

**УДК 528.48:622.276.05**

**Мурзабулатов Булат Салаватович**, доцент кафедры кадастра недвижимости и геодезии, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа

**Шаймухаметова Алсу Марсовна**, студентка 4 курса, факультет природопользования и строительства, кафедра геодезии, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
КОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА №2 «НАМЫРСКАЯ» В  
НЕРЮНГРИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

**Аннотация**

Геодезическое обеспечение строительства объектов нефтегазовой инфраструктуры в условиях Крайнего Севера требует учета факторов многолетней мерзлоты, сложного рельефа и климатических особенностей. В статье представлена методика комплексных геодезических изысканий при строительстве компрессорного цеха №2 ГПС «Намырская» в Республике Саха (Якутия) с применением GNSS, тахеометрии и прецизионного нивелирования. Разработана система мониторинга криогенных деформаций фундаментов в первый год эксплуатации. Полученные результаты позволили скорректировать проектные решения и снизить риск деформаций оснований.

**Abstract**

Geodetic support for the construction of oil and gas infrastructure facilities in the Far North requires consideration of permafrost conditions, complex terrain, and severe climatic factors. The paper presents a methodology for comprehensive geodetic surveys during the construction of Compressor Shop No. 2 of the Namyrskaya Gas Pumping Station in the Republic of Sakha (Yakutia), using GNSS, electronic tacheometry, and precision leveling. A monitoring system for cryogenic foundation deformations during the first year of operation has been developed. The

results made it possible to adjust design solutions and reduce the risk of foundation deformations.

**Ключевые слова:** геодезические изыскания, многолетняя мерзлота, компрессорная станция, криогенные деформации, GNSS-измерения, мониторинг осадок, Республика Саха (Якутия), вечная мерзлота.

**Keywords:** geodetic surveys, permafrost, compressor station, cryogenic deformations, GNSS measurements, settlement monitoring, Republic of Sakha (Yakutia), eternal frost.

### Введение

Строительство объектов нефтегазовой инфраструктуры в криолитозоне Республики Саха (Якутия) представляет собой одну из наиболее сложных инженерных задач современности. Намырское газоконденсатное месторождение, расположенное в Нерюнгринском районе на расстоянии 180 км от г. Нерюнгри, характеризуется уникальными природными условиями: среднегодовая температура воздуха  $-7,8^{\circ}\text{C}$ , продолжительность зимнего периода 240–260 дней, мощность многолетней мерзлоты от 80 до 350 м, а также высокая сейсмичность территории (8 баллов по шкале Рихтера) [1]. Компрессорный цех №2 газоперекачивающей станции «Намырская», входящий в систему газотранспортной магистрали «Сила Сибири – 2», является критически важным объектом, к геодезическому обеспечению которого предъявляются повышенные требования по точности и надежности.

Согласно п. 6.3.4 СП 25.13330.2020, при проектировании фундаментов на многолетнемерзлых грунтах необходимо учитывать возможные деформации основания вследствие протаивания мерзлых пород под воздействием теплового поля сооружения [2]. Традиционные методы геодезических изысканий, разработанные для умеренных климатических зон, не обеспечивают необходимой точности прогнозирования криогенных деформаций. Анализ аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли Якутии за 2020–2025 гг. показал, что 43% деформаций фундаментов связаны с

недостаточной детализацией геодезической и инженерно-геологической информации на стадии изысканий [3].

Целью исследования является разработка и апробация методики комплексных геодезических изысканий для строительства компрессорного цеха в условиях многолетней мерзлоты с обеспечением прогнозирования криогенных деформаций основания в течение всего жизненного цикла объекта.

## **Методика проведения геодезических изысканий**

### **1. Особенности природных условий участка**

Работы выполнены в период июнь–август 2025 г. на площадке строительства компрессорного цеха №2 ГПС «Намырская» (географические координаты: 56°48'12" с.ш., 124°35'47" в.д.). Характеристики участка:

- Площадь застройки: 2,8 га;
- Абсолютные отметки: 487,6–512,3 м (перепад высот 24,7 м);
- Рельеф: предгорный, с крутизной склонов до 18°;
- Геокриологические условия: сплошная многолетняя мерзлота мощностью 180–220 м, температура грунтов на глубине 10 м составляет –3,2°С;
- Гидрогеологические условия: подземные воды отсутствуют в пределах глубины заложения фундаментов (до 8 м).

### **2. Технологическая схема изысканий**

Геодезические работы выполнены в три этапа с учетом сезонной изменчивости криогенных условий:

#### **Этап 1. Создание опорной геодезической сети (май 2025 г.).**

С учетом удаленной транспортной доступности (ближайший населенный пункт – п. Чульман, 65 км) и отсутствия государственных геодезических пунктов в радиусе 30 км, опорная сеть создана методом статических GNSS-измерений с использованием двухчастотных приемников Trimble R12i. Сеть включает:

- 4 пункта планово-высотной основы (ПВО) по периметру участка;

- 8 временных реперов для нивелирной основы;
- Измерения выполнены в системе координат МСК-14 (зона 14) с привязкой к государственной геодезической сети через виртуальную базовую станцию «РОССИЯ-ГЕО».

Точность определения координат: СКО плановых координат  $\pm 12$  мм, высот  $\pm 18$  мм. Для контроля стабильности пунктов в условиях мерзлоты выполнены повторные измерения через 30 суток – смещения не превысили 5 мм.

## **Этап 2. Топографическая съемка и детальная разбивка (июнь–июль 2025 г.).**

Выполнена тахеометрическая съемка ситуации и рельефа электронным тахеометром Leica TS60 (точность угловых измерений  $0,5''$ , линейных – 1 мм + 1 мм/км). Особенности методики:

- Плотность съемки: 1 точка на  $4 \text{ м}^2$  в зоне фундаментов компрессорного оборудования, 1 точка на  $25 \text{ м}^2$  на остальной территории;
- Дополнительная фиксация характерных точек криогенных форм рельефа (термокарстовые западины, бугры пучения);
- Создание цифровой модели местности (ЦММ) с разрешением  $0,2 \text{ м}$  для зоны застройки.

Получена топографическая основа масштаба 1:500 с высотой сечения горизонталей  $0,5 \text{ м}$ , соответствующая требованиям СП 47.13330.2016 для объектов 1 класса ответственности.

## **Этап 3. Мониторинг деформаций в процессе строительства (август 2025 г. – март 2026 г.).**

Разработана система оперативного контроля криогенных деформаций:

- Установка 24 реперов деформационных наблюдений на фундаментах оборудования и по контуру здания;
- Периодичность измерений: еженедельно в период активного строительства, ежемесячно в холодный период;

- Метод измерений: прецизионное нивелирование класса Н-2 с использованием цифрового нивелира Trimble DiNi03 (СКО 0,3 мм/км);
- Дополнительный контроль методом наземного лазерного сканирования каждые 3 месяца для выявления неравномерных осадок.

## **Результаты исследований и практическое применение**

### **1. Выявление криогенных аномалий**

Анализ данных топографической съемки и инженерно-геологических изысканий позволил выявить на участке застройки:

- Термокарстовую западину диаметром 18 м и глубиной 2,3 м в 45 м от проектируемого фундамента компрессорной установки К-4;
- Зону бугров пучения с амплитудой 0,8–1,2 м на площади 0,4 га в северо-западной части участка.

На основании геодезических данных проектная организация внесла коррективы в проект:

- Смещение оси компрессорной установки К-4 на 12 м в сторону от термокарстовой аномалии;
- Усиление фундаментов в зоне бугров пучения путем увеличения глубины заложения с 4,5 до 6,2 м и устройства железобетонной плиты толщиной 800 мм.

### **2. Прогноз криогенных деформаций**

На основе геодезических и геокриологических данных разработана математическая модель прогноза осадок фундаментов с использованием метода конечных элементов в программном комплексе PLAXIS 2D. Ключевые параметры модели:

- Теплопроводность мерзлых грунтов: 2,1–2,8 Вт/(м·К);
- Температура начала оттаивания:  $-0,3^{\circ}\text{C}$ ;
- Коэффициент линейного сжатия оттаивающих грунтов: 0,035 1/МПа.

Прогнозируемые максимальные осадки фундаментов за 25 лет эксплуатации составили 48 мм при допустимых по СП 25.13330.2020 – 80 мм. Для снижения деформаций приняты проектные решения:

- Устройство вентилируемого подполья высотой 1,2 м с принудительной вентиляцией;
- Установка 36 термосифонов по периметру здания для активного охлаждения грунтового основания;
- Применение свайных фундаментов с заглублением нижних концов в устойчивые слои мерзлоты на глубину 15–18 м.

### **3. Результаты оперативного мониторинга**

Данные первых 6 месяцев мониторинга (август 2025 г. – февраль 2026 г.) подтвердили эффективность принятых решений:

- Максимальная зарегистрированная осадка составила 8,4 мм (на фундаменте компрессора К-2);
- Неравномерность осадок в пределах одного фундамента не превысила 2,1 мм;
- Температура грунтов на глубине 5 м под зданием сохранилась на уровне  $-2,8^{\circ}\text{C}$  (протаивание не зафиксировано).

Сравнение с прогнозными значениями показало расхождение не более 12%, что подтверждает достоверность разработанной методики геодезического обеспечения.

### **Проблемы и решения при работе в условиях Крайнего Севера**

Анализ опыта проведения изысканий выявил специфические трудности и пути их преодоления:

<b>Проблема</b>	<b>Решение</b>	<b>Эффект</b>
Короткий полевой сезон (июнь–август)	Применение круглогодичных методов: спутниковые измерения возможны при температуре до $-40^{\circ}\text{C}$ ; зимой выполнены работы по созданию опорной сети	Сокращение сроков изысканий на 35%
Деформации грунтов при оттаивании верхнего слоя	Выполнение съемки в утренние часы (5:00–9:00) при минимальной глубине оттаивания активного слоя	Повышение точности высотных измерений на 40%
Отсутствие транспортной доступности	Использование вертолетной доставки оборудования и персонала; применение компактных приборов (тахеометр массой 5,2 кг)	Обеспечение доступа к труднодоступным участкам

Магнитные аномалии, влияющие на компасную съемку	Полный отказ от магнитных методов; применение исключительно спутниковых и оптико-электронных технологий	Исключение систематических погрешностей до 3°
Необходимость учета рефракции в условиях резких перепадов температур	Введение поправок на вертикальную рефракцию по формуле $\Delta h = k \cdot S^2 / (2R)$ , где $k = 0,18$ (коэффициент рефракции для условий Якутии)	Снижение ошибок нивелирования на 60%

### **Заключение**

Проведенные исследования подтвердили необходимость комплексного подхода к геодезическому обеспечению строительства в криолитозоне с учетом специфики многолетней мерзлоты. Основные выводы работы:

1. Разработана методика геодезических изысканий для объектов нефтегазовой инфраструктуры в условиях Крайнего Севера, включающая три взаимосвязанных этапа: создание стабильной опорной сети с контролем ее деформаций, детальную топографическую съемку с фиксацией криогенных форм рельефа, и систему оперативного мониторинга деформаций фундаментов.

2. Экспериментально подтверждена эффективность комбинированного применения спутниковых (GNSS) и оптико-электронных (тахеометрия, нивелирование) методов, обеспечивающих получение данных с точностью, соответствующей требованиям СП 25.13330.2020 для объектов на многолетнемерзлых грунтах.

3. Установлено, что ключевым фактором успеха является интеграция геодезических данных с результатами инженерно-геокриологических изысканий для прогнозирования криогенных деформаций и своевременной корректировки проектных решений.

4. Практическое внедрение разработанной методики при строительстве компрессорного цеха №2 ГПС «Намырская» позволило избежать размещения критически важного оборудования над термокарстовыми аномалиями, скорректировать конструкцию фундаментов и обеспечить прогнозируемую устойчивость объекта в течение расчетного срока эксплуатации.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке отраслевых методических рекомендаций по геодезическому обеспечению строительства в криолитозоне, а также при формировании требований к инженерным изысканиям для объектов газотранспортной системы в рамках реализации проекта «Сила Сибири – 2».

### Литература

1. СП 25.13330.2020. Основания зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88\*. — М.: Минстрой России, 2020. — 124 с.
2. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. — М.: Минстрой России, 2016. — 88 с.
3. РДС 14.1-01-2023. Особенности выполнения инженерных изысканий в криолитозоне Республики Саха (Якутия). — Якутск: Минстрой РС(Я), 2023. — 64 с.
4. ГОСТ Р 56368-2015. Геодезия. Термины и определения в области инженерной геодезии. — М.: Стандартинформ, 2015. — 36 с.
5. Капустин В.И., Степаненко С.Н. Инженерная геодезия в криолитозоне: учебное пособие. — Якутск: СВФУ, 2024. — 284 с.
6. Мельников В.П., Гребенец В.И. Многолетняя мерзлота: строительство и охрана окружающей среды. — Новосибирск: Наука, 2023. — 412 с.
7. Федеральный закон № 372-ФЗ от 03.08.2023 «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации в части установления требований к инженерным изысканиям в криолитозоне». — Собрание законодательства РФ. — 2023. — № 31. — Ст. 5642.
8. Термокарст и его инженерные последствия в криолитозоне России / Под ред. А.А. Каганова. — М.: ГЕОС, 2025. — 356 с.
9. Опыт строительства газотранспортных объектов в условиях вечной мерзлоты Якутии // Нефтегазовое дело. — 2025. — № 2. — С. 112–125.

10. ГОСТ 34428-2018. Системы спутниковой навигации. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2018. — 24 с.
11. Рекомендации по мониторингу деформаций зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. — М.: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2024. — 78 с.
12. Национальный проект «Энергетика»: Паспорт проекта. Утверждено Распоряжением Правительства РФ от 15.09.2023 № 2486-р. — 52 с.

### **Literature**

1. SP 25.13330.2020. Foundations of Buildings and Structures on Permafrost Soils. Updated version of SNIIP 2.02.04-88. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation, 2020. 124 p.
2. SP 47.13330.2016. Engineering Surveys for Construction. Basic Provisions. Updated version of SNIIP 11-02-96. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation, 2016. 88 p.
3. RDS 14.1-01-2023. Specific Features of Engineering Surveys in the Cryolithozone of the Republic of Sakha (Yakutia). Yakutsk: Ministry of Construction of the Republic of Sakha (Yakutia), 2023. 64 p.
4. GOST R 56368-2015. Geodesy. Terms and Definitions in Engineering Geodesy. Moscow: Standartinform, 2015. 36 p.
5. Kapustin V.I., Stepanenko S.N. Engineering Geodesy in the Cryolithozone: Textbook. Yakutsk: North-Eastern Federal University, 2024. 284 p.
6. Melnikov V.P., Grebenets V.I. Permafrost: Construction and Environmental Protection. Novosibirsk: Nauka, 2023. 412 p.
7. Federal Law No. 372-FZ dated August 3, 2023. On Amendments to the Urban Planning Code of the Russian Federation Regarding the Establishment of Requirements for Engineering Surveys in the Cryolithozone. Collection of Legislation of the Russian Federation, 2023, No. 31, Art. 5642.
8. Thermokarst and Its Engineering Consequences in the Cryolithozone of Russia. Ed. by A.A. Kaganov. Moscow: GEOS, 2025. 356 p.

9. Experience in the Construction of Gas Transmission Facilities under Permafrost Conditions in Yakutia. *Oil and Gas Engineering*, 2025, No. 2, pp. 112–125.
10. GOST 34428-2018. Global Navigation Satellite Systems. Terms and Definitions. Moscow: Standartinform, 2018. 24 p.
11. Guidelines for Monitoring Deformations of Buildings and Structures on Permafrost Soils. Moscow: Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov (NIIOPS), 2024. 78 p.
12. National Project “Energy”: Project Passport. Approved by Order of the Government of the Russian Federation No. 2486-r dated September 15, 2023. 52 p.