то материал утеплителя может значительно повлиять на форму здания, когда речь заходит о резких температурных перепадах, свойственных Крайнему Северу, особенно в контексте ограниченных в габаритах модульных блоков. Для обеспечения оптимального соотношения между толщиной слоя и энергоэффективностью был проведён сравнительный анализ пяти теплоизоляционных материалов, представленный в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ теплоизоляционных материалов

Материал	Теплопроводность Вт/(м·°С)	Требуемая толщина слоя (мм)	Стоимость за м³	Преимущества	Недостатки
Минеральная вата	0.032-0.040	350-380	3000–4500	огнестойкость	может давать усадку,
Экструдированный пенополистирол	0.028-0.034	270-280	6000–7500	высокая прочность	горючесть
Вакуумная изоляционная панель	0.004-0.008	50-60	15000–30000	высокая теплоизоляция	чувствительность к повреждениям, стоимость
Аэрогель	0.013-0.018	110-130	30000–60000	лёгкость, устойчивость к влаге и огню	стоимость
Пенополиизоцианурат	0.022-0.027	190-200	9000–12000	устойчивость к влаге и огню	требует герметизации швов

Основываясь на приведённых в таблице характеристиках, можно отметить следующее:

Минеральная вата имеет высокую огнестойкость и низкую цену, однако может впитывать влагу. Высокая плотность сказывается на весовых характеристиках, что может повлиять на логистику [9]. Обладает самой высокой теплопроводностью среди приведённых материалов.

Экструдированный пенополистирол (XPS) практически не впитывает влагу и устойчив к циклам заморозки и оттаивания. Он устойчив к грибкам, плесени и прочим биологическим повреждениям. Важное преимущество материала – его лёгкость [10].

Перечисленные выше материалы имеют отличные характеристики, доступные цены и проверены временем. Однако в условиях Крайнего Севера толщина подобного слоя изоляции должна начинаться от 300 мм и может достигать до 600 мм. Это не критично для капитальных строений, но может негативно сказаться на модульном и мобильном жилье. Несмотря на перечисленные преимущества и из-за высокой теплопроводности, материалы не подходят для дальнейших исследований.

Вакуумная изоляционная панель (VIP) имеет один из самых низких коэффициентов теплопроводности благодаря вакууму внутри конструкции, который предотвращает теплопередачу [11]. Они крайне тонкие, что позволяет экономить пространство. Однако панели чувствительны к повреждениям и механическому воздействию; даже небольшой прокол приводит к потере изоляционных свойств. Высокая цена и риск повреждения материала при транспортировке и эксплуатации ставят под большое сомнение его использование в отдалённых регионах.

Аэрогель – это один из самых эффективных теплоизоляционных материалов в мире. Он представляет собой пористую структуру, содержащую до 99% воздуха, что делает его исключительным теплоизолятором. Материал негорюч и лёгок, что крайне важно при строительстве в отдалённых районах. По совокупности характеристик аэрогель является наилучшим материалом для теплоизоляции модульных конструкций, однако высокая стоимость и сложность производства ограничивают его широкое применение в строительстве. Ввиду высокой стоимости материал используется преимущественно в высокотехнологичных приборах и космических аппаратах [12]. Возможно, в ближайшие 10 лет материал станет более доступен для жилого и общественного домостроения и сможет составить конкуренцию традиционным утеплителям.

Пенополиизоцианурат (PIR) является наиболее оптимальным вариантом для теплоизоляции: он отличается высокой огнестойкостью, влагостойкостью и механической прочностью. Благодаря закрытой ячеистой структуре PIR минимально впитывает влагу, что делает его идеальным для использования в экстремальных климатических условиях. Доступная цена материала, самая низкая теплопроводность среди аналогов и лёгкость делают его наиболее подходящим для строительства в условиях Крайнего Севера.

Для вычисления точной толщины слоя, который позволит обеспечить максимальную теплоизоляцию сэндвич-панелей, были произведены расчёты. Полученная в результате вычислений толщина слоя позволит понять весовые характеристики сэндвич-панели, разработать планировочные решения объекта и предусмотреть внешнюю отделку модульного блока для условий Крайнего Севера.

Результаты

Расчёты проведены с учётом климатических условий Норильска – региона, расположенного на Крайнем Севере и обладающего обширными метеорологическими данными. Анализ включает рассмотрение слоёв сэндвич-панели, представленных в таблице 2, для обеспечения соответствия требованиям теплоэффективности в условиях экстремального холода и достижения общего термического сопротивления $R_{eq} = 8.0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ для внешней стены модульного жилого блока.

Таблица 2. Слои сэндвич-панели

No.	Материал	Теплопроводность λ (Вт/(м·°C))	Толщина материала, м
1	Гипсово-полимерная штукатурка	0,76	0,015
2	Гипсокартон	0,36	0,0125
3	PIR (полиизоцианурат)	0,025	X
4	Замкнутая воздушная полость	$R = 0,15 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$	0,02
5	Композитная алюминиевая панель	0,29	0,004

Дополнительно, коэффициенты конвективной теплоотдачи составляют:

Внутренняя поверхность: $\alpha_i = 8.7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$

Внешняя поверхность: $\alpha_o = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$

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

$$R_{total} = R_i + \sum R_j + R_o \quad (1)$$

Где:

- $R_i = \frac{1}{\alpha_i}$ (сопротивление внутренней поверхности)
- $R_o = \frac{1}{\alpha_o}$ (сопротивление внешней поверхности)
- $R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$ (термическое сопротивление каждого слоя)

Разбивая на компоненты:

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{1}{8.7} = 0.115 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} \\ R_1 &= \frac{0.015}{0.76} = 0.0197 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} \\ R_2 &= \frac{0.0125}{0.36} = 0.0347 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} \\ R_4 &= 0.15 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} \\ R_5 &= \frac{0.004}{0.29} = 0.0138 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} \\ R_0 &= \frac{1}{23} = 0.0435 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} \end{aligned}$$

Требуемое сопротивление теплоизоляции составляет:

$$\begin{aligned} R_3 &= R_{req} - (R_i + R_1 + R_2 + R_4 + R_5 + R_0) \\ R_3 &= 8.0 - (0.115 + 0.0197 + 0.0347 + 0.15 + 0.0138 + 0.0435) \\ R_3 &= 8.0 - 0.377 = 7.623 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} \end{aligned}$$

Следовательно, для расчета толщины утеплителя X:

$$\begin{aligned} X &= R_3 \times \lambda_3 \\ X &= 7.623 \times 0.025 \\ X &= 0.1906 \text{ м} = 190.6 \text{ мм} \end{aligned}$$

Для достижения требуемого термического сопротивления $R_{req}=8.0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ в условиях Крайнего Севера толщина утеплителя PIR должна составлять не менее 190,6 мм. Этот расчёт учитывает тепловое влияние всех слоёв стены. Результаты подчёркивают эффективность PIR-изоляции благодаря её низкой теплопроводности. Дальнейшая оптимизация может включать исследование альтернативных изоляционных материалов или гибридных конструкций стен для обеспечения баланса между прочностью и энергоэффективностью. Точность расчётов подтверждена построением изотерм в программе AnTherm (рис. 4). В перспективе полиизоцианурат может быть заменён аэрогелем для дальнейшего повышения теплоизоляционных характеристик.

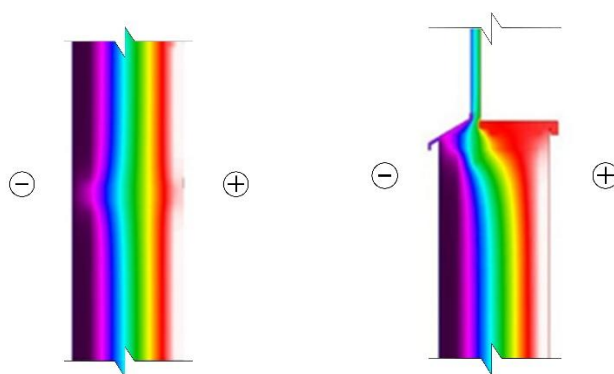


Рис. 4. Схема распределения изотерм: а) в цельной стене; б) в стене с оконным проёмом

Согласно проведённым выше расчётам, при использовании полиизоцианурата в качестве теплоизоляционного слоя общая толщина стены будет варьироваться от 200 до 250 мм в зависимости от конкретной локации и отделочных материалов. Этот показатель

удовлетворяет изначальному запросу на толщину стеновых панелей, не превышая 300 мм, и соответствует приемлемым весовым характеристикам блока.

На рисунке 5 представлен сравнительный анализ планировочных решений модульного блока, состоящего из трёх модулей, с тремя вариантами толщин ограждающих конструкций: от 200 до 400 мм. Габариты модульного блока, изображённого на рисунке (2500х7500 мм), предложенные интерьерные решения предусматривают размещение двух человек и наглядно демонстрируют взаимосвязь между толщиной стены и полезной площадью объекта (рис. 5).

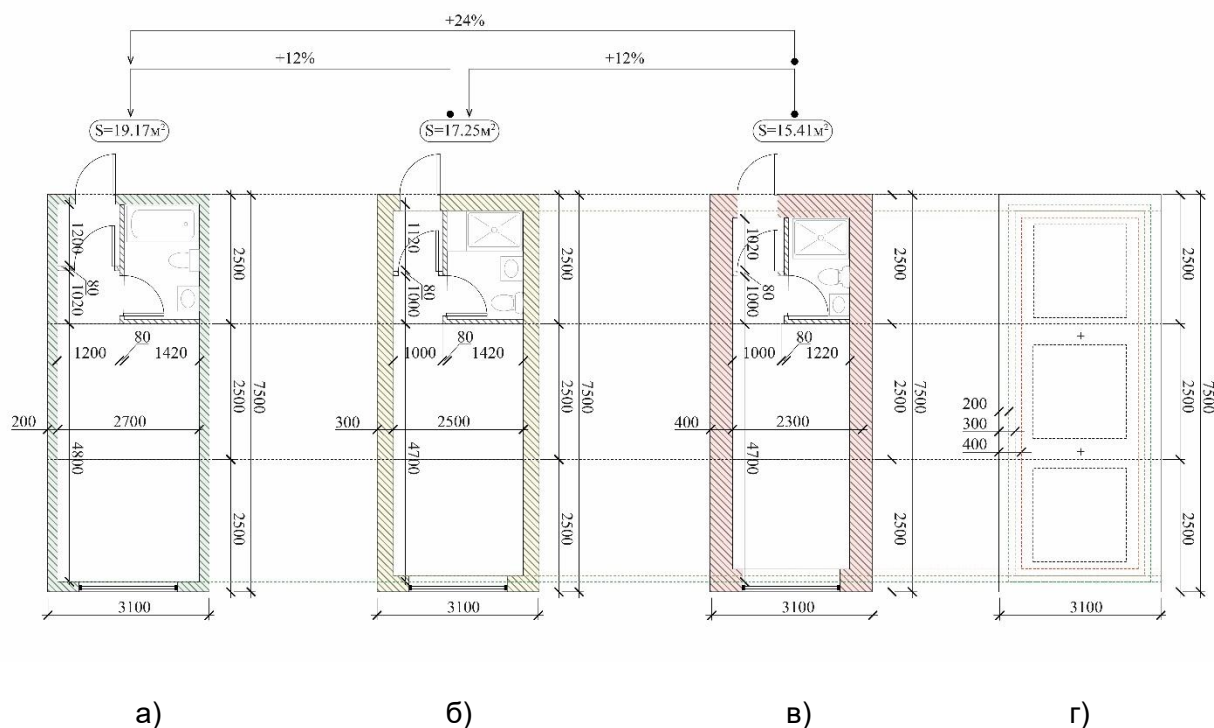


Рис. 5. Схема влияния толщины ограждающих конструкций на полезную площадь модуля: а) модуль с толщиной стены 200 мм; б) модуль с толщиной стены 300 мм; в) модуль с толщиной стены 400 мм; г) схема компоновки модулей в жилой блок

По представленной схеме можно заметить, что в обозначенных габаритах плана каждые 100 мм наружных ограждений в среднем сокращают полезную площадь модуля на 2 м², что является весьма серьезным изменением, когда речь заходит об объектах с компактными планировочными решениями. Если в варианте со стеной толщиной 200 мм могут с комфортом разместиться два постельца, то в варианте со стеной толщиной 400 мм наблюдается значительное нарушение эргономики пространства: сужение проходов и подходов к элементам мебели, а также сокращение функционала модульного блока.

Помимо теплоизоляции, в условиях Арктики важным параметром ограждающих конструкций является их сопротивление продуваемости, поскольку высокие ветровые нагрузки в сочетании с экстремальными температурами способны существенно снизить теплотехническую эффективность здания. Рассматриваемая сэндвич-панель за счёт применения герметичных слоёв, таких как PIR-изоляция, композитная алюминиевая панель и гипсово-полимерная штукатурка, обладает низкой воздухопроницаемостью. Для обеспечения герметичности стыковочных узлов применяются жидкие полимерные герметики и мастики.

Финальным и не менее важным слоем сэндвич-панелей является отделка. Несмотря на то, что этот слой несёт функциональную нагрузку, сокращая ветропроницаемость здания

и защищая от осадков и внешнего воздействия, основная его задача – формирование эстетической привлекательности здания. В рамках проектирования модульного жилища в северных регионах следует отказаться от применения декоративной штукатурки, клинкерного кирпича и плитки из-за большого веса этих материалов. Наиболее оптимальными вариантами являются отделка деревом, металлом или композитными панелями.

Благодаря широкой цветовой палитре, лёгкости и долговечности в рамках настоящего исследования было принято решение остановиться на использовании композитных панелей. *Композитные панели*, как правило, состоят из двух алюминиевых листов, между которыми расположен полимерный или минеральный наполнитель. Такая структура придаёт материалу высокую прочность при сравнительно небольшом весе. Лёгкость материала существенно упрощает транспортировку и монтаж, особенно на удалённых строительных площадках, где важно минимизировать использование тяжёлой техники. Композитные панели устойчивы к ультрафиолетовому излучению, влаге, резким перепадам температур. По сравнению с деревом, они не подвержены гниению, не требуют регулярной обработки антисептиками, не деформируются при повышенной влажности и сохраняют презентабельный внешний вид в течение долгого времени.

Важным преимуществом композитных панелей является простота монтажа: они не требуют массивной подконструкции и лучше подходят для адаптации в мобильных или временных постройках. Гибкость материала позволяет применять его даже в сложных архитектурных формах, что особенно важно для придания зданию обтекаемых форм. Материал доступен в широком спектре цветов, фактур и финишных покрытий, включая имитацию дерева, металла, камня, что позволяет достичь желаемого архитектурного образа (рис. 6). Таким образом, композитные панели представляют собой современное, практичное и долговечное решение для облицовки фасадов модульных блоков, превосходя дерево и ряд других материалов по совокупности эксплуатационных и эстетических характеристик.

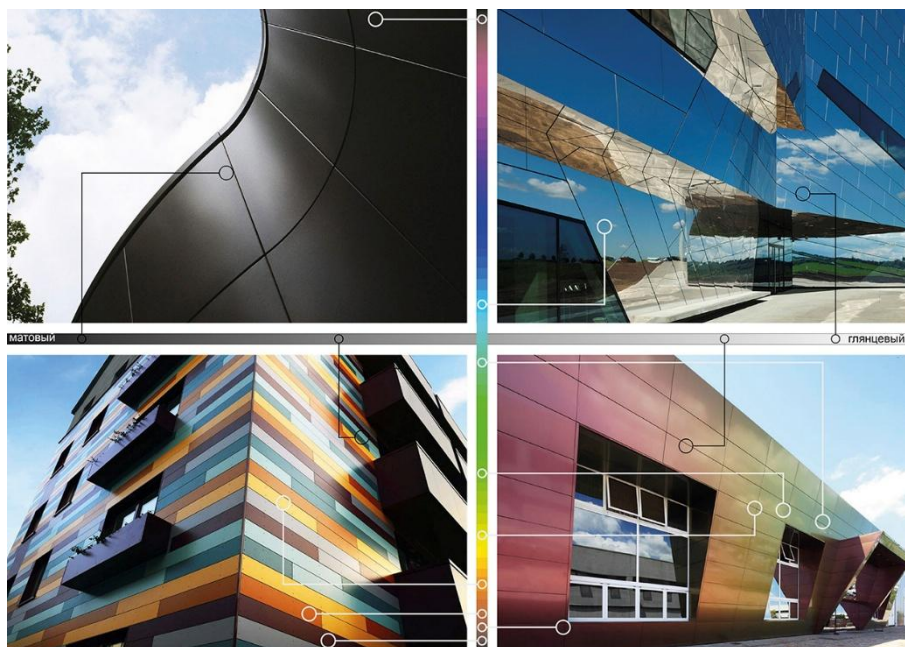


Рис. 6. Примеры вариативности цветовой гаммы и фактуры композитных панелей

Таким образом, оптимальный состав сэндвич-панели для модульной системы в условиях Крайнего Севера: композитная алюминиевая панель для внешней отделки, воздушная прослойка между внешним слоем и теплоизоляцией, утеплитель из полиизоцианурата толщиной 200 мм, гипсокартон, внутренняя отделка. Данная конструкция обеспечивает

наилучшее соотношение толщины ограждающей конструкции и энергоэффективности. Использование композитных панелей для внешней отделки предоставляет широкую вариацию цветов и текстур для создания уникального дизайна. Общая толщина панели с учётом всех слоёв составит 205 мм.

Помимо стен, за эффективность теплоизоляции отвечают и другие ограждающие конструкции здания: окна, крыша и пол. Для модульных конструкций характерно применение единой оболочковой ограждающей конструкции, где крыша и стены имеют цельную структуру, поэтому для крыши рекомендуется применять ту же структуру, что и для стен. Что касается оконных проемов, то здесь необходим особый подход, так как светопроницаемые конструкции зачастую имеют самые большие теплопотери [13].

С точки зрения энергоэффективности, наиболее подходящим вариантом для Крайнего Севера является вакуумный стеклопакет; его единственным недостатком является стоимость. В качестве альтернативы можно использовать стеклопакеты с заполнением из инертных газов в комбинации с напылением из низкоэмиссионных покрытий. Не меньшего внимания требуют оконные рамы, стыки и узлы крепления. Одним из способов улучшить теплоизоляцию окон является использование рам, изготовленных из термопластичных материалов, таких как полиуретан или композиты. Такие рамы обладают низкой теплопроводностью, что помогает значительно уменьшить теплопотери через рамные конструкции.

В совокупности эти факторы формируют жилой модуль с повышенными показателями энергоэффективности. Современные теплоизоляционные материалы позволяют не только сократить теплопотери, но и добиться оптимальной толщины слоёв ограждающих конструкций, упрощая транспортировку строительных элементов. Вакуумные и аргоновые стеклопакеты позволяют увеличить площадь оконных проемов, наполняя здание дневным светом без излишних теплопотерь.

Выводы

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

По результатам проведённого анализа современных теплоизоляционных материалов и способов повышения энергоэффективности зданий можно сделать следующие выводы:

1. Аэрогель и вакуумные панели – самые инновационные и эффективные материалы с точки зрения теплопроводности, но в то же время самые дорогие и сложные в производстве.
2. Наиболее оптимальным материалом для теплоизоляции является пенополиизоцианурат. Согласно проведённым расчётам, для города Норильска и схожих климатических регионов необходим слой изоляции из пенополиизоцианурата толщиной 190,6 мм.
3. Для повышения энергоэффективности зданий в северных регионах, стоит применять окна с аргоновым заполнением. Вакуумные стеклопакеты имеют наилучшие показатели теплопроводности, но высокая стоимость и сложность эксплуатации делают их непригодными для массового строительства.

4. Функциональные и технические преимущества использования композитных панелей во внешней отделке заключаются не только в конструктивных особенностях материала, но и в его эстетических характеристиках. Широкая линейка цветов, фактур и гибкость материала позволяют реализовать здания сложных и бионических форм с использованием ярких цветов в отделке фасада.

Современные технологии быстро развиваются и становятся доступнее, что позволяет с каждым годом улучшать характеристики строительных материалов и повышать энергоэффективность жилых объектов. Возможно, в ближайшие годы аэрогель получит большее распространение и позволит сократить до минимума теплоизоляционные слои даже в объектах массового строительства.

Практическое применение итогов исследования заключается в демонстрации возможностей применения конструктивно-архитектурных приемов для повышения энергоэффективности жилых и общественных зданий, сокращении затрат на отопление и улучшении комфорта проживания в арктических регионах. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и строительстве зданий в условиях экстремального климата, а также при разработке новых стандартов и нормативов в области как модульного, так и капитального домостроения.

Источники иллюстраций

Рис.1-5. Из архива автора.

Рис. 6. URL: <https://fasadoffmsk.ru/materials/komposit> (дата обращения: 24.03.2024).

Список источников

1. Богданов В.Н. Российская Арктика: возможности XXI века / В.Н. Богданов, А.С. Воронков, Е.В. Медведев и др. Москва: Издательские технологии, 2018. 452 с.
2. Холодилова К.А. Качество жизни населения в условиях вахтового труда на Крайнем Севере (на примере Ямало-Ненецкого автономного округа) // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. №5. С. 96-102.
3. Воличенко О., Цурик Т. Двойственность отношения к исторической городской застройке // Проект Байкал. 2023. Т. 20. № 75. С. 68-73. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/2033/2748> (дата обращения: 24.03.2024). DOI: 10.51461/pb.75.16. EDN: AGCPAS
4. Чайка Е.А. Российский и зарубежный опыт пространственной организации городов на Крайнем Севере // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. №2(63). С. 144-153. URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/2kvart23/PDF/09_chaika.pdf (дата обращения: 24.03.2024). DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-144-153
5. Ноева Е.Е. Арктический туризм: международный и национальный аспекты, проблемы и особенности развития // Арктика XXI век. Гуманитарные науки. 2022. №3(29). С. 35-59. URL: <https://www.arcticjournal.ru/jour/article/view/72/68> (дата обращения: 24.03.2024). DOI: 10.25587/SVFU.2022.68.59.003
6. Логунцова И. В. Особенности развития туризма в Арктической зоне России // Государственное управление. Электронный вестник. 2021. Т. 87. С. 39-47. URL: <https://spajournal.ru/index.php/spa/article/view/148> (дата обращения: 24.03.2024).
7. Калинина Н.С. Архитектурные, технические и дизайнерские особенности проектирования жилых и общественных зданий в условиях Крайнего Севера / Н.С. Калинина, Н.В. Морозов // Системные технологии. 2019. № 3(32). С. 40-46.

8. Сарварова Р.Р. Устойчивое развитие арктической зоны Российской Федерации в современных реалиях / Р.Р. Сарварова, А.Л. Путинцев // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2024. №4(69). С. 256-265. URL: https://marhi.ru/AMIT/2024/4kvart24/PDF/18_sarvarova.pdf (дата обращения: 24.03.2024). DOI: 10.24412/1998-4839-2024-4-256-265
9. Ярцев В.П. Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов (минеральной ваты и пенополистирола) / В.П. Ярцев, А.А. Мамонтов, С.А. Мамонтов // *Кровельные и изоляционные материалы*. 2013. № 1. С. 8-11.
10. Саусь А.А. Экструдированный пенополистирол / А.А. Саусь, И.С. Пергун, А.О. Алтунян // *Современные наукоёмкие инновационные технологии*. 2018. С. 60-62.
11. Белых А.Н. Вакуумные изоляционные панели как наиболее современный вид теплоизоляции в строительстве / А.Н. Белых, И.А. Астахов, Т.Б. Небож // *Перспективы науки*. 2020. № 10. С. 183-185.
12. Иванов Н.Н. Теплоизоляционный аэрогель и пьезоактивная пленка PVDF-современные, перспективные материалы для космической техники и космического приборостроения / Н.Н. Иванов, А.Н. Иванов // *Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина*. 2011. № 2. С. 46-52.
13. Гагарин В.Г. О нормировании теплопотерь через оболочку здания / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // *Academia. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 279-286.

References

1. Bogdanov V.N., Voronkov A.S., Medvedev E.V. et al. *Rossiyskaya Arktika: vozmozhnosti XXI veka* [The Russian Arctic: Opportunities of the 21st Century]. Moscow, 2018, 452 p.
2. Kholodilova K.A. *Kachestvo zhizni naseleniya v usloviyakh vakhtovogo truda na Krajnem Severe (na primere Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga)* [Quality of life under rotational work conditions in the Far North (case of the Yamalo-Nenets Autonomous District)]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2008, no. 5, pp. 96-102.
3. Volichenko O., Tsurik T. Ambivalence towards historical urban development. *Project Baikal*, 2023, vol. 20, no. 75, pp. 68-73. Available at: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/2033/2748> DOI: 10.51461/pb.75.16. EDN: AGCPAS
4. Chaika E.A. Russian and international experience in spatial organization of cities in the Far North. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2023, no. 2(63), pp. 144-153. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2023/2kvart23/PDF/09_chaika.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-144-153
5. Noeva E.E. Arctic tourism: international and national aspects, problems and features of development. *Arctic XXI century. Humanitarian sciences*, 2022, no. 3(29), pp. 35-59. Available at: <https://www.arcticjournal.ru/jour/article/view/72/68> DOI: 10.25587/SVFU.2022.68.59.003
6. Loguncova I.V. Special Features of Russian Arctic Tourism. *Public Administration. E-journal (Russia)*, 2021, vol. 87, pp. 39-47. Available at: <https://spajournal.ru/index.php/spa/article/view/148>
7. Kalinina N.S., Morozov N.V. *Arhitekturnye, tehicheskie i dizajnerskie osobennosti proektirovaniya zhilyh i obshchestvennyh zdaniy v usloviyakh Krajnego Severa* [Architectural,

technical and design features of residential and public buildings in the Far North]. *Sistemnye tehnologii*, 2019, no. 3(32), pp. 40-46.

8. Sarvarova R.R., Putintsev A.L. Sustainable development of the Arctic zone of the Russian Federation in contemporary realities. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2024, no. 4(69), pp. 256-265. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2024/4kvart24/PDF/18_sarvarova.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2024-4-256-265.
9. Yartsev V.P., Mamontov A.A., Mamontov S.A. *Ekspluatatsionnye svoystva i dolgo-vechnost' teploizolyacionnykh materialov (mineral'naya vata i penopolistirol)* [Performance and durability of thermal insulation materials (mineral wool and polystyrene foam)]. *Krovel'nye i izolyacionnye materialy*, 2013, no. 1, pp. 8-11.
10. Saus A.A., Pergun I.S., Altunyan A.O. *Ekstrudirovannyj penopolistirol* [Extruded polystyrene foam]. *Sovremennye naukoemkie innovatsionnye tehnologii*, 2018, pp. 60-62.
11. Belyh A.N., Astahov I.A., Nebozh T.B. *Vakuumnye izolyacionnye paneli kak naibolee sovremennyy vid teploizolyatsii v stroitel'stve* [Vacuum insulation panels as the most advanced type of thermal insulation in construction]. *Perspektivy nauki*, 2020, no. 10, pp. 183-185.
12. Ivanov N.N., Ivanov A.N. *Teploizolyacionnyj aerogel' i p'ezoaktivnaya plenka PVDF – sovremennye perspektivnye materialy dlya kosmicheskoy tehniki i priborostroeniya* [Thermal insulation aerogel and PVDF piezoactive film as modern prospective materials for space engineering and instrumentation]. *Vestnik FGUP NPO im. S.A. Lavochkina*, 2011, no. 2, pp. 46–52.
13. Gagarin V.G., Kozlov V.V. *O normirovanii teplopoter' cherez obolochku zdaniya* [On regulating heat loss through the building envelope]. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*, 2010, no. 3, pp. 279-286.

ОБ АВТОРЕ

Огородников Сергей Николаевич

Аспирант Инженерной академии Российского университета дружбы народов им. П. Лумумбы, Москва, Россия

1142220042@pfur.ru

ABOUT THE AUTHOR

Ogorodnikov Sergei N.

Postgraduate Student, RUDN University, Moscow, Russia

1142220042@pfur.ru