

На правах рукописи

Репин Александр Сергеевич



Разработка методики геодезического обеспечения
геопространственного мониторинга бугров пучения
многолетнемерзлых пород

1.6.22. Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Мурзинцев Петр Павлович.

Официальные оппоненты:

Никитин Андрей Вячеславович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», профессор кафедры «Изыскания и проектирование железных и автомобильных дорог»;

Соловицкий Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», доцент кафедры геологии и географии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (г. Тюмень).

Защита диссертации состоится 7 декабря 2021 г. в 12-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.01 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/repin-aleksandr-sergeevich/>

Автореферат разослан 18 октября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 01.10.2021. Формат 60 x 84 1/16
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 134.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плеханова, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плеханова.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность научного исследования. Нефтегазодобывающая отрасль играет важнейшую роль в экономике Российской Федерации (РФ). Подавляющее большинство нефтегазовых месторождений расположены в районах Крайнего Севера, за Полярным кругом.

В настоящее время ведутся активные инженерные изыскания для обустройства Самбургского, Агапского, Олимпийского и других месторождений, на территории которых имеются многочисленные бугры пучения многолетнемерзлых пород (ММП). Без качественного геодезического обеспечения и последующего геопространственного мониторинга инженерных сооружений, бугров пучения на этапах, изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводов невозможно обеспечить эффективную добычу и транспортировку нефти и газа.

Строительство и эксплуатация магистральных трубопроводов в пределах криолитозоны приводят к трансформации геокриологических процессов, развивающихся как в зонах непосредственного взаимодействия с трубопроводами, так и на прилегающих к ним территориях. Это приводит к активизации опасных природных процессов с их негативным влиянием на техническое состояние трубопроводов, нередко приводящим к аварийным ситуациям, которые в свою очередь могут привести к серьезным экологическим и экономическим последствиям. Поэтому разработка методики геодезического обеспечения геопространственного мониторинга бугров пучения является актуальной научно-технической задачей, играющей важное значение для развития экономики РФ.

Степень разработанности темы. Изучение многолетнемерзлых форм рельефа проводятся достаточно длительное время, первые исследования были проведены в 1792 г. в Исландии. Значительный вклад в эти исследования внесли работы Палссона С., Подьяконова С. А., Городкова Б. Н., Попова А. И., Шумского П. А., Васильчука Ю. К., Пономаревой О. Е. и др.

Изучению вопросов геодезического мониторинга инженерных сооружений посвящены работы Антоновича К. М., Брыня М. Я., Васютинского И. Ю., Карпика А. П., Ключина Е. Б., Комиссарова А. В., Лисицкого Д. В., Мазурова Б. Т., Мелкого В. А., Мустафина М. Г., Никитина А. В., Пимшина Ю. И., Рязанцева Г. Е., Соловицкого А. Н., Столбова Ю. В., Хлебниковой Т. А., Хорошилова В. С., Уставича Г. А., Шоломицкого А. А., Щербакова В. В., Ямбаева Х. К. и др.

Комплексный пространственный мониторинг бугров пучения многолетнемерзлых пород не осуществлялся в полном объеме в связи с отсутствием методик построения единой модели надземной и подземной его составляющей.

Цель и задачи научного исследования. Целью диссертационного исследования является разработка методики геодезического обеспечения геопространственного мониторинга бугров пучения многолетнемерзлых пород в районах Крайнего Севера на территориях, подверженных природным и техногенным аномальным явлениям.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *основные научно-технические задачи*:

- выполнить анализ существующих отечественных и зарубежных методик мониторинга бугров пучения, а также нормативной литературы в области инженерных изысканий и строительства в районах распространения вечной мерзлоты;
- разработать классификацию бугров пучения многолетнемерзлых пород и классификацию деформаций магистральных трубопроводов;
- разработать алгоритм оценки бокового воздействия бугров пучения на трубопровод;
- разработать способ определения величины и направления деформации наружной и подземной составляющих для бугров и площадей пучения ММП;
- разработать и внедрить в производство методику геодезического обеспечения геопространственного мониторинга бугров пучения многолетнемерзлых пород;
- предложить технологическое решение для повышения производительности труда при выполнении геодезических измерений электронным тахеометром для районов Крайнего Севера.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований являются территории нефтегазовых месторождений, подверженные аномальным явлениям природного и техногенного характера.

Предметом исследования является геодезический пространственный мониторинг бугров пучения многолетнемерзлых пород.

Научная новизна диссертационных исследований состоит в следующем:

- предложена классификация бугров пучения многолетнемерзлых пород, которая на этапах рекогносцировки и производства инженерных изысканий позволяет принять оптимальные предпроектные решения для размещения площадных и линейных объектов нефтегазовых комплексов;
- разработана классификация деформаций магистральных трубопроводов, позволяющая оценить характер влияния на эксплуатацию трубопровода и возможности по увеличению срока его эксплуатации;
- разработана методика геопространственного мониторинга бугров пучения на основе способа определения величины и направления деформации наружной и подземной составляющих бугров пучения с прогнозами их развития.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость выполненного исследования заключается в разработке алгоритма прогнозирования деформаций пространственного положения трубопровода с учетом «бокового» воздействия бугра пучения, его наземной и подземной составляющих.

Практическая значимость определяется возможностью принятия оптимальных предпроектных решений на этапе инженерных изысканий по размещению на местности коридоров линейных коммуникаций и площадных объектов нефтегазового комплекса.

Методология и методы исследований.

Методологической базой исследования являлся системный подход, в основе которого лежит рассмотрение территории нефтегазовых месторождений, под-

верженные аномальным явлениям природного и техногенного характера, как системы и совокупности взаимодействующих объектов.

Теоретической базой исследования являются теоретические работы ученых и специалистов в области изучения многолетнемерзлых форм рельефа и геопространственного мониторинга.

Эмпирической базой исследования являются выполненные ранее работы по исследованию многолетнемерзлых форм рельефа. При выполнении исследований использованы методы математической обработки геодезических измерений и моделирования, и математического анализа. В качестве программного обеспечения для обработки полученных результатов и оценки точности использовались программные продукты: программный комплекс CREDO, MapInfo, Microsoft Office Excel.

Положения, выносимые на защиту:

- разработанный способ определения величины и направления деформаций наружной и подземной составляющих бугров пучения многолетнемерзлых пород позволяет построить общую 3D-модель бугров и осуществить прогноз развития деформаций;

- методика геодезического обеспечения геопространственного мониторинга бугров пучения многолетнемерзлых пород и алгоритм оценки влияния бугров пучения на коридор линейных коммуникаций позволяют принять оптимальные решения по его размещению на этапе предпроектной подготовки с повышением безопасности и увеличением сроков эксплуатации;

- технологическое решение, существенно повышающее производительность труда при выполнении геодезических измерений в районах Крайнего Севера.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тематика и содержание диссертации соответствуют области исследования: 6 – Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов, в том числе гидротехнических сооружений, атомных и тепловых электростанций, промышленных предприятий, линейных сооружений.

Геодезический контроль ведения технического надзора при строительстве и эксплуатации нефтедобывающих комплексов; 11 – Теория и практика математической обработки результатов геодезических измерений и информационное обеспечение геодезических работ. Автоматизированные технологии создания цифровых трехмерных моделей технологических объектов, процессов и явлений по геодезическим данным паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки РФ по техническим наукам.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Результаты исследований, выводы и практические рекомендации по теме диссертации докладывались и обсуждались на Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (г. Новосибирск) в 2016 и 2020 гг. и на Международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию К. И. Сатпаева. (г. Усть-Каменогорск) в 2019 г.

Разработанные технологические решения использовались при проведении инженерно-геодезических изысканий ООО «Градостроительное проектирование и инженерно-строительные изыскания «Гипронг-Транс» на месторождениях Крайнего Севера, в районах расположения многолетнемерзлых пород.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследований представлены в восьми публикациях, из которых две опубликованы в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, одна статья опубликована в издании, входящем в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus, получен патент Российской Федерации на полезную модель и патент Российской Федерации на изобретение.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 130 страниц печатного текста. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы, включающего 104 наименования, содержит 11 таблиц, 57 рисунков, 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* показана актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, научные положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость работы, сведения о достоверности и апробации результатов исследований, ее структура.

В *первом разделе* приведена историческая справка о проведении исследований многолетнемерзлых бугров пучения и выполнен анализ существующих методик мониторинга многолетнемерзлых пород. По результатам выполненного анализа исследований многолетнемерзлых форм рельефа предлагается классификация бугров пучения для целей геодезического мониторинга. Разработанная классификация бугров пучения приведена на рисунке 1.

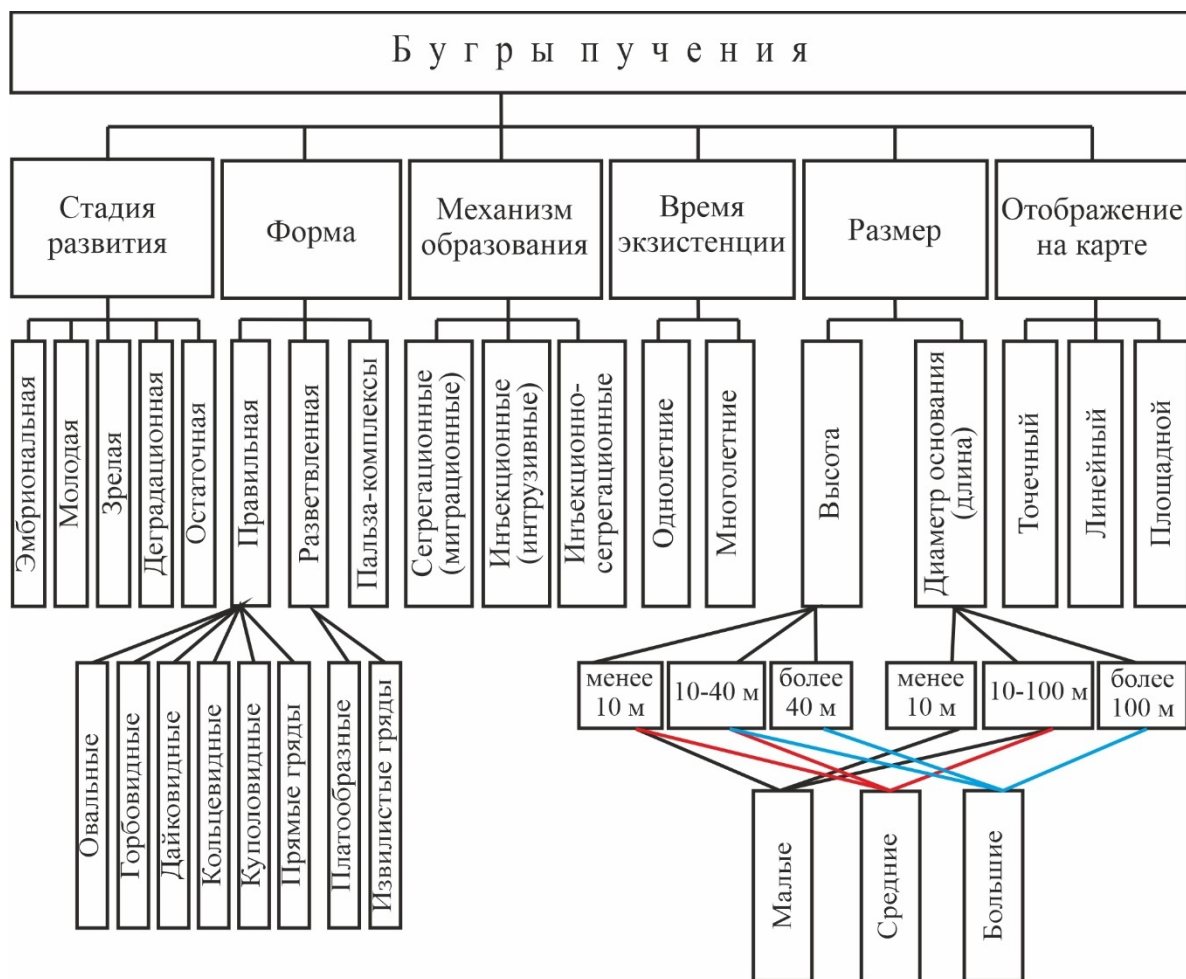


Рисунок 1 – Классификация бугров пучения для целей геодезического мониторинга

Показано, что несмотря на наличие значительного количества разработанных методик и технологических решений для проведения исследований многолетнемерзлых бугров пучения, их главным недостатком является то, что они не предполагают геопространственного мониторинга многолетнемерзлых форм рельефа. Поэтому важной научно-технической задачей является разработка технологических решений для геодезического мониторинга бугров пучения многолетнемерзлых пород.

Во втором разделе разработан алгоритм, позволяющий оценить характер влияния глубины протаивания под трубопроводом, величины сезонного протаивания и величин влияния бугра пучения ММП при боковом расположении бугра пучения от трубопровода. При расчетах, выполняемых ранее, учитывалось нахождение ММП только под нижней частью трубопровода, в то время как влияние бугров пучения не рассматривалось.

В настоящее время, при строительстве трубопроводов все чаще встречаются ситуации, представленные на рисунке 2.

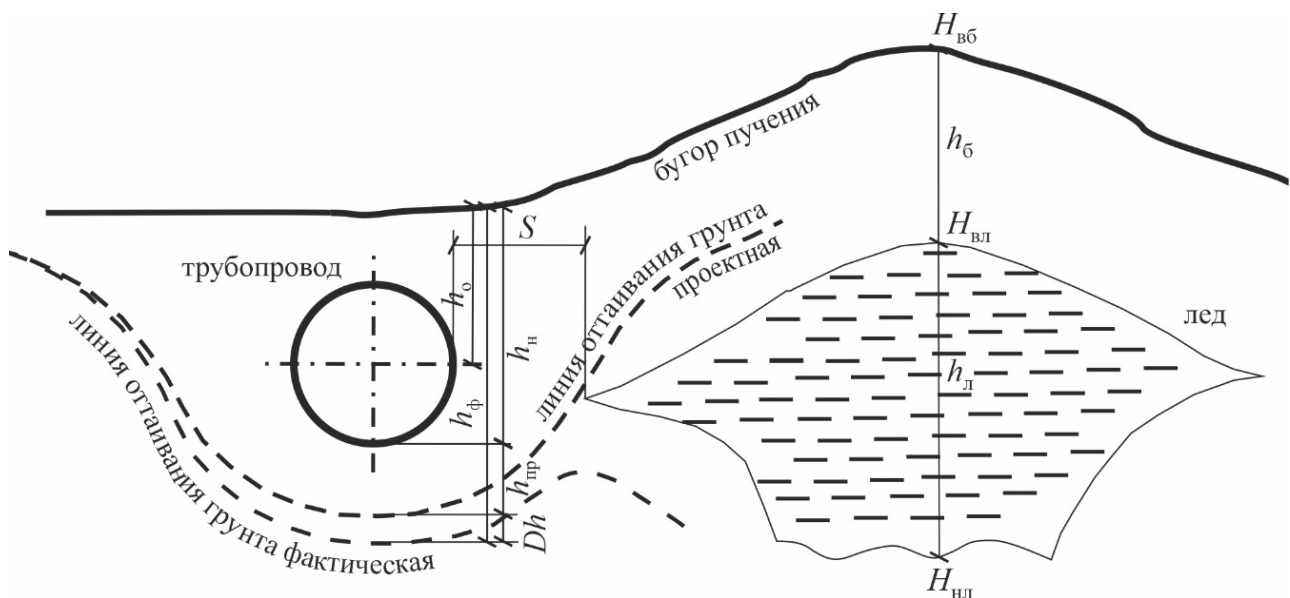


Рисунок 2 – Расположение трубопровода вблизи бугра пучения

В этом случае при прогнозировании деформаций геопространственного положения трубопровода необходимо учитывать «боковое» воздействие бугра пучения,

которое происходит от наземной и подземной его составляющих. Общая величина протаивания может быть определена с учетом следующих величин:

$$h_{\text{оп}} = h_{\text{п}} + h_{\text{сп}} + h_{\text{мбп}}, \quad (1)$$

где $h_{\text{п}}$ – глубина протаивания грунта под трубопроводом; $h_{\text{сп}}$ – величина сезонного протаивания; $h_{\text{мбп}}$ – величина влияния многолетнего бугра пучения,

$$h_{\text{мбп}} = h_{\text{л}} + h_{\text{з}}, \quad (2)$$

где $h_{\text{л}}$ – величина влияния бугра пучения в летний период; $h_{\text{з}}$ – величина влияния бугра пучения в зимний период.

На основе анализа производственного опыта в выполнении комплекса инженерных изысканий и мониторинга деформационных процессов разработана классификация деформаций магистральных трубопроводов для целей геодезического мониторинга, представленная на рисунке 3.



Рисунок 3 – Классификация деформаций магистральных трубопроводов для целей геодезического мониторинга

При выполнении инженерных изысканий для обустройства нефтегазовых месторождений следует особое внимание уделять определению границ наземной и подземной составляющих миграционных бугров пучения с ядром из многолетнемерзлых пород.

В третьем разделе представлена разработка и реализация методики геопространственного мониторинга многолетнемерзлых форм рельефа на нефтегазовых месторождениях. В основу методики положен способ определения величины и направления деформации наружной составляющей бугров пучения ММП с помощью ГНСС-технологий, электронной тахеометрии с совмещением с 3D-моделью, подземной составляющей бугра пучения, построенной по данным термометрии, выполненной в сетке геологических скважин на различных глубинах.

На территории Самбургского нефтегазового месторождения разбивалась сетка геологических скважин по оси X через 20 м, по оси Y через 50 м. Схема геологических скважин представлена на рисунке 4.

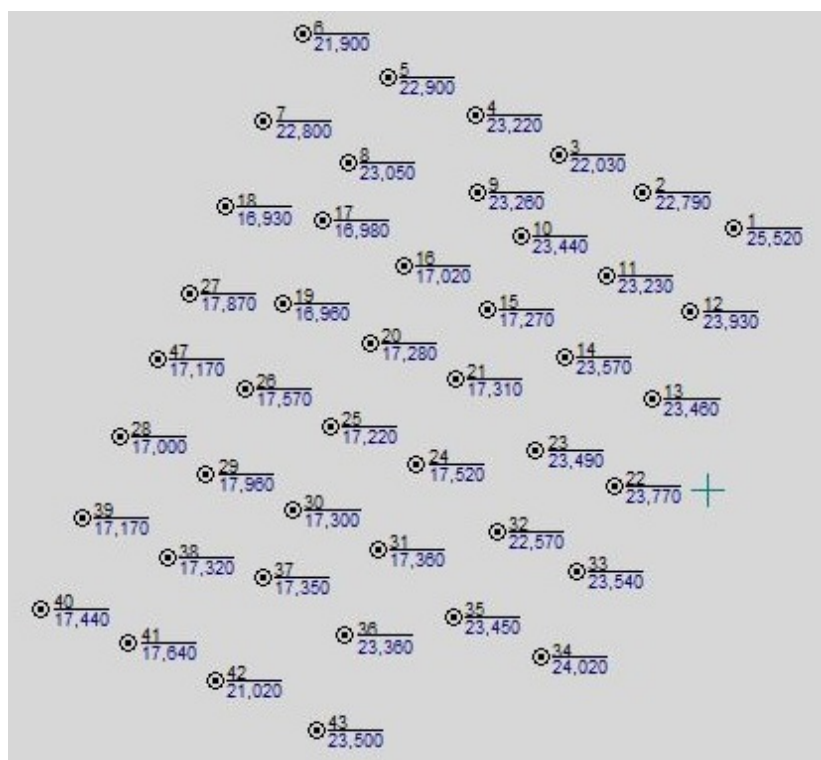


Рисунок 4 – Схема геологических скважин

В таблице 1 представлены результаты измерений температуры внутри геологических скважин на разных глубинах. По этим данным определены участки с максимальными и минимальными перепадами температур, а также выявлено самое «стабильное место» для закладки временных реперов. Последние рекомендуется включать в нивелирный ход с целью обнаружения изменений в геометрических характеристиках бугров пучения.

По результатам измерения температур в геологических скважинах построен объединенный график изменения температуры в зависимости от глубины измерений и расположения скважин, рисунок 5.

Таблица 1

№ скважин	Глубина (в метрах)																			
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
скв 1	-2,50	-1,49	-0,80	-0,60	-0,40	0,10	0,00	0,00	0,01	0,00	-0,10	-0,20	-0,25	-0,28	-0,29	-0,38	-0,40	-0,42	-0,48	-0,49
скв 3	-2,00	-1,41	-0,30	-0,20	-0,10	0,00	0,00	-0,10	-0,14	-0,15	-0,17	-0,21	-0,25	-0,26	-0,27	-0,30	-0,35	-0,36	-0,39	-0,40
скв 6	-2,10	-1,43	-0,40	-0,30	-0,20	0,00	0,00	0,20	0,19	0,02	-0,18	-0,22	-0,25	-0,29	-0,30	-0,39	-0,41	-0,44	-0,45	-0,45
скв 9	-2,15	-1,39	-0,20	-0,20	-0,25	0,10	0,20	0,21	0,05	0,03	-0,10	-0,20	-0,24	-0,24	-0,25	-0,35	-0,40	-0,41	-0,46	-0,47
скв 11	-2,30	-1,45	-0,31	-0,24	-0,01	0,12	0,20	0,10	0,01	-0,10	-0,15	-0,18	-0,20	-0,21	-0,29	-0,30	-0,32	-0,35	-0,40	-0,40
скв 13	-2,41	-1,37	-0,30	-0,10	-0,10	0,00	0,20	0,30	0,21	0,11	0,05	-0,09	-0,16	-0,30	-0,31	-0,38	-0,45	-0,49	-0,49	-0,50
скв 17	-2,46	-1,46	-0,24	-0,12	0,09	0,12	0,15	0,20	0,15	0,05	-0,14	-0,18	-0,20	-0,24	-0,25	-0,26	-0,30	-0,34	-0,41	-0,42
скв 20	-2,43	-1,35	-0,10	-0,01	0,12	0,20	0,16	0,10	-0,13	-0,13	-0,14	-0,15	-0,20	-0,29	-0,30	-0,32	-0,35	-0,40	-0,45	-0,46
скв 23	-2,14	-1,42	-0,60	-0,40	-0,30	0,00	0,10	0,15	0,08	0,10	-0,12	-0,20	-0,27	-0,27	-0,28	-0,34	-0,40	-0,45	-0,50	-0,51
скв 25	-2,19	-1,36	-0,30	-0,20	-0,20	0,20	0,10	0,00	0,01	-0,10	-0,15	-0,20	-0,23	-0,24	-0,26	-0,28	-0,30	-0,38	-0,39	-0,40
скв 26	-2,28	-1,48	-0,12	-0,09	0,11	0,21	0,13	0,00	0,02	-0,16	-0,18	-0,20	-0,24	-0,30	-0,31	-0,34	-0,38	-0,40	-0,46	-0,50
скв 30	-2,50	-1,50	-0,50	-0,30	-0,24	-0,12	-0,18	-0,21	-0,24	-0,25	-0,25	-0,26	-0,28	-0,28	-0,28	-0,32	-0,34	-0,38	-0,40	-0,41
скв 40	-2,43	-1,51	-0,40	-0,20	-0,10	0,01	0,10	0,13	0,15	0,20	-0,01	-0,18	-0,28	-0,28	-0,30	-0,38	-0,40	-0,42	-0,50	-0,50
скв 43	-2,40	-1,42	-0,60	-0,20	-0,12	0,08	0,10	0,14	0,12	0,08	-0,10	-0,24	-0,27	-0,29	-0,30	-0,42	-0,50	-0,54	-0,59	-0,60

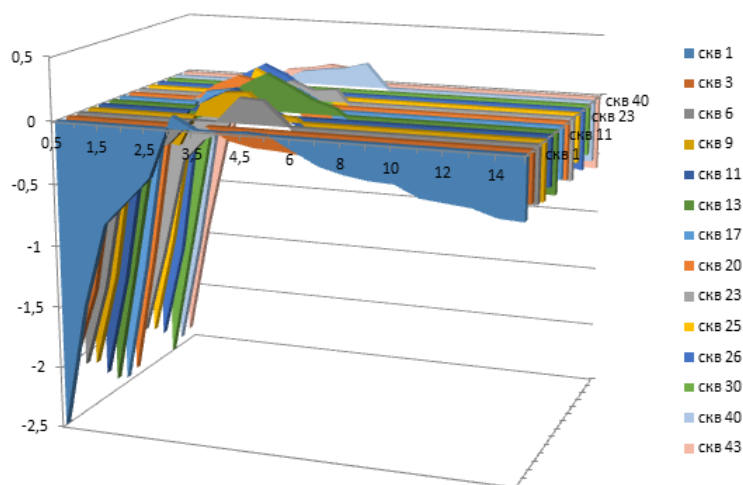


Рисунок 5 – График изменения температуры в зависимости от глубины измерений и расположения скважин на Самбургском месторождении

Разработаны модели температурных полей в районе расположения геологических скважин. В каждой скважине выполнялись температурные измерения на разных глубинах с шагом 0,5 до 5 м, и далее с шагом 1 м до глубины 15 м, рисунки 6–8.

Для анализа разработанных моделей температурных полей в районе расположения геологических скважин на Самбургском месторождении вычислено корреляционное отношение

$$\eta_{\text{теор}} = \sqrt{\frac{\delta^2}{\sigma_y^2}} = \sqrt{\frac{\sum(\bar{y}_x - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}} = 0,092. \quad (3)$$

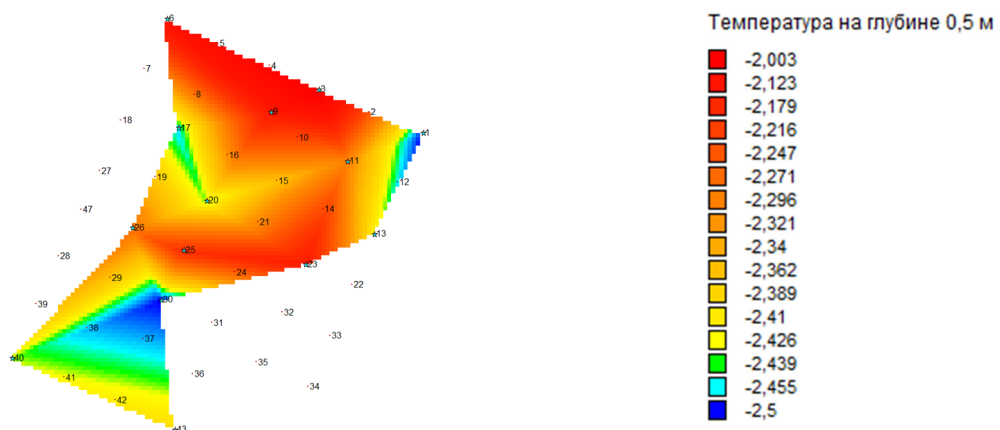


Рисунок 6 – Модель температурных полей на Самбургском месторождении, глубина 0,5 м

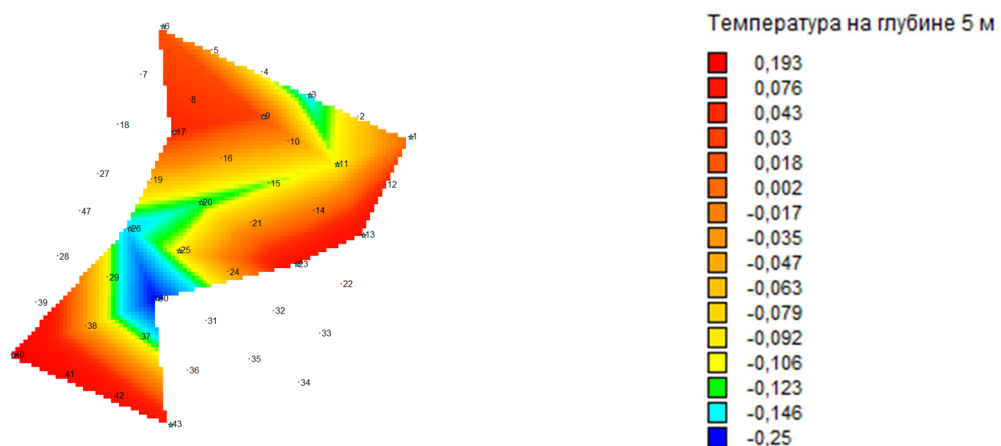


Рисунок 7 – Модель температурных полей на Самбургском месторождении, глубина 5,0 м

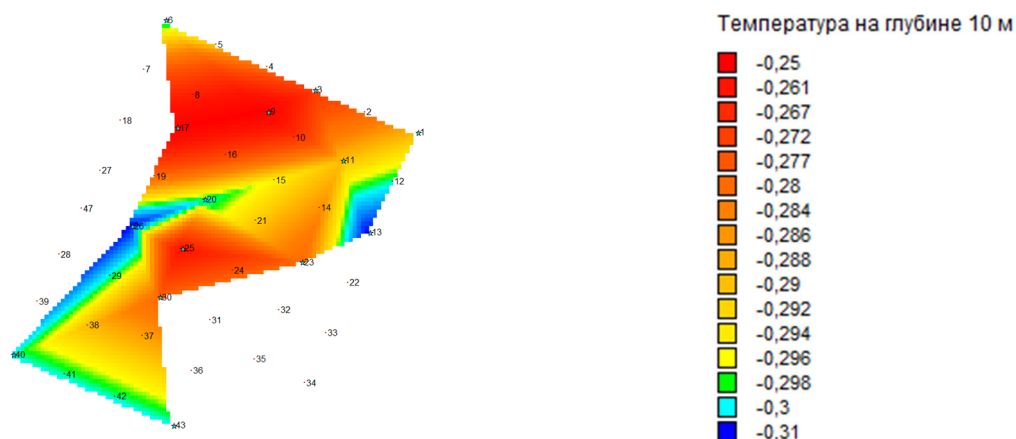


Рисунок 8 – Модель температурных полей на Самбургском месторождении, глубина 10,0 м

Коэффициент корреляции характеризует малую зависимость изменения температуры от изменения глубины скважин для данного месторождения.

Модель температурных полей нефтегазового месторождения позволяет выявлять области неустойчивости и расположение участков с постоянными низкими температурами. Так, модели на рисунках 6, 7 показывают, что термостабильный участок находится в треугольнике скважин 30-40-43 в направлении на юго-запад. Максимальные деформационные процессы, очевидно, пройдут на глубинах 10 м и более в расположении скважин 13-17-20 в северо-восточном направлении. Последние могут вызвать изменения геометрических параметров бугров пучения, их наземной и подземной составляющих.

Для анализа разработанных моделей температурных полей в районе расположения геологических скважин на Агапском лицензионном участке коэффициент корреляции составил

$$\eta_{\text{теор}} = \sqrt{\frac{\delta^2}{\sigma_y^2}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{y}_x - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} = 0,978. \quad (4)$$

Данное значение характеризует тесную зависимость изменения температуры от изменения глубины скважин.

Вычисленные коэффициенты корреляции для Самбурского и Агапского нефтегазовых месторождений с построенными моделями изменения температурных градиентов земли показывают неоднородность происходящих процессов. В результате происходят изменения геопространственных параметров бугров пучения, подтаивание, выпучивание, неравномерное нарастание ледовых образований. Основными методами получения геопространственных данных являются ГНСС-технологии, электронная тахеометрия, георадарное и геофизическое обследование.

На рисунке 9 представлена схема расположения точек для выполнения измерений электронным тахеометром, на рисунке 10 – схема бугра пучения вечной мерзлоты с указанием точек расположения комплекса цифровой аппаратуры.

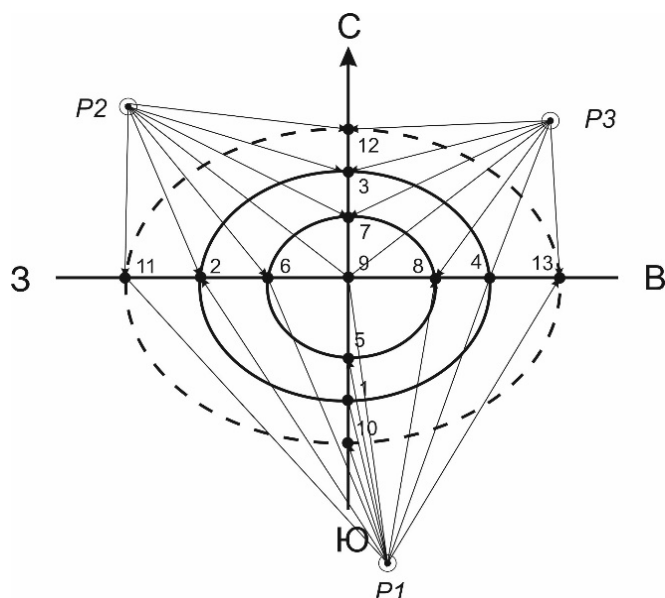


Рисунок 9 – Схема выполнения измерений электронным тахеометром

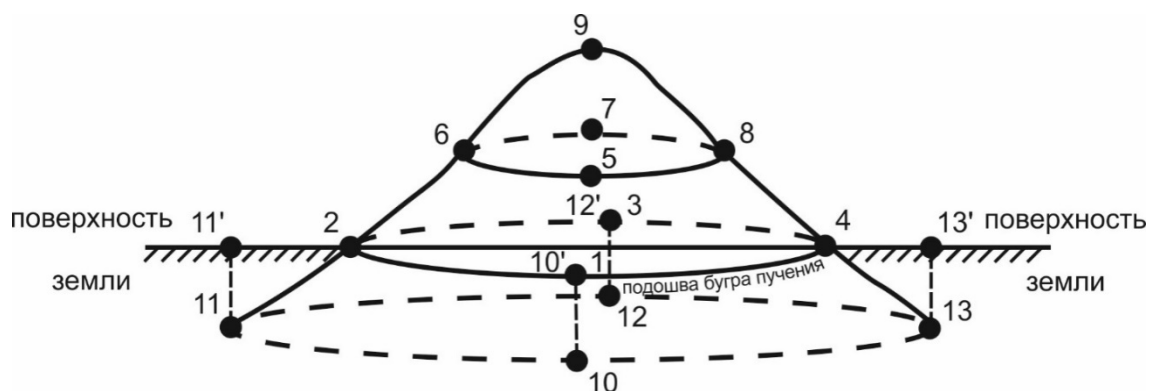


Рисунок 10 – Схема бугра пучения вечной мерзлоты с указанием точек расположения комплекса цифровой аппаратуры [69]

Задачей предлагаемого технического решения является повышение достоверности определения величины и направления деформаций наружной составляющей бугров пучения вечной мерзлоты с применением комплекса цифровой аппаратуры, в состав которой входят: электронный тахеометр, ГНСС-аппаратура и цифровая термокоса. На разработанный способ получен Патент № 2712796 Российской Федерации.

Поставленная задача достигается тем, что в способе определения величины и направления деформации наружной составляющей бугров пучения вечной мерзлоты, включающем создание планово-высотного обоснования, закрепление точек по периметру бугра пучения, выполнение геодезических измерений, согласно изобретению, точки по периметру бугра пучения располагают и закрепляют строго по сторонам света север, запад, юг, восток.

Измерения предлагается выполнять четыре раза в год; в летний, зимний, осенний и весенний периоды. Показания термокосы в совокупности с результатами геодезических, геологических, георадарных данных позволят осуществить прогноз жизненного цикла бугра пучения (построение продольных профилей по заданным направлениям, рост бугра, подтаивание, образование таликов и т. п.). Все данные должны быть сведены в единый программный комплекс для обработки цифровых данных и создания единой базы данных. Это необходимо для обеспечения безопасного размещения коридора линейных коммуникаций и инженерных сооружений при обустройстве нефтегазовых месторождений в районах Крайнего Севера.

Способ определения величины и направления деформации бугра пучения положен в основу разработанной методики геопространственного мониторинга многолетнемерзлых бугров пучения, которая показана на рисунке 11.

На первом этапе геопространственного мониторинга бугров пучения выполняется рекогносцировка бугров пучения с определением типа объекта исследования. Также на этом этапе работ создается опорная геодезическая сеть с помощью спутниковых приемников (ГНСС-технологии), с привязкой вновь создаваемых геодезических пунктов к пунктам государственной геодезической сети.

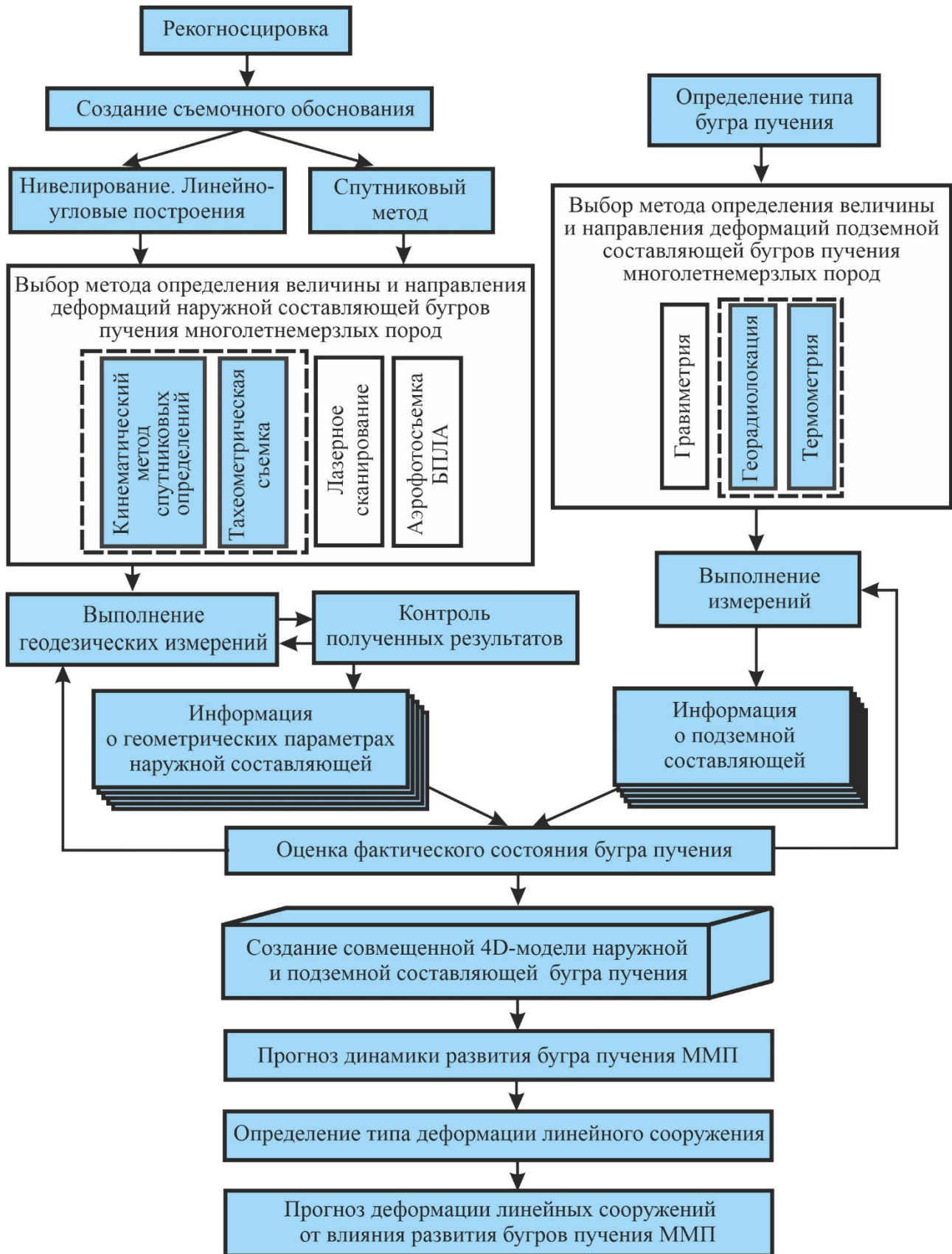


Рисунок 11 – Общая схема геопро пространственного мониторинга деформации наружной и подземной составляющих бугров пучения многолетнемерзлых пород

На втором этапе рекомендуется определять величины и направление деформаций подземной составляющей бугров пучения многолетнемерзлых пород.

Решения по размещению трубопровода необходимо принимать после построения полной модели бугра пучения ММП и прогноза деформационных процессов, это предусмотрено третьим этапом предлагаемой методики.

Ожидаемая точность создания полной модели бугра пучения обусловлена влиянием двух факторов:

- точностью геодезических работ на поверхности земли;
- точностью определения координат границ подземной составляющей бугра пучения.

СКО построения полной модели бугра пучения может быть определена по формуле

$$m_{\text{пм}}^2 = m_{\text{оп}}^2 + m_{\text{нс}}^2 + m_{\text{пс}}^2 + m_{\text{терм}}^2, \quad (5)$$

где $m_{\text{оп}}$ – точность построения опорной геодезической сети регламентируется СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства» и ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 «Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС И GPS»; $m_{\text{нс}}$ – точность получения координат наземной составляющей бугра пучения определяется геодезическими приборами используемых в технологии работ; $m_{\text{пс}}$ – точность получения координат границ подземной составляющей бугра пучения; $m_{\text{терм}}$ – точность термометрии

$$m_{\text{пмбп}} = \sqrt{m_{\text{псбп}}^2 + m_{\text{нсбп}}^2}, \quad (6)$$

$$m_{\text{нсбп}} = \sqrt{m_{\text{погс}}^2 + m_{\text{ппнс}}^2 + m_{\text{впнс}}^2}, \quad (7)$$

$$m_{\text{псбп}} = \sqrt{m_{\text{пппс}}^2 + m_{\text{вппс}}^2 + m_{\text{терм}}^2}, \quad (8)$$

где $m_{\text{псбп}}$ – СКП подземной составляющей бугра пучения многолетнемерзлых пород; $m_{\text{нсбп}}$ – СКП наземной составляющей бугра пучения многолетнемерзлых пород; $m_{\text{погс}}$ – СКП построения опорной геодезической сети; $m_{\text{ппнс}}$ – СКП планового положения наземной составляющей бугра пучения многолетнемерзлых пород; $m_{\text{вппнс}}$ – СКП высотного положения наземной составляющей бугра пучения многолетнемерзлых пород; $m_{\text{пппс}}$ – СКП планового положения подземной составляющей бугра пучения многолетнемерзлых пород; $m_{\text{вппс}}$ – СКП высотного положения подземной составляющей бугра пучения многолетнемерзлых пород, зависит от характеристик прибора георадиолокации и указана в паспорте (Георадар «ОКО-3» Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений расстояний, от 0,35 до 0,15 м в зависимости от антенного блока); $m_{\text{терм}}$ – СКП термометрии, зависит от точности разбивки скважин, определения глубины скважины при бурении и характеристик термоксы (МЦДТ 0922 – многозонный цифровой датчик температуры. Пределы допускаемой абсолютной погрешности от -50 до $+100$ °С, не более 0,5).

Полученные в результате выполнения исследований значения точности построения полной модели бугра пучения ММП составили $m_{\text{пмбп}} = 30$ см (для Самбургского месторождения, Агапского и Олимпийского лицензионных участков).

подавляющее большинство нефтегазовых месторождений, освоение и разработка которых ведется в РФ в настоящее время, расположены в районах Крайнего Севера или за Полярным кругом. Для них характерны полярная ночь и неблагоприятные условия для производства геодезических измерений.

Измерения в условиях частичной или полной темноты требуют дополнительных технических средств, оборудования и помощников, что приводит к дополнительным материальным затратам. Особенно трудоемкой при проведении измерений становится операция наведения электронного тахеометра на цель.

Для решения этой задачи была разработана съемная светодиодная насадка, которая помещается непосредственно на отражатель.

Светодиодная съемная насадка на отражатель электронного тахеометра предназначена для использования при выполнении полевых инженерно-геодезических работ при любых условиях освещенности. На рисунке 12 показан внешний вид насадки на отражатель, на рисунке 13 – график исследования изменения времени наведения тахеометра на отражатель на расстояниях до 500 м.

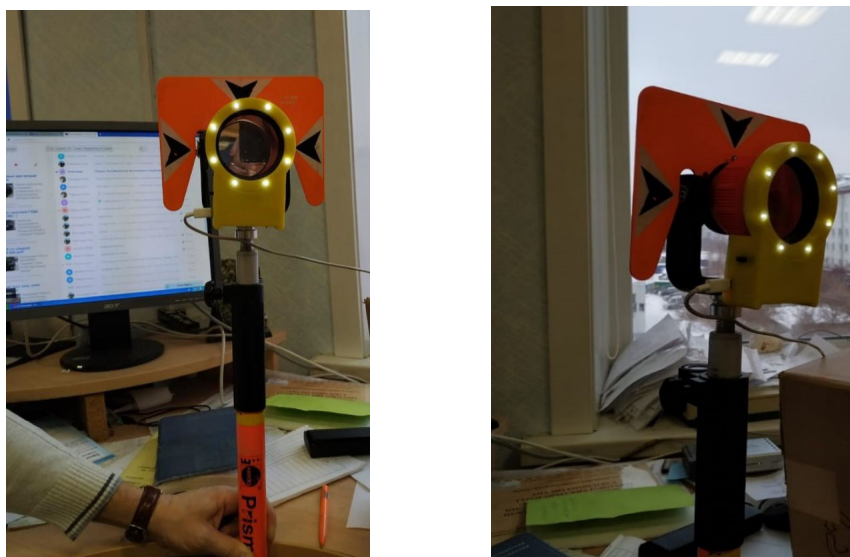


Рисунок 12 – Внешний вид светодиодной съемной насадки в рабочем состоянии

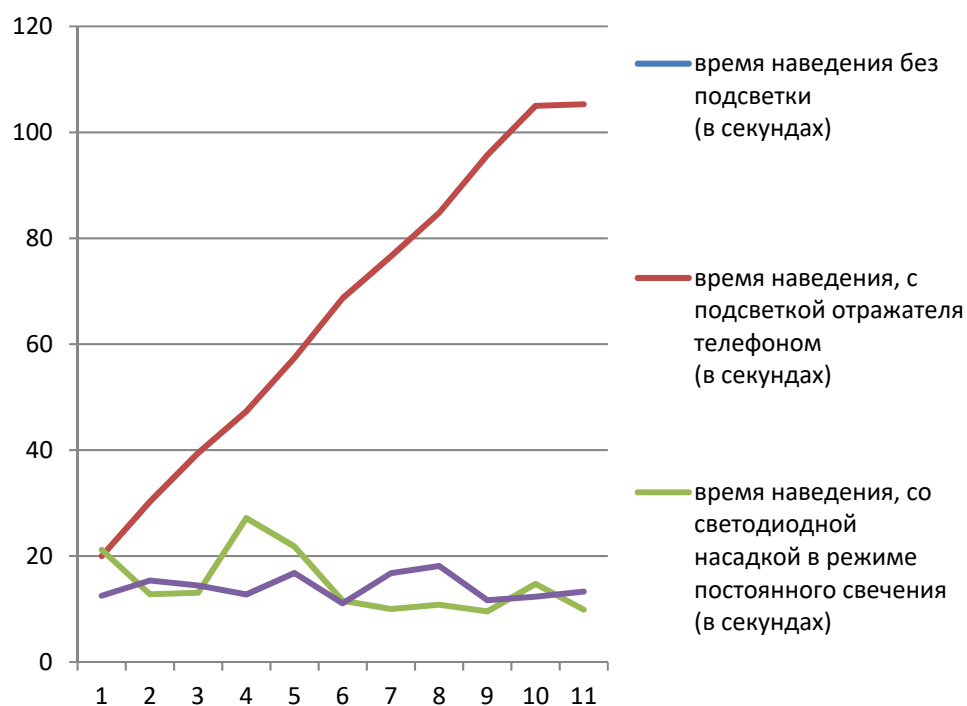


Рисунок 13 – Изменение времени наведения тахеометра на отражатель на расстоянии 482,535 м

Результаты выполненных исследований показали, что насадка светодиодная съемная на отражатель электронного тахеометра повышает производительность труда инженера-геодезиста в два раза за счет сокращения времени обнаружения визирной цели. Насадка светодиодная съемная доказала свою эффективность в работе инженеров-изыскателей в полевых условиях СургутНИПИнефть.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненных исследований достигнута цель и решены поставленные задачи.

Основные научные и практические результаты, полученные в ходе исследований, заключаются в следующем:

- в результате анализа отечественного и зарубежного опыта исследований многолетнемерзлых пород установлено, что вопрос геопространственного мониторинга бугров и площадей пучения рассматривался без учета возможностей построения полной 3D-модели;
- разработанная классификация бугров пучения вечной мерзлоты с учетом стадий развития, механизмов образования и геометрических параметров позволяет подобрать методику геодезического мониторинга и, совместно с разработанной классификацией деформаций трубопроводов, принимать технологические решения по повышению уровня безопасности и увеличению сроков их эксплуатации;
- разработанный алгоритм оценки бокового воздействия бугров пучения сплошного и прерывистого распространения на трубопровод способствует принятию оптимальных решений для размещения площадных и линейных объектов нефтегазовых комплексов на этапе предпроектной подготовки;
- разработан способ определения величины и направления деформации наружной составляющей бугров пучения вечной мерзлоты для геопростран-

ственного мониторинга бугров и площадей пучения, получен патент РФ на изобретение № 2712796, позволяющий выявлять области неустойчивости и осуществлять прогноз развития деформационных процессов;

- разработанная методика геопространственного мониторинга бугров пучения внедрена в производство и доказала свою эффективность при выполнении инженерных изысканий на Агапском, Олимпийском лицензионных участках и на Самбургском нефтегазовом месторождении;

- предложено технологическое решение по изготовлению и эффективному применению съемной светодиодной насадки на отражатель электронного тахеометра, получен патент РФ на полезную модель № 200746, что позволяет повысить производительность труда в 2 раза за счет сокращения времени обнаружения визирной цели при выполнении измерений в условиях недостаточной освещенности.

Результаты диссертационного исследования успешно использовались при проведении изысканий специалистами СургутНИПИнефть.

Разработанные методические и технологические решения позволяют повысить эффективность инженерно-геодезических работ при проведении геопространственного мониторинга бугров и площадей пучения, а также использовать полученные данные при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений на территориях распространения многолетнемерзлых форм рельефа.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в рамках выполнения Государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2025 года», которая утверждена постановлением Правительства от 30.03.2021 № 484.

Перспектива дальнейших научных исследований направлена на разработку и внедрение технологических решений для успешного освоения Арктики и Арктического шельфа.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Мурзинцев, П. П. Особенности геодезического обеспечения строительства автодороги и пространственного мониторинга на Бованенковском месторождении / П. П. Мурзинцев, М. М. Павлов, А. С. Репин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2016. – № 2. – С. 2–5. – doi: 10.22389/0016-7126-2016-908-2-2-5.

2 Репин, А. С. О методике геопространственного мониторинга бугров пучения многолетнемерзлых пород / А. С. Репин. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 3. – С. 28–35. – doi: 10.33764/2411-1759-26-3-28-35.

3 Инженерные изыскания коридоров линейных коммуникаций с учетом геотехнического мониторинга бугров пучения / П. П. Мурзинцев, И. О. Биндер, А. С. Репин, Б. О. Гриднева. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2020. – № 10. – С. 7–13.

4 Патент № 2712796 Российская Федерация, G01C 5/00 (2019.08), G01V 3/12 (2019.08), G01K 13/00 (2019.08), E21B 47/065 (2019.08), E21B 47/122, (2019.08), G01N 33/24 (2019.08). Способ определения величины и направления деформаций наружной составляющей бугров пучения вечной мерзлоты: № 2019113686: заявл. 30.04.2019; опубл. 31.01.2020 / Мурзинцев П. П., Биндер И. О., Репин А. С.; заявитель СГУГиТ. – 9 с.: ил. – Текст : непосредственный.

5 Патент № 200746 Российская Федерация, МПК G01C 1/00 (2006.01), G02B 5/12 (2006.01), СПК G01C 1/00 (2020.08), G02B 5/12 (2020.08). Насадка светодиодная съемная на отражатель электронного тахеометра: № 2020108542: заявл. 26.02.2020 / Мурзинцев П. П., Новиков А. В., Репин А. С.; заявитель СГУГиТ. – 6 с.: ил. – Текст : непосредственный.

6 Репин, А. С. Актуальность 3D-моделирования в геодезии / А. С. Репин, С. Я. Скоренов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016.

XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 64–67.

7 Оценка устойчивости насыпных инженерных сооружений методом конечных элементов / Т. Т. Ипалаков, Б. Апшикур, А. С. Репин, С. А. Айдынов. – Текст : непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию К. И. Сатпаева. – Усть-Каменогорск, 2019. – С. 378–382.

8 Мурзинцев, П. П. Исследование светодиодной съемной насадки на отражатель электронного тахеометра / П. П. Мурзинцев, А. В. Новиков, А. С. Репин. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 1. – С. 64–73. – doi: 10.33764/2618-981X-2020-1-1-64-73.