

Система оценки крупномасштабного строительства объектов в условиях Крайнего Севера

А.Н. Егоров, Д.А. Меньшиков

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет*

Аннотация: Строительство в условиях Крайнего Севера представляет собой уникальный вызов, требующий адаптации технологий, материалов и методов к экстремальным климатическим условиям. В статье проанализирован мировой опыт, включая геотехнические исследования, архитектурные решения, инфраструктуру и экологические аспекты. Приведены примеры успешных проектов, что иллюстрирует эффективность использования современных технологий и методов для обеспечения устойчивого развития в северных регионах. Предложена система критериев для оценки уровня крупномасштабного строительства объектов в условиях Крайнего Севера.

Ключевые слова: строительство, технологии, северные территории, система критериев, малая ресурсоемкость, минимизация отходов, минимизация воздействия на окружающую среду, модульное строительство.

Строительство на Крайнем Севере, характеризующееся экстремальными климатическими условиями, такими как низкие температуры, сильные ветра и вечная мерзлота, требует применения специальных методов и технологий. В мировой практике накоплен значительный опыт, который может служить основой для дальнейших проектов в арктических и субарктических регионах.

В России, ввиду её обширных территорий на Крайнем Севере, накоплен значительный практический и теоретический опыт в области строительства в условиях вечной мерзлоты. Этот опыт охватывает различные аспекты строительства, от геотехнических исследований до внедрения энергоэффективных технологий и методов, минимизирующих воздействие на окружающую среду [1,2].

Геотехнические исследования и фундаменты

Одним из ключевых аспектов строительства на Крайнем Севере является учет вечной мерзлоты. В России, Канаде и Норвегии проводятся

обширные геотехнические исследования для понимания поведения мерзлых грунтов. Используются методы георадарного обследования, бурения и лабораторного анализа образцов. Эти исследования позволяют проектировщикам учитывать особенности грунтов и разрабатывать адекватные инженерные решения для проектирования устойчивых фундаментов для различных сооружений, таких как жилые дома и промышленные объекты [3].

Примером успешного применения таких исследований является Трансаляскинский нефтепровод. Детальные исследования вечной мерзлоты позволили выбрать оптимальные методы стабилизации грунта и предотвращения его таяния, что обеспечило безопасность и надежность трубопровода в условиях экстремальных температур [4].

В условиях вечной мерзлоты необходимо предотвращать теплообмен между зданием и грунтом. Для этого применяются утепленные сваи и подложки из экструдированного пенополистирола. В Норвегии, при строительстве жилых зданий в районе Шпицбергена, использовались свайные фундаменты с теплоизоляцией, предотвращающей таяние мерзлоты и сохраняющей стабильность сооружений.

В России также активно ведутся исследования в области геотехнических решений для строительства на вечной мерзлоте. Работы многих российских ученых направлены на изучение динамики мерзлых грунтов и разработку инновационных методов их стабилизации. Например, в Сибири успешно применяются методы использования геотекстилей и других синтетических материалов для укрепления оснований зданий и сооружений [5].

Архитектурные и инженерные решения

Разработка аэродинамических форм зданий является важным аспектом, так как сильные ветры и снеговые нагрузки могут существенно повлиять на

структурную целостность и эксплуатационные характеристики зданий. В Финляндии и России это выражается в использовании специфических форм крыш и фасадов, которые уменьшают воздействие ветра и предотвращают накопление снега. В Финляндии здания проектируются с учетом минимизации ветрового давления и снеговых заносов, что позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы на отопление и очистку крыш.

Высокая теплоизоляция зданий достигается за счет многослойных конструкций стен и крыш, а также применения энергосберегающих окон и вентилируемых фасадов с многослойной теплоизоляцией. В Швеции и Канаде широко используются системы рекуперации тепла, солнечные панели и геотермальные установки. Примером является строительство жилых комплексов в северных регионах Швеции, где применяются тройные стеклопакеты и вентилируемые фасады с теплоизоляцией, что позволяет значительно снизить теплопотери и повысить энергоэффективность зданий [6].

В России также разработаны и активно внедряются инновационные архитектурные и инженерные решения. Например, в России используются специальные фасадные системы, разработанные российскими учеными, которые позволяют значительно повысить энергоэффективность зданий и уменьшить их теплопотери в условиях сурового климата. Кроме того, российские инженеры разрабатывают системы защиты от ветра и снега, такие как специальные козырьки и фасады с изменяемой геометрией, которые адаптируются под текущие погодные условия [7].

Модульное строительство

Модульное строительство приобретает все большую популярность в арктических регионах благодаря своей эффективности и скорости возведения, так как позволяет значительно сократить сроки и затраты на

строительство в условиях сурового климата. Это особенно актуально в отдаленных регионах, где транспортировка материалов и оборудования может быть затруднена. Данный метод предусматривает предварительное изготовление модулей на заводах с последующей сборкой на месте [8].

Примером успешного применения модульного строительства является проект в Канаде, где для строительства жилых и общественных зданий используются модульные конструкции, предварительно изготовленные в более благоприятных климатических условиях. Это позволяет значительно сократить сроки строительства и минимизировать влияние суровых погодных условий на строительный процесс, то есть повысить качество строительства.

В России, на Ямале, также применяются модульные технологии для возведения объектов инфраструктуры и жилых домов. Модули доставляются на место строительства и быстро монтируются, что особенно важно в условиях короткого строительного сезона на Крайнем Севере. Исследования показали, что модульное строительство на Ямале позволяет значительно сократить сроки строительства и повысить его качество. Примером такого подхода является проект «Ямал СПГ», где использование модульных технологий позволило значительно сократить сроки строительства и повысить его качество. Модули, предварительно собранные на заводах, доставлялись на место строительства и монтировались в единое сооружение в минимально возможные сроки, что позволило эффективно использовать короткий строительный сезон [9,10].

Инфраструктура и коммуникации

Развитие инфраструктуры в арктических регионах требует применения специальных технологий для защиты коммуникаций от замерзания и обеспечения их бесперебойного функционирования. Для предотвращения замерзания водопроводов и канализационных систем в Канаде и России

коммуникации прокладываются в утепленных туннелях или с использованием греющих кабелей. Например, в Норильске все подземные коммуникации прокладываются в специальных туннелях с теплоизоляцией и системой подогрева, что обеспечивает их бесперебойное функционирование даже в самые суровые зимы. Такие решения применяются и в Канаде, где для предотвращения замерзания водопроводов используются греющие кабели и теплоизоляционные материалы [11,12].

Автономные системы водоснабжения и отопления широко применяются в отдаленных районах Аляски и Канады. Используются генераторы, солнечные панели и тепловые насосы. В отдаленных поселениях Аляски внедряются автономные энергетические системы, включающие ветрогенераторы и солнечные панели, что позволяет обеспечить надежное энергоснабжение в условиях отсутствия централизованных сетей.

В России, особенно в отдаленных северных регионах, также применяются автономные системы жизнеобеспечения. В Сибири и на Дальнем Востоке активно используются комбинированные энергетические установки, включающие солнечные панели, ветрогенераторы и системы накопления энергии. Например, в Чукотском автономном округе успешно внедряются автономные системы теплоснабжения и водоснабжения, которые обеспечивают бесперебойную работу даже в условиях отсутствия центральных сетей.

Экологические и социальные аспекты

Строительство на Крайнем Севере требует особого внимания к экологическим и социальным аспектам. В Канаде и Норвегии применяются экологически безопасные технологии, которые минимизируют выбросы вредных веществ и предотвращают разливы нефти. Например, в Норвегии при разработке нефтегазовых месторождений в Баренцевом море

применяются технологии, предотвращающие разливы нефти и минимизирующие выбросы вредных веществ в атмосферу.

Во многих северных странах, таких как Канада и Россия, при проектировании и строительстве учитываются интересы и традиции коренных народов. Проводятся консультации и совместные проекты, направленные на улучшение условий жизни и сохранение культурного наследия. В Канаде, при строительстве инфраструктуры на территории, населенной инуитами, учитываются их традиционные знания и практики, что позволяет создавать более устойчивые и приемлемые для местного населения решения [13,14].

В России также большое внимание уделяется взаимодействию с коренными народами. При реализации крупных инфраструктурных проектов на Крайнем Севере, таких как строительство нефтегазовых объектов, проводятся общественные слушания и консультации с местными сообществами. Учитываются их традиционные хозяйственные уклады и культурные особенности, что позволяет минимизировать негативное воздействие на их образ жизни и сохранить культурное наследие [15].

Эксплуатация и обслуживание

Для обеспечения безопасности и долговечности зданий и сооружений в арктических условиях в России и Норвегии используются системы мониторинга, которые отслеживают состояние конструкций и инженерных систем в реальном времени. На объектах нефтегазовой инфраструктуры в Норвегии применяются системы мониторинга состояния трубопроводов, которые позволяют вовремя выявлять и устранять возможные деформации.

Для обеспечения безопасности и долговечности зданий и сооружений в арктических условиях в России и Норвегии используются системы мониторинга, которые отслеживают состояние конструкций и инженерных систем в реальном времени. На объектах нефтегазовой инфраструктуры в

Норвегии применяются системы мониторинга состояния трубопроводов, которые позволяют вовремя выявлять и устранять возможные дефекты, предотвращая аварии.

Особое внимание уделяется разработке методик и технологий для проведения ремонта и обслуживания объектов в условиях низких температур. В России разработаны уникальные технологии и материалы, которые позволяют проводить эффективное обслуживание и ремонт объектов в условиях экстремальных температур. Примером может служить применение новых видов полимерных покрытий, разработанных российскими учеными, которые сохраняют свои эксплуатационные свойства при температурах до -50°C . Эти покрытия используются для защиты трубопроводов и других инженерных систем от коррозии и механических повреждений [14,16].

Примеры успешных проектов

Трансаляскинский нефтепровод (Аляска, США).

Один из наиболее известных проектов, успешно реализованных в арктических условиях — Трансаляскинский нефтепровод. Его строительство потребовало применения инновационных технологий для защиты от воздействия вечной мерзлоты и обеспечения безопасности в условиях экстремальных температур.

Проект «Ямал СПГ» (Россия).

Проект «Ямал СПГ» включает строительство завода по производству сжиженного природного газа и инфраструктуры для его транспортировки. Для реализации проекта использовались передовые технологии теплоизоляции, устойчивые к морозу материалы и системы автономного энергоснабжения. Использование модульного строительства позволило значительно сократить сроки возведения объектов и минимизировать влияние суровых климатических условий.

Строительство жилых комплексов в Шпицбергене (Норвегия).

На архипелаге Шпицберген реализованы проекты строительства жилых комплексов с учетом суровых климатических условий. Использование свайных фундаментов, теплоизоляционных материалов и энергоэффективных технологий позволило создать комфортные условия для проживания в арктическом климате.

Проект «Северный поток-2» (Россия и Европа).

Проект «Северный поток-2» представляет собой один из крупнейших международных проектов, включающих строительство газопровода через Балтийское море. Несмотря на то, что большая часть газопровода проходит под водой, его реализация включала работу в суровых климатических условиях северных морей. Применение передовых технологий мониторинга и ремонта позволило обеспечить безопасность и надежность газопровода даже в условиях низких температур и сложных погодных условий.

В результате анализа отечественного и зарубежного опыта строительства в условиях Крайнего Севера выявлены критерии и проведена их систематизация, которые могут быть применены для оценки крупномасштабного строительства, связанного с развитием Арктической зоны (таблица 1).

Таблица 1

Система критериев, характеризующих уровень крупномасштабного строительства на Крайнем Севере

Код	Показатели
1	2
1	Уровень геотехнических исследований и технологичности устройства фундаментов
1.1	Уровень геологических изысканий
1.2	Уровень проектирования фундаментов
1.3	Уровень технологичности устройства конструкций
1.4	Уровень устойчивости и надежности фундаментов



1	2
1.5	Уровень контроля и мониторинга
1.6	Уровень соблюдения норм и стандартов
2	Уровень архитектурных, конструктивных и инженерных решений
2.1	Уровень архитектурного проектирования
2.2	Уровень инженерных систем
2.3	Уровень устойчивости и безопасности конструкций
2.4	Уровень энергоэффективности
2.5	Уровень применения инновационных технологий
2.6	Уровень соблюдения норм и стандартов
3	Уровень технологичности строительства на основе применения модульных систем
3.1	Уровень проектирования модульных решений
3.2	Уровень сборки и монтажа модульных решений
3.3	Уровень надежности и прочности модульных решений
3.4	Уровень экономической эффективности
3.5	Уровень экологичности модульных систем
3.6	Уровень инноваций в модульных решениях
4	Уровень инфраструктурных решений и коммуникации
4.1	Уровень планирования инфраструктуры
4.2	Уровень коммуникационных систем
4.3	Уровень транспортной инфраструктуры
4.4	Уровень энергообеспечения
4.5	Уровень водоотведения и водоснабжения
4.6	Уровень умных городских решений
5	Уровень экологических и социальных аспектов
5.1	Уровень экологической устойчивости
5.2	Уровень биоразнообразия
5.3	Уровень энергоэффективности
5.4	Уровень социальной ответственности
5.5	Уровень охраны здоровья и безопасности
5.6	Уровень культурного и исторического контекста
6	Уровень эксплуатационных привлекательности и комфорта обслуживания
6.1	Уровень функциональности пространства
6.2	Уровень удобства и доступности

1	2
6.3	Уровень энергетической эффективности
6.4	Уровень комфорта и атмосферы
6.5	Уровень безопасности и здоровья
6.6	Уровень технической надежности

Выводы

Мировой опыт крупномасштабного строительства в условиях Крайнего Севера показывает, что успешная реализация проектов возможна при условии комплексного подхода, включающего детальные геотехнические исследования, использование инновационных материалов и технологий, учет экологических и социальных факторов, а также регулярный мониторинг и обслуживание объектов. Опыт таких стран, как Канада, Норвегия, Россия и США, демонстрирует эффективность применения современных технологий и методов для обеспечения устойчивого развития в арктических регионах.

Применение разработанной системы критериев для оценки уровня крупномасштабного возведения объектов в условиях Крайнего Севера позволит строить в максимально сжатые сроки с нормативным качеством выполнения строительно-монтажных работ.

Литература

1. Бабурин В. Л., Бадина С. В., Горячко М. Д., Земцов С. П. Природные факторы развития урбанизированных пространств Арктической зоны России // Вопросы географии /Сб. 142: География полярных регионов / Отв. ред. Котляков В. М. - М.: Издательский дом «Кодекс», 2016. - 47- 56 с.

2. Затяева Е. К., Нестеров Д. И., Анализ природно-климатических условий при проектировании мобильного жилья для территории Крайнего Севера // Наука ЮУрГУ: материалы 67-й научной конференции секции социально-гуманитарных наук. Челябинск, 2015. - 223–229 с.

3. Д.э.н, проф. Селина В. С., д.э.н., проф. Скуфьиной Т. П., к.э.н., доц. Башмаковой Е. П., к.э.н., доц. Торопушиной Е. Е. Север и Арктика в новой

парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы. Научно-аналитический доклад // Апатиты: КНЦ РАН, 2016. – 420 с.

4. Исмаилов Р.И. Применение статистических методов для определения качества строительства магистральных трубопроводов в районах Крайнего Севера // Инженерный вестник Дона, 2021, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/7001.

5. Охапкин Д.В., Субботин А.С. Влияние мобильной грунтовой лаборатории на организацию строительства в условиях Крайнего Севера // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 3. Ст. 7. URL: nso-journal.ru. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.7.

6. Биев А.А. Формирование территориальных систем теплоснабжения в северных и арктических субъектах России // Арктика и Север. 2023. № 51. с. 28–51. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2023.51.28.

7. Артахинова А. Н., Кошечев В. А. Развитие инновационных подходов к повышению энергоэффективности зданий в условиях Крайнего Севера // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2021. Т. 1. Вып. 4. С. 414—425. DOI: 10.34130/2070-4992-2021-1-4-414.

8. Голотина Ю.И., А.А. Рыжкова, Арутюнян М.С. Факторы, влияющие на сроки строительства // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». — 2018. — № 9. — С. 65–73.

9. Чуклов Н. С. Преемственность в объемно-планировочных элементах городов с контролируемым климатом в заполярье // Архитектура и современные информационные технологии. МАРХИ. Москва. 2020. с 251-266



10. Соловьева Е.В., Пахомов И.А. Технология строительства каркасно-монолитных энергоэффективных малоэтажных домов с промежуточным утеплителем (пенополистирольным сердечником) // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). — 2015. — № 1. — с. 77–82.
 11. Сергеева О. Е., Лазарева Е. И. Комфортная городская среда как фактор развития мегаполиса, 2018. -№11.–166-173 с.
 12. Богданова Н.А., Развитие транспортной инфраструктуры как основа социально-экономического развития Северных регионов России // Бухгалтерский учёт, статистика, 2019, с. 63-66.
 13. Гутман С.С., Зайченко И.М., Рытова Е.В., Вопросы реализации стратегии развития транспортной системы районов Крайнего Севера (на примере Архангельской области) // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. ISSN 1999-2645. — №3 (51). Номер статьи: 5104. URL: eee-region.ru/article/5104/. Дата публикации: 14.08.2017.
 14. Петрова Т.Э., Лобанов В.В., Русинова Е.Е., Строительство северного широтного хода в арктической зоне Российской Федерации: социальные аспекты, Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки, 2023, № 3 (71), с. 75–85, DOI: 10.52452/18115942_2023_3_75.
 15. Чуклов Н.С., Экологические аспекты организации городского поселения с искусственным климатом в условиях Крайнего Севера РФ // Инновации и инвестиции. 2019, № 6, 297-303.
 16. Винницкий М.В., Подходы к организации архитектурно-градостроительной среды в суровых условиях северных регионов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН, 2023, с.37-43. DOI: 10.25628/UNIP.2023.58.3.006.
-



17. Барчугова Е.В., Габитов С.Т., Принципы формирования и организации городского пространства в Арктике // Инновации и инвестиции. 2022, № 8. с.86-89.

References

1. Baburin V. L., Badina S. V., Gorjachko M. D., Zemcov S. P. Voprosy geografii Sb. 142: Geografija poljarnyh regionov. Otv. red. Kotljakov V. M. M.: Izdatel'skij dom «Kodeks», 2016. pp. 47- 56 .
2. Zatjaeva E. K., Nesterov D. I. Nauka JuUrGU: materialy 67-j nauchnoj konferencii sekcii social'no-gumanitarnyh nauk. Cheljabinsk, 2015. 223–229 p.
3. D.je.n, prof. Selina V. S., d.je.n., prof. Skuf'inoj T. P., k.je.n., doc. Bashmakovoj E. P., k.je.n., doc. Toropushinoj E. E. Nauchno-analiticheskij доклад. Apatity: KNC RAN, 2016. 420 p.
4. Ismailov R.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/7001.
5. Ohapkin D.V., Subbotin A.S. Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2021. T. 11. Vyp. 3. St. 7. URL: nso-journal.ru. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.7.
6. Biev A.A. Arktika i Sever. 2023. № 51. pp. 28–51. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2023.51.28.
7. Artahinova A. N., Koshheev V. A. Korporativnoe upravlenie i innovacionnoe razvitie jekonomiki Severa: Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo centra korporativnogo prava, upravlenija i venchurnogo investirovanija Syktyvkarskogo gosudarstvennogo universiteta. 2021. T. 1. Vyp. 4. pp. 414—425. DOI: 10.34130/2070-4992-2021-1-4-414.
8. Golotina Ju.I., A.A. Ryzhkova, Arutunjan M.S. Jelektronnyj setevoj politematicheskij zhurnal «Nauchnye trudy KubGTU». 2018. № 9. pp. 65–73.
9. Chuklov N. S. Arhitektura i sovremennye informacionnye tehnologii. MARHI. Moskva. 2020. pp 251-266.



10. Solov'eva E.V., Pahomov I.A. Nauka. Tehnika. Tehnologii (politehnicheskij vestnik). 2015. № 1. pp. 77–82.
11. Sergeeva O. E., Lazareva E. I. 2018. №11. pp.166-173.
12. Bogdanova N.A., Buhgalterskij uchjot, statistika, 2019, pp. 63-66.
13. Gutman S.S., Zajchenko I.M., Rytova E.V. Regional'naja jekonomika i upravlenie: jelektronnyj nauchnyj zhurnal. ISSN 1999-2645. №3 (51). Nomer stat'i: 5104. URL: eee-region.ru/article/5104/. Data publikacii: 14.08.2017.
14. Petrova T.Je., Lobanov V.V., Rusinova E.E. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Serija: Social'nye nauki, 2023, № 3 (71), pp. 75–85, DOI: 10.52452/18115942_2023_3_75.
15. Chuklov N.S. Innovacii i investicii. 2019, № 6, pp. 297-303.
16. Vinnickij M.V. Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN, 2023, p.37-43. DOI: 10.25628/UNIIP.2023.58.3.006.
17. Barchugova E.V. Innovacii i investicii. 2022. № 8. pp.86-89.

Дата поступления: 3.09.2024

Дата публикации: 19.10.2024