

Научная статья

Original article

УДК 69.055

doi: https://doi.org/10.55186/2413046X_2026_11_2_21

edn: KSTSZI

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ
ВЛИЯНИЕ НА СТРОИТЕЛЬСТВО СООРУЖЕНИЙ В
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

**AN ANALYTICAL REVIEW OF THE FACTORS INFLUENCING THE
CONSTRUCTION OF STRUCTURES IN EXTREME CONDITIONS**



Рожков Евгений Александрович, к.т.н., доцент кафедры физики, ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, E-mail: zhenyacool31@yandex.ru

Гвоздева Александра Михайловна, землеустроительный факультет, ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, E-mail: gvozdeva.sasha04@bk.ru

Rozhkov Evgeniy Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Physics, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, E-mail: zhenyacool31@yandex.ru

Gvozdeva Alexandra Mikhailovna, Faculty of Land Management, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, E-mail: gvozdeva.sasha04@bk.ru

Аннотация. Освоение территорий с экстремальными природно-климатическими условиями, такими как Арктика, регионы вечной мерзлоты, сейсмоопасные зоны, высокогорья и пустыни, является приоритетной задачей современного строительства. Эти регионы характеризуются

уникальными вызовами, включая нестабильность грунтов, воздействие экстремальных температур (низких и высоких), сильные ветровые нагрузки, высокую влажность, циклическое замерзание/оттаивание, а также интенсивные геодинамические и сейсмические процессы. Традиционные строительные подходы часто оказываются неэффективными, что приводит к деформациям, преждевременному износу и обрушениям сооружений, увеличивая эксплуатационные риски и затраты. В данной статье представлен аналитический обзор и систематизация ключевых природных, техногенных и организационных факторов, влияющих на проектирование, возведение и эксплуатацию объектов в таких условиях. Рассмотрено влияние экстремальных температур на прочность материалов, таких как бетон (разрушение при замерзании/оттаивании) и древесина (обезвоживание в жару, температурные напряжения), а также воздействие сильных ветровых нагрузок, коррозионных процессов при высокой влажности и специфические требования к фундаментам на многолетнемерзлых грунтах (исключение теплового воздействия). Особое внимание уделено применению геофизических методов исследования (сейсморазведка, электроразведка, магниторазведка, георадиолокация) как неотъемлемых инструментов для оценки состояния грунтов, выявления скрытых аномалий и прогнозирования геологических рисков на этапе предпроектных изысканий. Обсуждены принципы динамического расчета сооружений как колебательных систем, необходимых для обеспечения их устойчивости к сейсмическим и ветровым нагрузкам. На примере расчета деревянного дома в условиях Якутии (Оймякон) показано, что для древесины изменение влажности является более существенным деформирующим фактором, чем температурные колебания, что требует особых конструктивных решений и прогнозирования повреждаемости до 53% за 15 лет эксплуатации. Результаты исследования подчеркивают критическую необходимость комплексного подхода, использования адаптированных материалов и технологий, а также

постоянного мониторинга для обеспечения надежности, долговечности и безопасности сооружений в экстремальной среде.

Abstract. The development of territories with extreme natural and climatic conditions, such as the Arctic, permafrost regions, seismic zones, high mountains, and deserts, represents a priority for modern construction. These regions present unique challenges, including soil instability, exposure to extreme temperatures (both low and high), strong wind loads, high humidity, cyclic freezing/thawing, as well as intense geodynamic and seismic processes. Traditional construction approaches often prove ineffective, leading to deformations, premature wear, and structural collapses, thereby increasing operational risks and costs. This article provides an analytical review and systematization of key natural, technogenic, and organizational factors influencing the design, erection, and operation of structures in such conditions. The study examines the impact of extreme temperatures on material strength (e.g., concrete degradation during freeze-thaw cycles, wood dehydration in heat, and thermal stresses), the effects of strong wind loads, corrosion processes under high humidity, and specific foundation requirements for permafrost soils (e.g., preventing thermal impact from structures). Particular attention is given to the application of geophysical survey methods (seismic, electrical, magnetic exploration, ground-penetrating radar) as essential tools for assessing soil conditions, detecting hidden anomalies, and forecasting geological risks during pre-design investigations. The principles of dynamic structural analysis, treating structures as oscillatory systems, are discussed as crucial for ensuring their stability against seismic and wind loads. Using the example of a wooden house in Yakutia (Oymyakon), it is demonstrated that for timber, humidity changes are a more significant deforming factor than temperature fluctuations, necessitating specific structural solutions and predicting potential damage up to 53% over 15 years of operation. The research findings underscore the critical need for an integrated approach, the use of adapted materials and technologies, and

continuous monitoring to ensure the reliability, durability, and safety of structures in extreme environments.

Ключевые слова: землеустройство, геофизика, строительство, экстремальные условия, материалы, факторы

Keywords: land management, geophysics, construction, extreme conditions, materials, factors

Введение. Освоение территорий с экстремальными природно-климатическими условиями является одной из приоритетных задач современного строительства не только в России, но и в других зарубежных странах. Развитие промышленных объектов, транспортной и энергетической инфраструктуры, добывающих комплексов и исследовательских станций требует активного продвижения в районы, которые ранее долгое время считались труднодоступными или небезопасными. К ним относятся арктические зоны, регионы вечной мерзлоты, сейсмоопасные территории, высокогорные районы, пустыни и шельфовые участки [1, 2]. Во всех этих регионах строительная деятельность сталкивается с уникальными вызовами: нестабильностью грунтов, воздействием экстремальных температур, высокой влажностью, сезонным промерзанием почв, интенсивными геодинамическими процессами, опасностью землетрясений и подземных подвижек. В связи с этим проблема оценки факторов, оказывающих влияние на эксплуатационные свойства зданий и сооружений, достаточно актуальна в современных реалиях даже в настоящее время.

Экстремальные условия, такие как низкие или высокие температуры, сильные ветры, высокая влажность, сейсмическая активность, многолетняя мерзлота создают значительные нагрузки на строительные материалы и конструкции. Например, в холодных регионах низкие температуры и циклическое замерзание/оттаивание воды в порах бетона приводят к его разрушению [3]. В жарком климате температура выше 25°C и низкая

влажность вызывают обезвоживание материалов в «мокрых» процессах (бетонирование, отделочные работы).

Сильные ветры могут повреждать конструкции, а их динамическое воздействие может вызвать резонанс и прогрессирующие разрушения. Высокая влажность способствует коррозии металлических конструкций, росту плесени и грибков, что ускоряет деградацию материалов. Многолетняя мерзлота предъявляет особые требования к проектированию фундаментов: необходимо исключать тепловое воздействие на грунт от сооружений и коммуникаций, использовать свайные фундаменты с воздушной прослойкой [4, 5].

Игнорирование этих факторов может привести к деформациям, обрушениям и преждевременному выходу объектов из строя. Учёт физических факторов позволяет оптимизировать затраты на строительство и эксплуатацию объектов. Правильный выбор материалов и технологий снижает риск дорогостоящего ремонта или реконструкции. Так, например, использование энергоэффективных решений (многослойное утепление, системы теплозащиты) сокращает расходы на отопление и кондиционирование. В условиях низких температур рациональное проектирование фундаментов в зонах вечной мерзлоты предотвращает дополнительные затраты на борьбу с просадками и деформациями.

Освоение новых территорий и развитие глобальной инфраструктуры неизбежно сталкивают строительную отрасль с необходимостью возведения зданий и сооружений в условиях, значительно отличающихся от стандартных. К таким условиям относятся регионы с экстремальными климатическими показателями (Крайний Север, Арктика, пустыни), зоны с высокой сейсмической активностью, высокогорные районы, а также территории со сложными геологическими и гидрологическими характеристиками [6]. Строительство в таких "экстремальных" средах сопряжено с рядом специфических вызовов, которые требуют

фундаментального пересмотра традиционных подходов к проектированию, выбору материалов, организации строительного процесса и последующей эксплуатации объектов.

Сложность заключается в комплексном воздействии множества негативных факторов. Низкие температуры ведут к повышению хрупкости материалов и деградации вечномёрзлых грунтов. Высокая сейсмическая активность требует внедрения дорогостоящих конструктивных решений для обеспечения устойчивости. В пустынных регионах основными проблемами становятся резкие суточные перепады температур, ветровая эрозия и недостаток водных ресурсов [7, 8].

Несмотря на наличие значительного числа исследований, посвященных отдельным аспектам строительства (например, в условиях вечной мерзлоты или высокой сейсмичности), ощущается недостаток комплексных аналитических работ, которые бы систематизировали и обобщали весь спектр факторов для различных типов экстремальных сред. Данная работа призвана восполнить этот пробел путем проведения всестороннего обзора и анализа накопленных знаний.

Целью настоящего исследования является аналитический обзор и систематизация основных факторов, влияющих на процессы проектирования и возведения сооружений в экстремальных условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Классифицировать основные типы экстремальных условий, встречающихся в строительной практике.
2. Проанализировать влияние ключевых природно-климатических факторов (температура, ветровые и снеговые нагрузки, влажность, солнечная радиация, сейсмичность) на конструктивные системы и строительные материалы.

3. Рассмотреть основные технологические и конструктивные особенности, применяемые при строительстве в каждом из выделенных типов экстремальных условий.

4. Выявить и систематизировать специфические риски, а также логистические, экономические и экологические проблемы, сопутствующие реализации строительных проектов в сложных условиях.

5. Обобщить существующие подходы к обеспечению надежности, долговечности и безопасности сооружений, эксплуатируемых в экстремальных средах.

Ожидаемые результаты исследования позволят сформировать целостное представление о совокупности факторов, влияющих на строительство в экстремальных условиях, и разработать научно обоснованные подходы к их учёту в процессе проектирования и строительства.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования являются процессы проектирования и строительства инженерных сооружений, осуществляемые в экстремальных природных условиях, таких как районы вечной мерзлоты, арктические территории, сейсмоопасные зоны, пустынные регионы и шельфовые платформы.

Предметом исследования являются геофизические методы и технологии, применяемые для оценки состояния грунтов, анализа геологических рисков и обеспечения безопасности строительных объектов в сложных условиях.

Материалы исследования включают: данные инженерно-геофизических изысканий, полученные с использованием сейсморазведки, георадиолокации, электроразведки, магнитометрии и методов электротомографии, результаты лабораторных испытаний грунтовых образцов (влажность, плотность, прочность, ледистость, теплопроводность), картографические и геодезические материалы (геологические карты, разрезы, цифровые модели рельефа), архивные данные по сейсмичности и геодинамике регионов,

нормативно-техническую документацию, регламентирующую строительство в экстремальных условиях [9].

Среди задач, которые решают геофизические исследования, можно выделить определение структуры и состава грунтов, локализацию подземных водоносных слоёв, обнаружение подземных инженерных сетей или старых фундаментов, оценку сейсмической устойчивости площадки. Рассмотрим различные методы проведения подготовительных работ перед строительством высотных зданий и сооружений.

Сейсморазведка является одним из наиболее распространённых методов геофизических изысканий. Она основана на изучении распространения сейсмических волн, создаваемых искусственным источником (например, ударом или вибрацией) [10]. В зависимости от свойств грунтов и пород, сейсмические волны изменяют скорость, амплитуду и траекторию. На основе этого специализированные автоматизированные установки принимают решение о состоянии грунта и прогнозируют его пригодность для использования в качестве основы для строительства зданий и сооружений, как показано на рисунке 1.

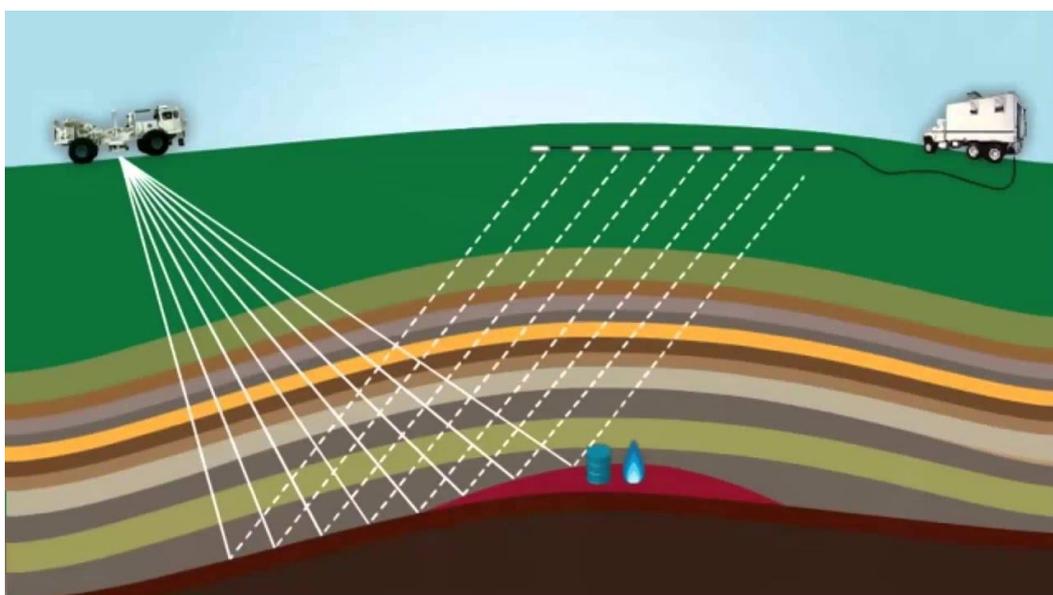


Рисунок 1. Технологическая схема использования сейсморазведки перед проектированием зданий и сооружений

В проектировании зданий сейсморазведка помогает определить этажность сооружения, выбрать материалы конструкции, разработать систему фундаментов, планировать расположение несущих элементов. Применение сейсморазведки позволяет снизить риски разрушения зданий, оптимизировать затраты на строительство, увеличить срок службы сооружений. Технологические решения по сейсморазведке используют в работе следующие этапы: использование современных сейсмографов, применение цифровых методов обработки данных, 3D-моделирование геологических структур, компьютерное прогнозирование поведения грунтов, интеграцию с системами мониторинга.

Электроразведка – это геофизический метод исследования подземных структур, основанный на измерении электрических свойств грунтов (проводимости и сопротивления). Так, на рисунке 2 представлен пример построения карты местности с помощью электроразведки.

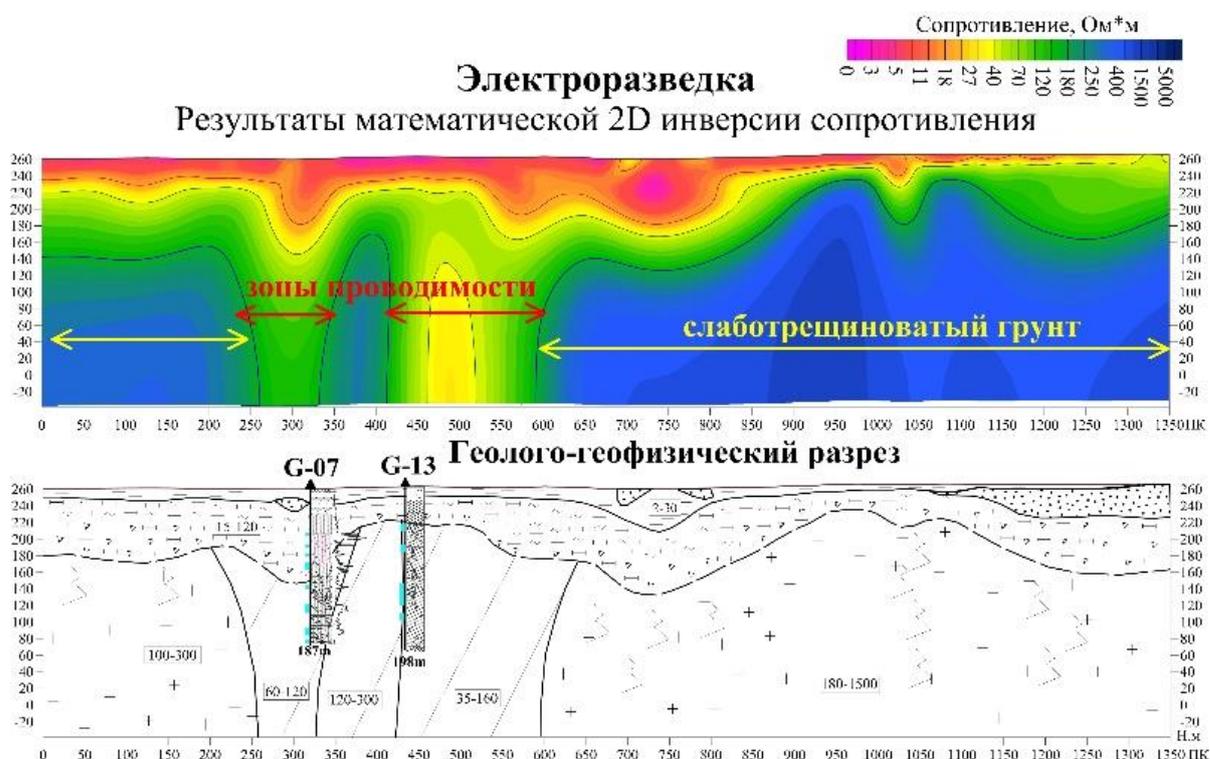


Рисунок 2. Пример использования электроразведки при диагностике состояния грунта

Разные типы грунтов обладают разным удельным сопротивлением в зависимости от состава, плотности, влажности и наличия минеральных включений. Проведение электроразведки на этапе предпроектных изысканий позволяет выявить неоднородности грунта (зоны разуплотнения, карстовые полости, древние овраги), определить уровень грунтовых вод и водоносные горизонты, обнаружить зоны повышенной агрессивности грунтов (коррозионно-опасные участки) [11].

Без таких исследований возрастает риск неравномерных осадок и трещин в зданиях, размыва оснований и потери устойчивости фундамента, коррозии арматуры и подземных конструкций, а также непредвиденных затрат на усиление грунтов и ремонт.

Одним из важных методов землеустройства является магниторазведка — геофизический метод исследования подземных объектов, основанный на измерении локальных аномалий магнитного поля Земли. На рисунке 3 приведен процесс построения карты местности на основе магнитного анализа почвы.

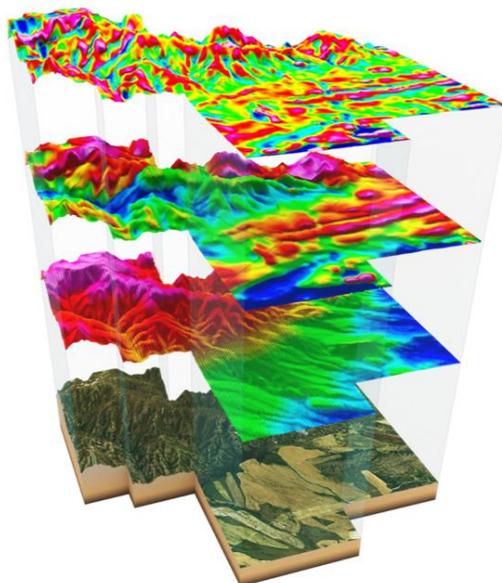


Рисунок 3. Построение карты местности с помощью магниторазведки

Эти аномалии возникают из-за различий в магнитной восприимчивости горных пород и техногенных объектов, залегающих в грунте. Проведение магниторазведочных работ перед возведением зданий позволяет локализовать подземные металлические объекты: трубопроводы, кабели, арматурные каркасы старых фундаментов, заброшенные резервуары, металлолом, выявить железосодержащие горные породы и минералы (магнетит, титаномагнетит), которые могут влиять на устойчивость грунтов, обнаружить техногенные нарушения грунта: засыпанные котлованы, старые подвалы, тоннели, колодцы, подземные ходы.

Магниторазведка является достаточно эффективным инструментом инженерно-геологических изысканий, позволяющим: минимизировать риски повреждения коммуникаций, оптимизировать объёмы земляных работ, избежать непредвиденных затрат на извлечение скрытых объектов, повысить безопасность и точность проектирования. Её применение особенно ценно на территориях старой застройки, в зонах плотной инженерной инфраструктуры и на площадках с неизвестной историей освоения.

Георадиолокация (георадарное зондирование, GPR – Ground-Penetrating Radar) — неразрушающий геофизический метод исследования подповерхностной среды с помощью электромагнитных волн радиодиапазона. Позволяет «видеть» под землёй без бурения и раскопок, выявляя слои грунта, коммуникации, пустоты и иные объекты. Георадар генерирует короткие электромагнитные импульсы, которые проникают в грунт. Волны отражаются от границ между слоями с разной диэлектрической проницаемостью (например, влажный/сухой грунт, песок/глина, грунт/бетон). Затем приёмная антенна фиксирует отражённые сигналы, фиксируя время задержки и амплитуду, а специальное ПО строит радарограмму — визуализацию подповерхностных структур в виде разрезов (профилей) или 3D-моделей.

Георадиолокация – эффективный инструмент инженерно-геологических изысканий, позволяющий снизить риски повреждения коммуникаций при земляных работах, оптимизировать проектирование фундаментов и инженерных сетей, избежать непредвиденных затрат на устранение скрытых проблем, а также повысить безопасность и долговечность сооружений. Её применение особенно ценно на территориях старой застройки, в зонах плотной инженерной инфраструктуры, при реконструкции объектов, на участках с неизвестной историей освоения. На рисунке 4 приведен пример построения карты местности с помощью георадарного зондирования.

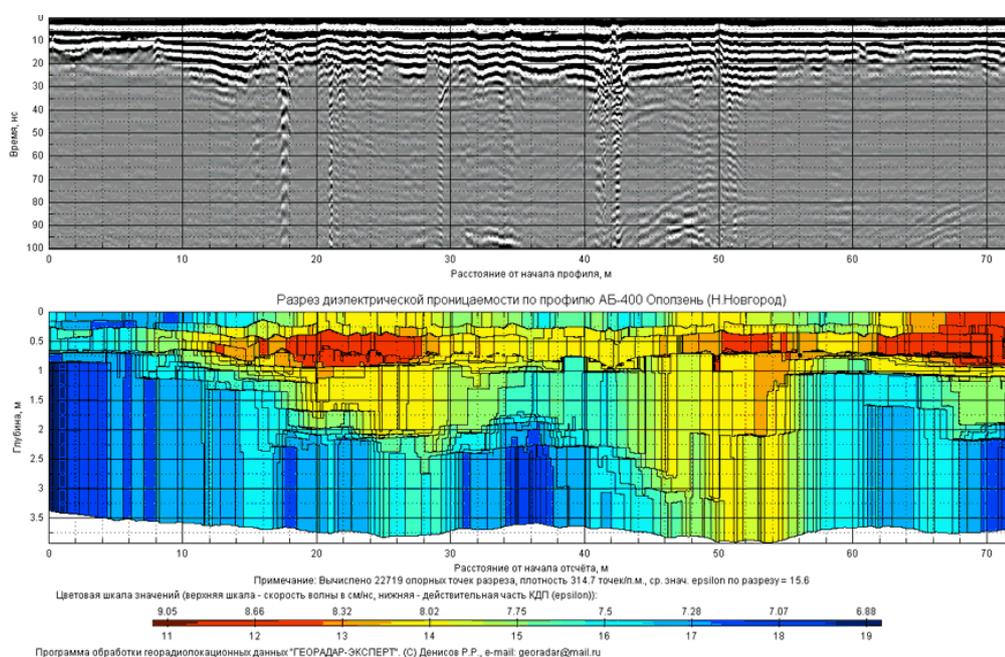


Рисунок 4. Процесс визуализацию подповерхностных структур при помощи георадиолокации

Наиболее рациональным решением при землеустройстве и планировании постройки высотных зданий и сооружений является использование геофизических изысканий — комплекса неразрушающих методов исследования подземной среды, основанный на измерении физических свойств грунтов и пород (плотности, упругости, электропроводности, магнитной восприимчивости и др.). Ключевое преимущество — возможность получить детальную информацию о подповерхностной обстановке без

масштабных земляных работ, что делает метод экономически выгодным, экологически безопасным и высокопроизводительным.

На подготовительном этапе проводится анализ архивных данных (геология, топография, коммуникации), разработка программы работ и сети наблюдений и выбор методов и оборудования. Далее проводятся полевые измерения посредством разметки профилей и точек наблюдения, калибровки приборов и съёмки по заданной методике. Следующим этапом проводится обработка и интерпретация результатов: фильтрация помех (ЛЭП, поверхностные объекты), расчёт глубин и параметров аномалий, построение разрезов, карт, 3D-моделей, сопоставление с геологическими данными. На финальной стадии производится подготовка отчёта с графическими материалами (разрезы, планы, аномальные зоны) и описанием выявленных объектов и рисков.

Для выявления факторов, оказывающих влияние на строительство сооружений в экстремальных условиях, зачастую используют динамику сооружений – раздел строительной механики, посвящённый расчёту конструкций на динамические нагрузки. Цель динамического расчёта – обеспечить несущую способность сооружения при совместном действии статических и динамических нагрузок, а также ограничить уровень колебаний для предотвращения разрушений, соблюдения требований прочности, жёсткости и выносливости, исключения вредного влияния на людей и технологические процессы.

К основным задачам динамики сооружений можно отнести:

- определение частот и форм собственных колебаний сооружения;
- проверку на резонанс (опасное усиление колебаний при совпадении частот внешней нагрузки и собственных колебаний системы);
- проверку динамической прочности (оценка максимальных напряжений и деформаций);
- проверку динамической жёсткости (контроль перемещений и прогибов).

Рассмотрим процесс моделирования сооружений как колебательной системы. В расчётах сооружение рассматривают как колебательную систему, которая может быть:

1. Диссипативной – с рассеянием энергии (реальные сооружения: есть трение, демпфирование, потери на нагрев).
2. Консервативной – без учёта рассеяния энергии (упрощённая модель для аналитических решений).

Для упрощения расчётов используют дискретные модели с сосредоточенными массами: массы располагают в точках приложения значительных нагрузок (оборудование, грузы), распределённую массу заменяют сосредоточенными «приведёнными массами», вычисленными из условия равенства кинетических энергий, каждая сосредоточенная масса в плоскости имеет 3 степени свободы (2 поступательных перемещения + 1 поворот).

В качестве основных методов расчёта используются:

1. Кинетостатический метод (принцип Даламбера), при котором к действующим силам добавляют инерционные (равные произведению массы на ускорение, направленные противоположно ускорению) и составляют уравнения динамического равновесия.
2. Кинематический метод, который основан на принципе возможных перемещений и который удобен при наличии сосредоточенных и распределённых масс.
3. Энергетический метод, который использует закон сохранения механической энергии (сумма потенциальной и кинетической энергий постоянна) и применяется для анализа собственных колебаний консервативных систем.

Рассмотрим основные этапы динамического расчёта. Вначале по заданным начальным параметрам производится определение динамических характеристик материала (модуль упругости, плотность, коэффициент

демпфирования), числа степеней свободы системы и построение расчётной модели. Далее производится расчёт собственных частот и форм колебаний (решение характеристического уравнения) и проверка на резонанс. Важным этапом динамического расчета является расчёт динамических перемещений, усилий и напряжений с учётом инерционных сил, а также проверка прочности и жёсткости конструкций. При необходимости выполняется расчёт мер по снижению колебаний (демпферы, динамические гасители, изменение жёсткости).

Общую оценку возможной поврежденности здания и сооружения производится по следующей формуле:

$$\varepsilon = \frac{(\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \varepsilon_i)}{(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i)}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ – максимальная величина повреждений отдельных видов конструкций; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ – коэффициенты значимости отдельных видов конструкций.

При анализе повреждений учитывают их максимальные значения, которые зачастую характерны лишь для отдельных конструктивных элементов. Это обусловлено тем, что аварии, как правило, возникают вследствие критического дефекта в одном конкретном элементе системы. Коэффициенты значимости определяют на основе экспертных оценок. При этом принимают во внимание социально-экономические последствия возможного разрушения и вероятный характер и масштаб разрушений.

Если исходные данные отсутствуют, применяют следующие стандартные значения коэффициентов значимости ε : плиты и панели перекрытия и покрытия: $\varepsilon=2$; балки: $\varepsilon=4$; фермы: $\varepsilon=7$; колонны: $\varepsilon=8$; несущие стены и фундаменты: $\varepsilon=3$; прочие строительные конструкции: $\varepsilon=2$.

Величину повреждения строительных конструкций через t лет ее эксплуатации определяют по формуле:

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где λ – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения несущей способности в момент обследования; t – срок эксплуатации в годах на момент обследования.

Зачастую в строительстве и землеустройстве используют прямые динамические расчеты зданий и сооружений, которые необходимо выполнять с использованием расчетных акселерограмм, которые описываются соотношением:

$$a_i(t) = A_i y_i(t), \quad (3)$$

где i – номер составляющей вектора колебаний; A_i – максимальное значение амплитуды ускорений; $y_i(t)$ – нормированная на единицу функция, которая описывает колебание грунта во времени. Также в данном методе производится расчет теплового сопротивления материалов (R -значение), расчет которого производится по формуле:

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (4)$$

где d – толщина утеплителя. Значение R отражает, насколько хорошо материал препятствует прохождению тепла через конструкцию. При увеличении толщины утеплителя R -значение растет, что обеспечивает лучшую защиту от холода.

Прямой динамический метод – способ расчёта сооружений на динамические воздействия (прежде всего сейсмические), при котором нагрузки задаются как функции времени (акселерограммы, сейсмограммы), уравнения движения решаются непосредственно во временной области с пошаговым интегрированием, учитывается реальная история нагружения и нелинейное поведение материалов. В отличие от спектрального метода, прямой динамический даёт не обобщённые (спектральные) характеристики, а детализированную картину отклика конструкции на конкретное воздействие в каждый момент времени.

Метод обязателен или предпочтителен для зданий и сооружений с принципиально новыми конструктивными решениями (не имеющими

экспериментальной проверки), объектов повышенного уровня ответственности (АЭС, мосты, стадионы, высотки > 50 м), сооружений в зонах с сложной сейсмотектоникой и нестандартными грунтовыми условиями, случаев, когда результаты спектрального метода вызывают сомнения или дают заниженные нагрузки, анализа нелинейного поведения (пластичность, трещины, проскальзывание соединений).

Результаты и их обсуждение. Рассчитаем нагрузки и риски для жилого дома в экстремальных условиях Якутии (например, в Оймяконе). Сделаем акцент на реальные местные проблемы: чрезвычайные морозы, вечная мерзлота, большие годовые перепады температур.

Основной задачей является расчет ключевых факторов для проектирования одноэтажного деревянного дома на свайном фундаменте в условиях Якутии (Оймякон). Приведем исходные данные для расчета. Гравитация на широте Оймякона (~63° с.ш.) из-за сплюснутости Земли и центробежной силы g отличается от стандартных значений и принимается равной 9.818 м/с^2 (стандарт для высоких широт).

Рассмотрим температурный режим участка для строительства. Стена планируется из бруса (сосна вдоль волокон). Коэффициент линейного температурного расширения $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ (вдоль волокон). Модуль упругости древесины $E = 1.0 \cdot 10^{10} \text{ Па}$. Абсолютный минимум: $T_{\min} = -65^\circ\text{C}$, летний максимум: $T_{\max} = +30^\circ\text{C}$. Монтаж сруба производился при средней температуре $T_{\text{м}} = +10^\circ\text{C}$. Перепад для расчета максимального напряжения: от $+10^\circ\text{C}$ до -65°C .

Рассмотрим параметры строительных материалов с учетом влажности. Древесина – гигроскопичный материал. Расчетное изменение влажности $\Delta w = 15\%$ (0.15 в долях) при переходе от равновесной зимней влажности в отапливаемом доме к летней. Начальный условный параметр деформации $\epsilon_0 = 1.0$, коэффициент влияния влажности $\beta = 0.15$ (для древесины — значительный).

Для учета циклов замораживания/оттаивания древесины, УФ-излучение, биопоражения примем эмпирический коэффициент повреждения для суровых условий $\lambda = 0.05$ 1/год (выше, чем в Гималаях, из-за больших циклических нагрузок). Массу одной несущей стены длиной 10 м, высотой 3 м из бруса 150x150 мм (плотность ~ 500 кг/м³) примем $m \approx 2000$ кг.

Для выбора необходимых строительных материалов, методов и способов проведения коммуникаций необходимо произвести расчет следующих физических параметров:

1. Силу тяжести, действующую на несущую стену.
2. Максимальное тепловое напряжение в древесине стены, если она жёстко закреплена в углах.
3. Изменение относительной деформации стены при охлаждении от монтажной температуры до зимнего минимума.
4. Изменение деформационных характеристик материала (условного модуля) из-за колебаний влажности.
5. Величину повреждения конструкции стены через $t = 15$ лет эксплуатации.
6. Суммарную относительную деформацию от температуры и влажности (как основные факторы для древесины).

Вначале проводим расчет силы тяжести по следующей формуле:

$$F_{\text{тяж}} = m \cdot g \quad (5)$$

$$F_{\text{тяж}} = 2000 \text{ кг} \cdot 9,818 \text{ м/с}^2 \approx 19636 \text{ Н} \approx 19,6 \text{ кН} \quad (6)$$

Основная задача свайного фундамента— передать эту нагрузку на вечномёрзлый грунт, не допуская его оттаивания. Поэтому данный параметр оказывает существенное влияние на дальнейший расчет.

Следующим этапом производится расчет максимальных тепловых напряжений:

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta T \quad (7)$$

$$\Delta T_{\text{max}} = T_{\text{min}} - T_{\text{м}} = -65^{\circ}\text{C} - (+10^{\circ}\text{C}) = -75^{\circ}\text{C} \quad (8)$$

$$\sigma = 5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C} \cdot 1,0 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot |-75^{\circ}\text{C}| \quad (9)$$

$$\sigma = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 10^{10} \cdot 75 = 3,75 \cdot 10^6 \text{ Па} = 3,75 \text{ МПа} \quad (10)$$

При полном ограничении деформаций в древесине возникнет растягивающее напряжение 3,75 МПа. Это близко к пределу прочности сосны на растяжение вдоль волокон (~5-10 МПа, в зависимости от сорта). Риск образования трещин в углах сруба при экстремальном охлаждении очень высок. На практике углы должны иметь возможность для небольших подвижек (например, с помощью скользящих креплений или компенсаторов усадки/усушки).

Далее, отталкиваясь от расчетных значений тепловых напряжений, выполняем расчет изменения температурной деформации:

$$\varepsilon_T = \alpha \cdot \Delta T \quad (11)$$

$$\varepsilon_T = 5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} \cdot (-75^\circ\text{C}) = -3,75 \cdot 10^{-4} \quad (12)$$

Из этого можно сделать вывод, что стена «стремится» укоротиться на 0.0375%. Для стены длиной 10 м это укорочение составило бы $\Delta L_T = -3,75 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \text{ м} = -0,00375 \text{ м} = -3,75 \text{ мм}$.

Обязательно произведем учёт влияния влажности на деформационные характеристики согласно формуле:

$$E_{\text{влаж}} = e_0 + \beta \cdot w \quad (13)$$

Здесь w — изменение влажности $\Delta w = 0,15$.

$$E_{\text{влаж}} = 1,0 + 0,15 \cdot 0,15 = 1,0 + 0,0225 = 1,0225 \quad (14)$$

Таким образом, условный параметр, характеризующий деформируемость, увеличился на 2.25%. Для древесины влияние влажности на модуль упругости (E) критично: при увеличении влажности от 0% до 30% модуль упругости может снижаться в 2-3 раза. Наша оценка по упрощенной формуле показывает заметное изменение. Реально при набухании/усушке возникают собственные напряжения и деформации, значительно большие, чем от температуры.

Выполним прогнозирование поврежденности конструкции через 15 лет по формуле:

$$\varepsilon = 1 - e^{(-\lambda t)} \quad (15)$$

$$\varepsilon = 1 - e^{(-0,05 \cdot 15)} = 1 - e^{(-0,75)} \quad (16)$$

$$e^{(-0,75)} \approx 0,4724 \quad (17)$$

$$\varepsilon = 1 - 0,4724 = 0,5276 \approx 52,8\% \quad (18)$$

Из проведенного расчета видно, что через 15 лет эксплуатации в якутских условиях прогнозируемая степень повреждения деревянной конструкции (расслоение, трещины от усушки/набухания, поражение грибком в зонах конденсата, ослабление соединений) может достичь 53%. Это означает необходимость капитального ремонта или замены несущих элементов. Такой высокий λ диктует требования к регулярным (раз в 3-5 лет) осмотрам и профилактике.

Оценим суммарную относительную деформацию. Для древесины деформация от влажности (усушка/набухание) ε_B на порядок больше температурной. Коэффициент усушки/набухания вдоль волокон $\alpha_B = 0,1...0,3\%$ на 1% изменения влажности. Возьмем $\alpha_B = 0,2\% / 1\% = 0,002$ 1%.

При изменении влажности $\Delta w = 15\%$ получаем следующее выражение:

$$\varepsilon_B = \alpha_B \cdot \Delta w = 0,002 \cdot 15 = 0,03 \text{ (или } 3\%) \quad (19)$$

Проводя сравнение деформации от температуры $\varepsilon_T \approx 0,0375\%$ и деформации от влажности $\varepsilon_B \approx 3\%$, приходим к следующему соотношению:

$$\frac{\varepsilon_B}{\varepsilon_T} \approx 80 \quad (20)$$

В результате проведенных расчетов можно сделать вывод, что в условиях Якутии для деревянного дома главным деформирующим фактором является изменение влажности древесины, а не перепад температур. Суммарная деформация может достигать десятков миллиметров на длине стены, что полностью определяет конструктивные решения: скользящие обсадные коробки для окон/дверей, компенсаторы усадки (домкраты) на столбах, обязательную внешнюю отделку с вентилируемым зазором.

Выводы. Подводя итоговую оценку проекта дома в Якутии, приходим к следующим выводам. Фундамент можно использовать свайно-винтовой,

заглублённый в вечную мерзлоту. Главное – предотвратить теплопередачу от дома к грунту во избежание протаивания и потери несущей способности. Конструкция стен из бруса или бревна обеспечивает достаточную прочность и устойчивость в таких экстремальных условиях. Ключевая задача – управление влажностным режимом и компенсация усушки. В этом случае обязательны: технологические компенсаторы усадки; скользящие крепления в узлах; качественная паро- и ветроизоляция по принципу «двойного контура».

Теплоизоляция должна быть сверхнормативная. Любой мостик холода приведёт к конденсату и обледенению внутри конструкции, что в разы ускорит процесс повреждения (λ увеличится).

Срок службы при агрессивном коэффициенте повреждения $\lambda=0,05$ ресурс несущих элементов без капитального ремонта составляет 15-20 лет. Это требует использования специально подготовленной древесины (камерной сушки, антисептирования) и защитных фасадных систем.

Список источников

1. Мартинцов, С. М. Анализ конструктивных особенностей широко используемых скважинных фильтров и выявление факторов, способствующих потере их работоспособности / С. М. Мартинцов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2025. – № 7(391). – С. 32-38.
2. Рожков, Е. А. Параметры и режимы работы оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы в селекционных центрах : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Рожков Евгений Александрович, 2024. – 174 с.
3. Интегральная оценка защищённости горнопромышленных территорий на основе геоинформационного анализа факторов риска / Г. Л. Козенкова, Е. А. Рожков, П. В. Прокофьев, Р. А. Черкасов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – № 2. – С. 59-65.

4. Jin, B. The impact of the digital economy on the structure of industrial agglomerations: data from 31 administrative regions of China / B. Jin, R. O. Voskerichyan // RUDN Journal of Economics. – 2025. – Vol. 33, No. 3. – P. 427-450. – DOI 10.22363/2313-2329-2025-33-3-427-450.
5. Геоинформационные технологии в подземной урбанистике / В. В. Агафонов, Е. И. Хабарова, А. М. Погорелый, Я. А. Рейсбих // Устойчивое развитие горных территорий. – 2025. – Т. 17, № 1(63). – С. 513-524. – DOI 10.21177/1998-4502-2025-17-1-513-524.
6. Лебедев, Д. В. Зависимость качества изображения объекта от угла наклона камеры фотосепаратора / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков, Е. Е. Рудь // Сельский механизатор. – 2022. – № 1. – С. 28-29.
7. Смирнов, А. И. Влияние цифровых технологий на ресурсосбережение в строительстве инфраструктурных объектов / А. И. Смирнов // Вестник науки. – 2026. – Т. 2, № 1(94). – С. 64-73.
8. Юдина, А. Ф. Организация технологических процессов на объекте капитального строительства / А. Ф. Юдина. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2026. – 224 с. – ISBN 978-5-406-15792-3.
9. Касумов, Р. Б. Архитектура зданий и сооружений с большепролетными покрытиями : учебное пособие / Р. Б. Касумов. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2026. – 73 с. – ISBN 978-5-4497-4844-7.
10. Рожков, Е. А. Анализ влияния кривизны земли на составление топографических карт / Е. А. Рожков, Е. А. Гайтян // Московский экономический журнал. – 2025. – Т. 10, № 4. – С. 327-343. – DOI 10.55186/2413046X_2025_10_4_114.
11. Lubova, T. N. Monitoring the sustainability of development of agricultural activities / T. N. Lubova // Актуальные проблемы современности. – 2025. – No. 2(48). – P. 68-73.

References

1. Martintsov, S. M. Analiz konstruktivnykh osobennostei shiroko ispol'zuemykh skvazhinykh fil'trov i vyyavlenie faktorov, sposobstvuyushchikh potere ikh rabotosposobnosti / S. M. Martintsov // Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more. – 2025. – № 7(391). – S. 32–38.
2. Rozhkov, E. A. Parametry i rezhimy raboty optiko-elektronnoi ustanovki dlya sortirovki semyan pshenitsy v selektsionnykh tsentrah : dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Rozhkov Evgenii Aleksandrovich, 2024. – 174 s.
3. Integral'naya otsenka zashchishchennosti gornopromyshlennykh territorii na osnove geoinformatsionnogo analiza faktorov riska / G. L. Kozenkova, E. A. Rozhkov, P. V. Prokof'ev, R. A. Cherkasov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2025. – № 2. – S. 59–65.
4. Jin, B. The impact of the digital economy on the structure of industrial agglomerations: data from 31 administrative regions of China / B. Jin, R. O. Voskerichyan // RUDN Journal of Economics. – 2025. – Vol. 33, No. 3. – P. 427–450. – DOI 10.22363/2313-2329-2025-33-3-427-450.
5. Geoinformatsionnye tekhnologii v podzemnoi urbanistike / V. V. Agafonov, E. I. Khabarova, A. M. Pogorelyi, Ya. A. Reisbikh // Ustoichivoe razvitie gornykh territorii. – 2025. – T. 17, № 1(63). – S. 513–524. – DOI 10.21177/1998-4502-2025-17-1-513-524.
6. Lebedev, D. V. Zavisimost' kachestva izobrazheniya ob"ekta ot ugla naklona kamery fotoseparatora / D. V. Lebedev, E. A. Rozhkov, E. E. Rud' // Sel'skii mekhanizator. – 2022. – № 1. – S. 28–29.
7. Smirnov, A. I. Vliyanie tsifrovyykh tekhnologii na resursoberezhenie v stroitel'stve infrastrukturykh ob"ektov / A. I. Smirnov // Vestnik nauki. – 2026. – T. 2, № 1(94). – S. 64–73.
8. Yudina, A. F. Organizatsiya tekhnologicheskikh protsessov na ob"ekte kapital'nogo stroitel'stva / A. F. Yudina. – Moskva : Obshchestvo s ogranichennoi

otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo „KnoRus“», 2026. – 224 s. – ISBN 978-5-406-15792-3.

9. Kasumov, R. B. Arkhitektura zdaniy i sooruzheniy s bol'sheproletnymi pokrytiyami : uchebnoe posobie / R. B. Kasumov. – Moskva : Ai Pi Ar Media, 2026. – 73 s. – ISBN 978-5-4497-4844-7.

10. Rozhkov, E. A. Analiz vliyaniya krivizny zemli na sostavlenie topograficheskikh kart / E. A. Gaityan // Moskovskii ekonomicheskii zhurnal. – 2025. – T. 10, № 4. – S. 327–343. – DOI 10.55186/2413046X_2025_10_4_114.

11. Lubova, T. N. Monitoring the sustainability of development of agricultural activities / T. N. Lubova // Aktual'nye problemy sovremennosti. – 2025. – No. 2(48). – P. 68–73.

© Рожков Е.А., Гвоздева А.М., 2026. Московский экономический журнал,
2026, № 2.